

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



Proyecto de Grado
Carrera de Ingeniería Civil

Estabilización de la cascada del Arroyo Seco y sus márgenes

Localidad: Arroyo Seco - Departamento Rosario, Provincia de Santa Fe, Argentina

ESTUDIANTES

Borsato, Facundo (B-6174/3)
Mitchell, Liza (M-6896/9)
Nista, Pablo Gabriel (N-1207/6)
Rolando, Santiago (R-4297/8)

DIRECTORES:

Ing. Navarro, Raúl

ASESORES:

Ing. Forestieri, Claudia
Ing. Stenta, Hernán

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

Ingeniería Civil

Agosto de 2025

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| AGRADECIMIENTOS..... | 3 |
| 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS..... | 4 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| 1.2. OBJETIVOS GENERALES..... | 4 |
| 1.3. OBJETIVOS PARTICULARES..... | 4 |
| 2. MARCO CONCEPTUAL..... | 5 |
| 2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA..... | 5 |
| 2.2. ORIGEN GEOMORFOLÓGICO DE LAS CASCADAS DE LLANURA Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE EROSIÓN RETROGRADANTE..... | 10 |
| 2.3. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES Y SOLUCIONES PROPUESTAS EN UN CASO SIMILAR..... | 13 |
| 3. ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL ARROYO SECO..... | 21 |
| 3.1. PERFIL LONGITUDINAL Y PERFILES TRANSVERSALES..... | 21 |
| 3.2. ESTUDIO GEOTÉCNICO..... | 24 |
| 3.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO..... | 26 |
| 4. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN DEL ARROYO SECO..... | 30 |
| 4.1. ALTERNATIVAS RÍGIDAS..... | 30 |
| 4.2. ALTERNATIVAS FLEXIBLES..... | 37 |
| 5. ADOPCIÓN DE UNA SOLUCIÓN ESTRUCTURAL..... | 41 |
| 5.1. CÁLCULO DE LA FOSA DE EROSIÓN Y OBTENCIÓN DE LA ALTURA DE LA PANTALLA A PROPONER..... | 43 |
| 6. RECANALIZACIÓN AGUAS ARRIBA DEL SALTO..... | 45 |
| 7. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN.. | 46 |
| 8. PROCESO CONSTRUCTIVO..... | 55 |
| 9. ANÁLISIS DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL..... | 62 |
| 9.1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE..... | 67 |
| 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 68 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA..... | 70 |
| 12. PLANOS..... | 73 |
| 13. ANEXOS..... | 90 |
| ANEXO 1: RECANALIZACIÓN DEL CANAL DE ARROYO SECO..... | 91 |
| ANEXO 2: CÁLCULO DE LA FICHA Y LOS MOMENTOS MÁXIMOS DE LA PANTALLA..... | 96 |

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro sincero reconocimiento a todos los docentes que formaron parte de nuestra trayectoria en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, por habernos brindado una formación académica sólida y de calidad, así como por su vocación y dedicación constantes. Sus enseñanzas nos han dotado de las herramientas necesarias para afrontar con responsabilidad y criterio los desafíos de la profesión. En especial, queremos destacar a quienes nos acompañaron directamente en el desarrollo de este proyecto final, cuyas orientaciones y aportes resultaron fundamentales para enriquecer nuestro trabajo.

En primer lugar, agradecemos profundamente a nuestro asesor Hernán Stenta, por acercarnos la idea que dio origen a este proyecto y por su acompañamiento y atención constante. Así como también por la colaboración que nos brindó para conseguir los datos de partida del proyecto, y para elaborar los datos faltantes necesarios para encarar el trabajo.

A nuestra asesora Claudia Forestieri, por su apoyo permanente, por alentarnos en cada instancia del proceso y por facilitarnos una valiosa recopilación de documentos que nos permitió reconstruir la historia de la emblemática obra de la cascada del Arroyo Saladillo. Su colaboración fue clave para comprender las similitudes y diferencias con nuestra propuesta, brindándonos un antecedente sólido sobre el cual trabajar.

Agradecemos también a los profesores de la cátedra, por sus consejos, su disposición y su contribución al fortalecimiento del proyecto.

A Virginia Sosa y Nicolás Bolcatto, por su claridad y generosidad al responder nuestras consultas sobre aspectos geotécnicos. A Virginia, además, por recibirnos en su estudio y compartir con nosotros, en detalle, la historia del Saladillo, desarrollada originalmente para su participación en el XXVI Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, realizado en Comodoro Rivadavia.

A Gustavo Costa, por acompañarnos y prestarnos su tiempo e instrumentos de medición para realizar el relevamiento topográfico.

A nuestros familiares y amigos, por su apoyo incondicional, su paciencia y su aliento constante a lo largo de toda nuestra formación. Su acompañamiento fue clave para alcanzar este logro, y les dedicamos nuestro más profundo agradecimiento.

Por último, queremos reconocer a nuestros compañeros, por haber hecho más ameno el camino, por el valor del trabajo en equipo y por los lazos de compañerismo que fortalecieron esta etapa final de la carrera.

Facundo, Liza, Pablo y Santiago

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Las cascadas son formaciones naturales que suelen asociarse con regiones montañosas, donde los desniveles del terreno permiten la caída libre del agua. En regiones de llanura son formaciones inusuales que responden a condiciones geológicas y geomorfológicas específicas y a la acción antrópica. La cascada del Arroyo Seco es un caso representativo de este fenómeno, cuya estabilidad se vió comprometida, particularmente en épocas de crecidas como lo fue el evento extraordinario del 15 de enero de 2017 en el cual la misma sufrió un proceso retrogradante de 170 metros y quedó a tan solo 600 metros del puente autovía de la Ruta Provincial N°21.

Este trabajo busca hacer un paralelismo con las demás cascadas de la región sur de la Provincia de Santa Fe, Argentina, en particular en el estudio del antecedente de la cascada del Arroyo Saladillo por haber sido objeto de múltiples análisis y propuestas de intervención a lo largo de los años, cuya ejecución fue demorada por la oposición de distintos actores locales y por nuevos retrocesos que obligaron a repensar la solución del problema. Este trabajo intenta alcanzar una resolución evaluando diferentes propuestas con un abordaje integral considerando tanto aspectos técnicos como condicionantes sociales y ambientales.

El presente informe se presenta como un trabajo realizado para la materia de Proyecto IV de la carrera de Ingeniería Civil en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario. Su finalidad es integrar los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación académica, y el mismo no debe ser considerado como un proyecto ejecutivo ya que no se ha contado con la información necesaria suficiente para su mayor análisis, tales como estudios geotécnicos en el lugar del emplazamiento de la obra, estudios topobatimétricos de mayor detalle, estudios hidráulicos, evaluación de factibilidad económica, etc. Se suponen hipótesis y se tomarán criterios en base a los datos disponibles, los cuáles pueden no reflejar la realidad en su totalidad.

1.2. OBJETIVOS GENERALES

Diseñar a nivel de anteproyecto una obra que permita la estabilización de la cascada del Arroyo Seco y de sus márgenes.

1.3. OBJETIVOS PARTICULARES

- Profundizar en el conocimiento de la formación de cascadas en la región sur de la Provincia de Santa Fe.
- Evaluar el impacto social y ambiental que implica la obra.
- Realizar un análisis hidrológico de la cuenca de Arroyo Seco.
- Analizar alternativas de posibles soluciones, a partir de la evaluación de casos similares y definir la más apropiada para el caso de Arroyo Seco.
- Determinar los parámetros de diseño y dimensionar la obra de estabilización.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En la provincia de Santa Fe, se han formado cascadas en la desembocadura de ciertos arroyos al Río Paraná. En siglos anteriores los arroyos naturales descargaban al río sobre la barranca empleando anchos variables y extensos de acuerdo a sus caudales. El desarrollo que trajo la actividad del hombre empezó a generar mayores caudales para la misma lluvia y a acelerar los escurrimientos lo cual proveyó de mayor energía hidráulica al lecho. El uso del suelo en áreas inundables hizo que los cauces se canalizarán y así el proceso erosivo empezó a tomar una escala mayor. Este fenómeno, poco usual en zonas de llanura, se produce debido a que el lecho está conformado por estratos de distinta capacidad resistiva, donde la capa superficial es más resistente que las capas inferiores. Esta característica provoca una erosión diferencial. El estrato inferior se erosiona por el agua en caída libre y termina desestabilizando el estrato superior por corte. Así, se genera un desnivel en el fondo del cauce, el cual se va desarrollando a lo largo del tiempo en función del historial de caudales circulantes hasta formar las cascadas que se pueden apreciar hoy en día.

En el fondo del lecho antes de producirse las cascadas, se encuentra una capa fina de tosca seguida de un estrato compuesto por limos de consistencia media, fácilmente erosionable con el paso del caudal. La caída del agua hace que se forme un flujo turbulento al pie de la cascada, el cual hace que se socave el fondo de la misma, provocando la formación de una ménsula que crece con el tiempo y termina fallando por su peso propio, generando así el retroceso de la cascada.

Puntualmente, se analizará el caso del arroyo Seco, al sur de la Provincia de Santa Fe, donde existe una cascada retrogradante que puede visualizarse en la *Figura 1* ubicada a 600 metros aguas abajo de la Ruta Provincial N°21.



Figura 1 - Fotografía de cascada de Arroyo Seco tomada el 20/04/2025. Fuente: Elaboración propia.

Arroyo Seco es una ciudad ubicada en el departamento de Rosario, en la provincia de Santa Fe, Argentina. La ciudad se encuentra en la costa oeste del Río Paraná a una distancia de 32 km al sur de Rosario. Se puede acceder a la misma a partir de la Autopista N°9 Rosario-Buenos Aires, la Ruta Provincial N°21 y a partir de la línea General Bartolomé Mitre de Ferrocarriles. La ciudad cuenta con una población de 24.632 habitantes según el censo de 2022, con una extensión territorial de 126,90 km² y un área residencial con una superficie aproximada de 9,90 km² (Figura 2).

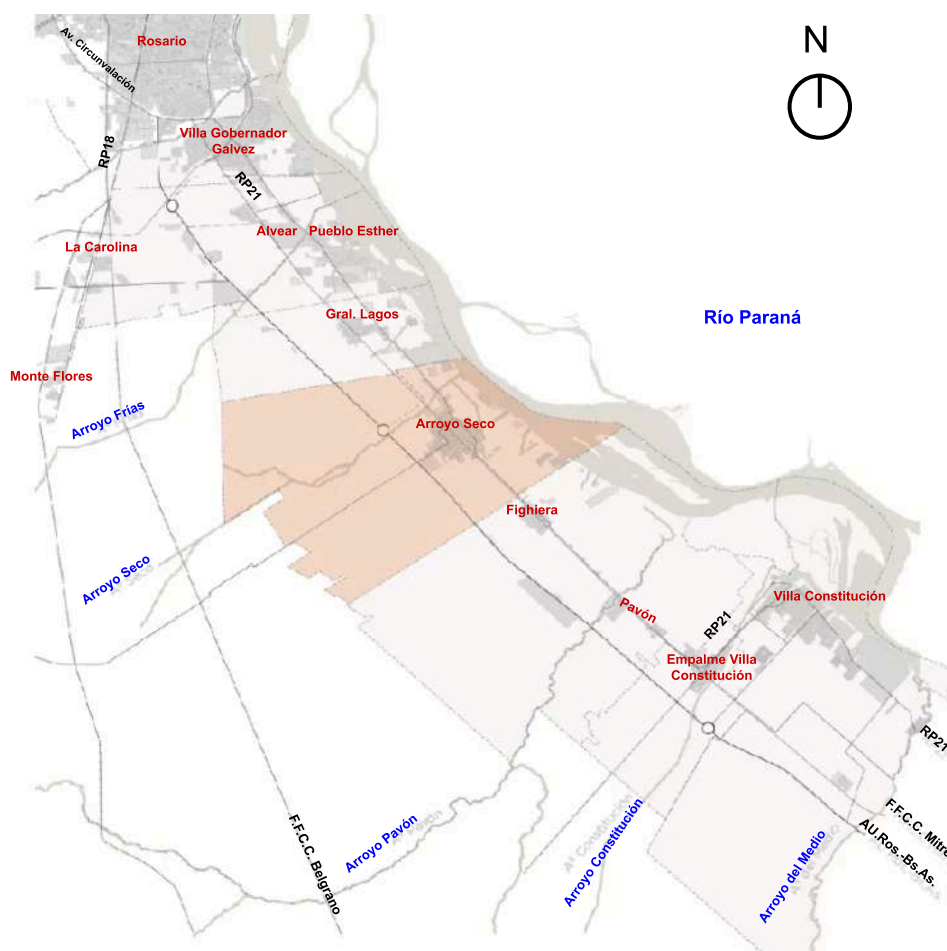


Figura 2 - Esquema de la superficie del Distrito y zona residencial de Arroyo Seco.
Fuente: Plan Urbano Local Arroyo Seco 2030. Septiembre 2017.

Su localización con frente al río Paraná le asigna condiciones favorables para la radicación de actividades productivas, entre las que se destaca una importante presencia de la industria frigorífica cárnica y terminal portuaria; y en menor medida, fundición de acero, papelera y fábricas de calzado, tal como se observa en la siguiente Figura 3. A su vez, en los últimos años, esta ciudad se muestra con un gran atractivo para la radicación de la vivienda; numerosos loteos se han desarrollado fundamentalmente en áreas vacantes anexas a la ribera, aunque no han incorporado aún la infraestructura necesaria en el proceso de urbanización¹.

¹KODEAR, www.kodear.net. (s. f.). ECOM Rosario - Ente de Coordinación Metropolitana de Rosario. <https://ecomrosario.gob.ar/localidad/10>



Figura 3 - Desarrollo industrial productivo y de servicio. Fuente: Plan Urbano Local Arroyo Seco 2030. Septiembre 2017.

Entre las actividades productivas, se caracteriza por contar con el puerto de Arroyo Seco, el cuál forma parte del cordón portuario del gran Rosario y es una pieza fundamental en la cadena agrocomercial de las localidades del Corredor Sur Metropolitano. En la *Figura 4* a continuación se muestra una fotografía de la cerealera ADM agro sobre el Río Paraná que forma parte del cordón industrial de Arroyo Seco.



Figura 4 - Fotografía zona portuaria de ADM (Archer Daniels Midland) agro en la desembocadura del arroyo en el Río Paraná. Tomada el 20/04/2025. Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones en las que se encuentra el arroyo están lejos de ser las ideales. La planta de tratamiento cloacal de la ciudad se encuentra sobreexigida, por lo que los residuos arrojados al mismo no cuentan con el tratamiento apropiado. Esto sumado a los líquidos residuales desechados por parte de la industria frigorífica ha provocado que el agua se encuentre altamente contaminada. En la *Figura 5* se muestra la ubicación tanto de la planta de tratamiento cloacal como el frigorífico junto a la cascada actual.



Figura 5 - Localización de la planta de tratamiento cloacal (aguas arriba) y el Frigorífico Mattievich frente la cascada actual. Fuente: Google Earth.

En la *Figura 6* se aprecia la descarga del Frigorífico Mattievich y las condiciones de la misma.



Figura 6 - Fotografía de la zona aguas abajo de la cascada tomada el 20/04/2025. Descarga del Frigorífico Mattievich. Fuente: Elaboración propia.

El día 15 de enero de 2017, ocurrió un evento extraordinario, donde se registraron aproximadamente 320 mm en 10 hs en la parte baja de la cuenca. Esto desembocó en la mayor inundación en la historia de la localidad, con 235 evacuados e innumerables pérdidas materiales². Este fenómeno afectó sobre todo a los barrios Güemes, Doña Pepa y Versalles, debido al desborde del canal Savoca y el barrio Las Ranas, asociado al desborde del Arroyo Seco. También, la autopista Rosario-Buenos Aires, la Ruta Provincial N°21 y el Ferrocarril Nuevo Central Argentino sufrieron sobrepasos debido a los desbordes. Durante este evento, la cascada del Arroyo Seco sufrió un retroceso de aproximadamente 170 metros, afectando a las industrias que se encontraban en la ribera del mismo. Esto enfatiza la necesidad de intervenir el sector para evitar mayores daños a futuro. En la *Figura 7* se puede observar el retroceso de la cascada. Cabe mencionar que es el único retroceso registrado en la historia de la cascada, contando con información desde el año 2002.



Figura 7 - Retroceso de la cascada en el tiempo. Fuente: Google Earth.

² Stenta, H. R., Riccardi, G. A., Basile, P. A., & Scuderi, C. (2018, septiembre). Modelación

En la *Figura 8* puede visualizarse una fotografía de la inundación antes mencionada sobre el puente de la RP21.



Figura 8 - Inundación de enero del 2017. Fuente: Infocampo.

Por otra parte, existen una serie de espacios que se verían perjudicados ante el deterioro de las márgenes y el retroceso de la cascada, como lo son el puerto de Arroyo Seco, el frigorífico Mattievich y Puerto Gaboto y la planta de tratamientos cloacales aguas arriba del puente de la Ruta Provincial N°21. Este último, está ligado a la contaminación que se encuentra en la cercanía del Arroyo Seco la cuál empeoraría si no se realiza un control.

2.2. ORIGEN GEOMORFOLÓGICO DE LAS CASCADAS DE LLANURA Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE EROSIÓN RETROGRADANTE

Durante el Pleistoceno y el Holoceno, últimos 2,5 millones de años, la región pampeana experimentó fluctuaciones climáticas y variaciones en el nivel del mar.³ En ciertos períodos húmedos se formaron valles y redes fluviales que moldearon el paisaje. Los arroyos y ríos tenían más caudal y podían excavar canales profundos que con el tiempo se veían modificados por los procesos erosivos. En contraste, durante las épocas más secas, algunos de esos cauces se abandonaron o se colmataron por depósitos sedimentarios, dejando expuestas antiguas superficies que hoy condicionan la morfología del relieve.

El sector de la llanura pampeana en la provincia de Santa Fe está atravesado por seis fallas paralelas entre sí que originaron bloques tectónicos angostos y alargados, en los que se formaron cinco cuencas hidrográficas, correspondientes a los arroyos San Lorenzo, Ludueña, Saladillo, Frías y Seco. Este área forma parte de un pliegue de gran radio de curvatura que se fracturó en una sucesión de bloques tectónicos paralelos entre sí que se movieron de un modo diferencial dando la

³ Kröhling, D., & Orfeo, O. (2002). *Sedimentología de unidades loésicas (Pleistoceno tardío – Holoceno) del centro-sur de Santa Fe*. AAS Revista, 9(2), 135–154.

morfología actual.⁴ Se puede observar en la *Figura 9* que el sitio donde se encuentran estas fallas coincide con la ubicación donde se encuentran los saltos en los diferentes arroyos.

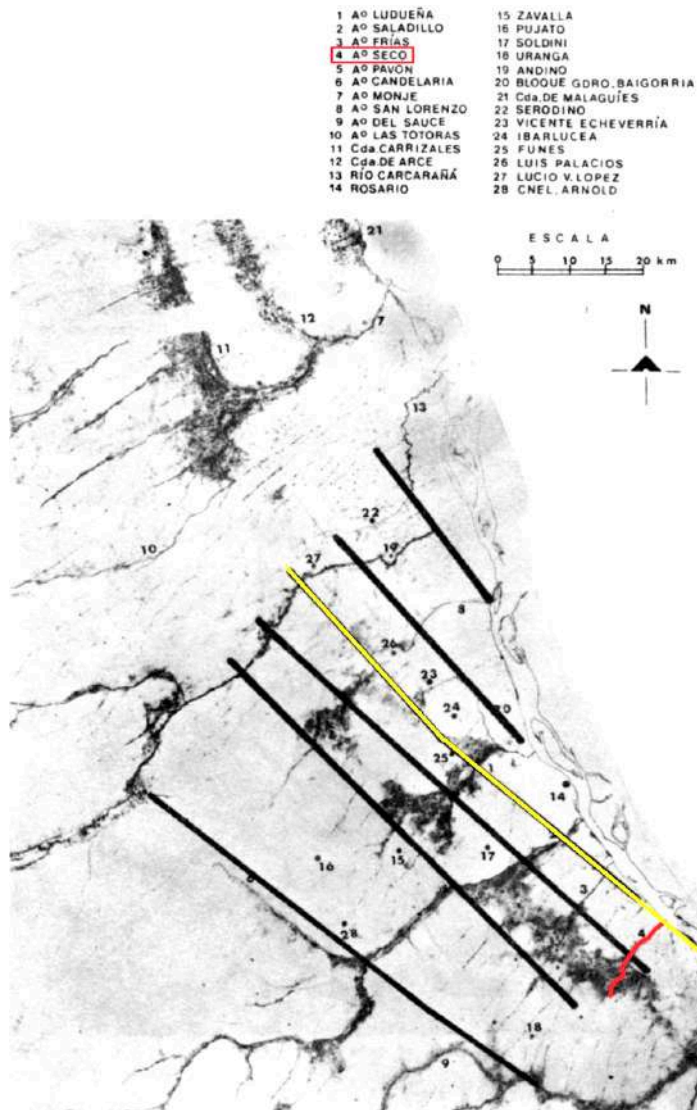


Figura 9 - Falla geológica del arroyo Seco. Fuente: Dislocaciones del Área de Gran Rosario. (Passoti, 1982).

Además, el sustrato geológico del sur de la Provincia de Santa Fe presenta diferencias en resistencia debido a la presencia de capas sedimentarias con distinta composición y grado de consolidación. Por ende, la aparición de las cascadas de llanura es debida a la erosión diferencial de los estratos menos resistentes causada por las fallas geológicas y el flujo de agua que generaron el desnivel abrupto. El material menos consolidado se remueve con mayor facilidad, formando un escalón morfológico que, con el tiempo, evoluciona en una cascada.

Una particularidad de estas cascadas de llanura es el proceso de retroceso que sufren las mismas. El umbral de vertido de la cascada provoca un incremento localizado de las velocidades del cauce puesto que la energía potencial del flujo se

⁴ XXVI-CAMSIG-Conferencia Temática Virginia Sosa (2023). Desafíos en la Estabilización de la Cascada del Saladillo en el Depto. Rosario, Santa Fe. Caso de estudio de erosión retrogradante.

transforma en energía cinética. El aumento de velocidades hace que las mismas superen las fuerzas tractivas del suelo del frente de la cascada y que comiencen los procesos erosivos. Esta erosión se produce progresivamente en el tiempo, dependiendo de las características resistentes del estrato que conforma el desnivel del lecho del arroyo.

La energía remanente en el pie de la cascada se disipa en forma macro turbulenta por sumersión del flujo de caída, dando lugar a remolinos y corrientes de recirculación que generan erosión de los estratos inferiores en la zona de impacto. La misma progresa hacia los márgenes de la cárcava provocando una expansión aguas abajo en forma de herradura. También lo hace en el fondo y se comienza a formar una ménsula de suelos resistentes que va aumentando cuanto mayor sea la magnitud de los caudales pasantes por el curso.

En la ménsula aparecen pequeñas fisuras verticales de tracción. Cuando el tamaño de la ménsula es elevado estas fisuras se profundizan y se genera un colapso masivo por inestabilidad geotécnica. La falla por ménsula Cantilever se da lugar por el elevado peso propio que adquiere la ménsula. El mecanismo avanza hacia aguas arriba en un proceso repetitivo, de modo que la forma de detenerlo es mediante la estabilización de la cascada y sus márgenes.

El fenómeno de retroceso se intensifica con cada crecida del arroyo. Con él viene aparejado la formación de un importante socavón que aumenta el ancho del arroyo y el aumento de velocidades que aumentan el desgaste.

El aumento importante de los caudales del arroyo se provoca tanto por el cambio climático como por factores antrópicos. Estos últimos agravan la problemática y entre ellos pueden listarse la impermeabilización de las áreas urbanas, la explotación agropecuaria no compatible con el potencial de uso de los suelos, la ejecución de obras en las que no consideraron la integridad del problema como canalizaciones del arroyo y dragados del puerto, entre otros.

En la *Figura 10* se esquematiza el proceso de erosión retrogradante descrito precedentemente.

Esta situación determina la necesidad de adoptar medidas que resuelvan de forma definitiva el progresivo proceso de erosión y consecuentemente, minimizar los riesgos del colapso del puente de la Ruta Provincial N°21. Además se debe aprovechar el hecho de que no se ha producido un retroceso en este último período, habiéndose registrado el último en enero de 2017. De esta forma, se está en condiciones para llevar a cabo la obra y evitar que se produzca un nuevo retroceso para implementar las medidas necesarias, el cuál es cada vez más inminente dada las grandes precipitaciones que se pueden observar a lo largo del país que afectan cada vez más a las localidades.

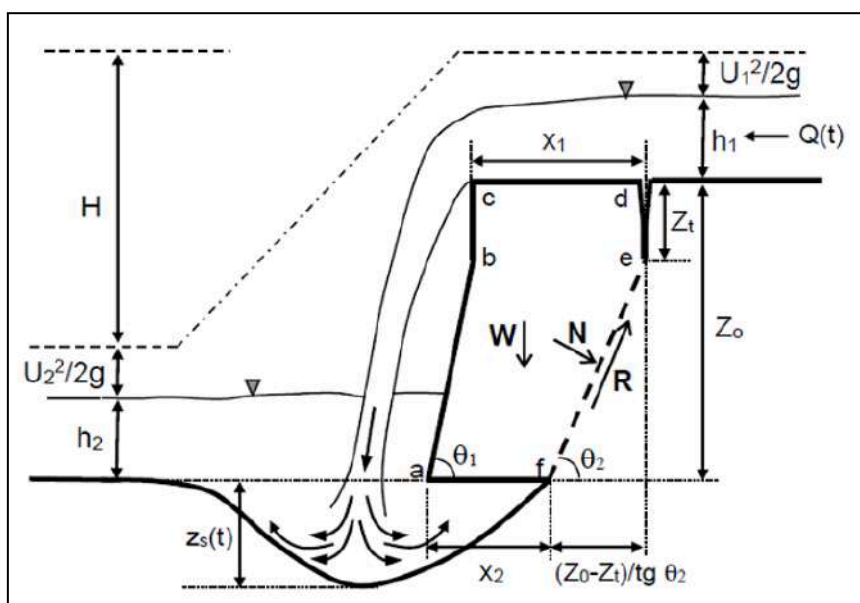


Figura 10 - Esquema utilizado para la explicación del proceso morfológico de erosión retrogradante de la cascada para el modelo ERCAS-SC. (Basile y Riccardi, 2017).

2.3. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES Y SOLUCIONES PROPUESTAS EN UN CASO SIMILAR

El fenómeno presente en el Arroyo Seco no es el primero en la zona. En el sector sur de la ciudad de Rosario, se encuentra el Arroyo Saladillo, que presenta una situación similar a mayor escala. La cascada sobre este arroyo cuenta con un ancho de canal de 65 m y un salto de 15 m de altura aproximadamente. Con caudales pico de hasta casi 700 m³/s, la cascada ha llegado a retroceder un total de 800 m aproximadamente desde 1986 hasta la actualidad. Tal ha sido el retroceso, que hoy en día el salto se encuentra aproximadamente a 170 m del puente denominado Molino Blanco que vincula dos importantes localidades de la región (Rosario y Villa Gobernador Gálvez), lo que amenazaba la estabilidad del mismo, ya que un retroceso mayor implicaría condiciones de fundación no previstas. A la fecha del presente informe, ya se encuentran ejecutadas las obras que refuerzan estructuras del puente existente, compatibles con niveles de erosión previstos si la cascada sufriese algún corrimiento previo a la ejecución de las obras que contemplan la estabilización de la cascada. Todos estos factores han contribuido a que, a lo largo de los años, se hayan propuesto proyectos y realizado obras, de carácter provisorio y definitivo, que se irán mencionando en este apartado, finalizando con la propuesta que se encuentra en ejecución hoy en día.

La primera propuesta de la cual se obtuvieron datos se planteó en el año **1967**, donde la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas (DPOH) según la información recopilada en "XXVI-CAMSIG-Conferencia Temática (Virginia Sosa). Desafíos en la Estabilización de la Cascada del Saladillo en el Dpto. Rosario, Santa Fe. Caso de estudio de erosión retrogradante", llevó a cabo un proyecto de rectificación del cauce de 9 km de longitud, salvando el desnivel de 12 m de altura en relación con el nivel base del Río Paraná mediante tres rápidas de 4 metros cada una. En el año **1970** se ejecutó parcialmente dicha obra, realizando solamente el salto de la cascada, con un caudal de diseño de 300 m³/s. En esta década se produjo una aceleración de la erosión retrogradante, generando la profundización del

lecho y trayendo como consecuencia la anulación del brazo norte del arroyo. Esto provocó la concentración de caudales en el brazo sur, lo que intensificó la erosión localizada y de márgenes.

En **1972**, la Universidad Nacional de La Plata, realizó un estudio del arroyo y consecuentemente una propuesta que consistía en 3 vertederos, que produjeran un caudal regulador de los aportes hídricos de 400 m³/s en el tramo de descarga al río Paraná, sin superar magnitudes correspondientes a 20 años de recurrencia.

Dentro de las crecidas que se produjeron en esta época, una de las de mayor magnitud fue la ocasionada en el año de **1986**, donde el salto de la cascada, que se ubicaba a 1000 m de la primera rápida, retrocedió un total de 150 m.

En **1987/1988** se ejecutó un proyecto llevado a cabo por la Dirección de Hidráulica de la provincia de Santa Fe, aumentando la capacidad del canal a 550 m³/s ensanchando y profundizando la canalización. Sin embargo, en **1988** se alcanzaron los niveles de diseño, produciendo un retroceso de 85 m.

En el año **1994** se realizó un análisis de alternativas bajo asesoramiento del Ingeniero ruso Guertrud Onipchenko en el marco de un convenio suscrito entre la Provincia de Santa Fe y la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, donde se plantearon como opciones un vertedero, un vertedero con trampolín, una rápida y una rápida con trampolín sobre pilotes. En la *Figura 11* se puede visualizar un croquis de la propuesta elegida por el ingeniero, un trampolín liso con canal de ingreso fundado en pilotes, con escalón de 4,00m de altura, un dissipador de energía de platea horizontal aguas abajo y una transición hacia el canal de lecho natural.

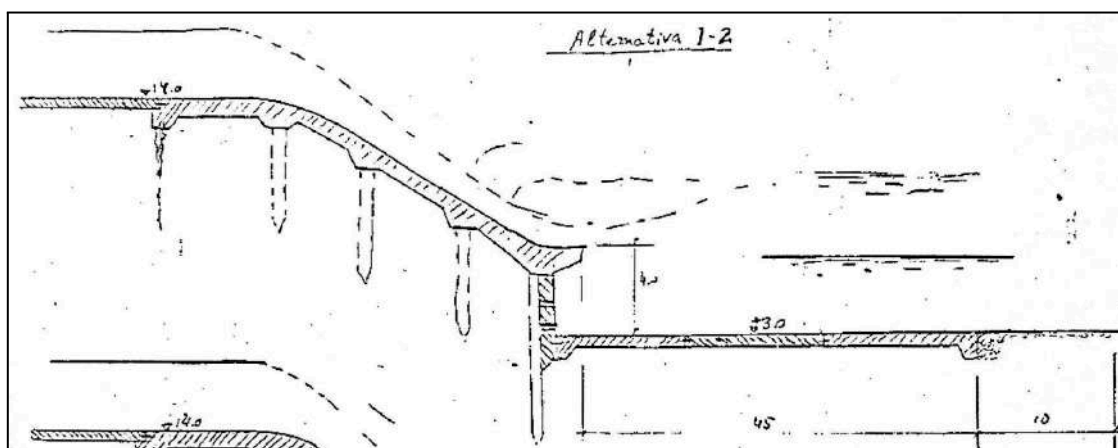


Figura 11 - Alternativa propuesta por Guertrud Onipchenko.

Fuente: Proyecto ejecutivo tramo 1 -A.Saladillo. Asesoramiento del Dr. Guertrud Onipchenko.

La Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, como se mencionó precedentemente, realizó un proyecto que apuntaba a estabilizar la erosión localizada en **dicho año**. El mismo consistió en un dissipador de energía hidráulica en tramo recto, eliminando el salto vertical, y para el mismo se utilizó un modelo matemático elaborado en FCEIA y un modelo físico por parte de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral. El perfil longitudinal modelado de la obra se muestra a continuación en la *Figura 12*.

A°SALADILLO - OBRA CASCADA
Ubicación Tomas Piezométricas

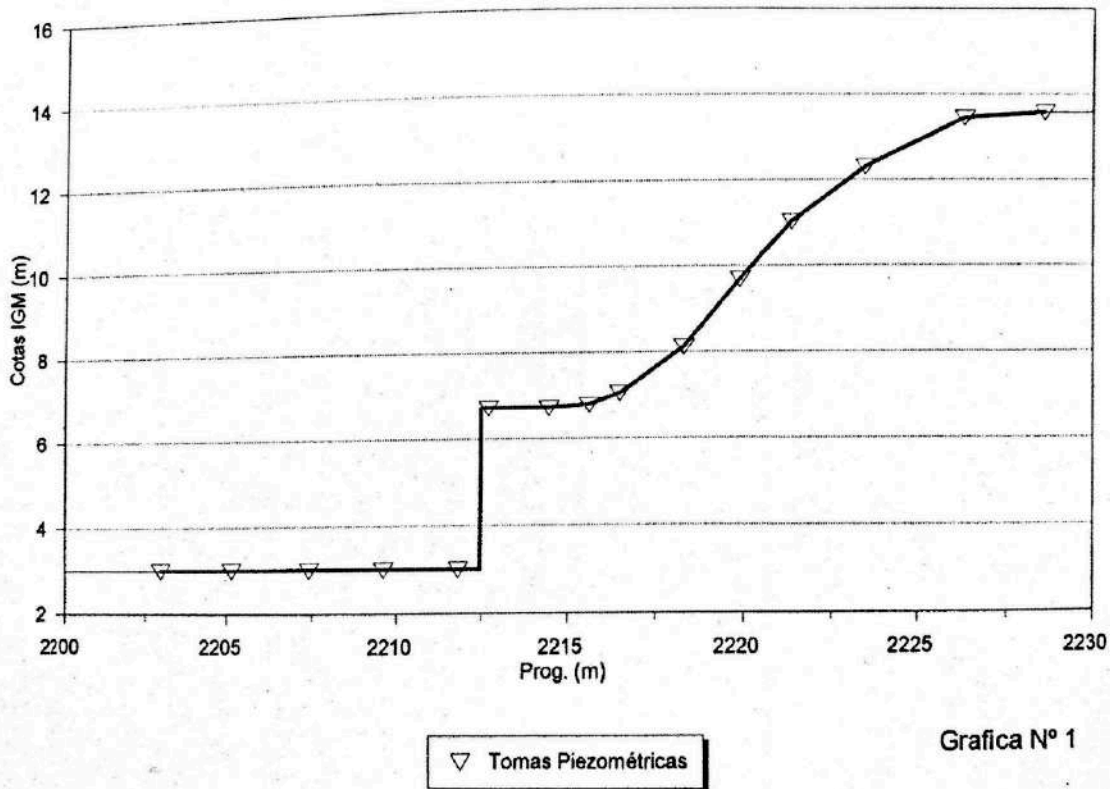


Figura 12 - Modelado de FICH de la obra propuesta por Guertrud Onipchenko, trampolín para los caudales de diseño de $1250\text{m}^3/\text{s}$ y $800\text{m}^3/\text{s}$ para dos cotas IGN de niveles del río Paraná.

Fuente: Proyecto ejecutivo tramo 1 -A.Saladillo. Unidad 5: Modelos físicos.

Además, en **1994** se presentó como proyecto final académico de la carrera de Ingeniería Civil de la FCEIA-UNR una estructura flexible para la estabilización de la cascada, que consistía en colchonetas que conformaban una rápida, vinculadas al terreno a través de anclajes activos.

En el mismo marco del proyecto anterior mencionado precedentemente, en **1995**, se realizó un segundo proyecto académico pero esta vez con una propuesta rígida, a través de una pantalla de hormigón que se mencionará y detalla más adelante.

En el año **1995** se ejecutó una canalización proyectada por la Unidad Técnica de Inundaciones (UTI) dependiente de la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas de la provincia de Santa Fe, con un caudal de diseño de $1250\text{ m}^3/\text{s}$. Cabe aclarar, que este caudal corresponde a una recurrencia de 50 años, según un estudio estadístico de caudales realizado en el año 1986 por los Ing. Gustavo Ferreira y Juan Morín.

En el año **2000**, mediante un nuevo convenio suscripto entre el Consejo Federal de Inversiones (CFI) y la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA-UNR), el equipo de proyecto realiza una adecuación estructural

no fue capaz de soportar el jet de agua, además de presentar pequeñas roturas del material que aceleraron el deterioro.

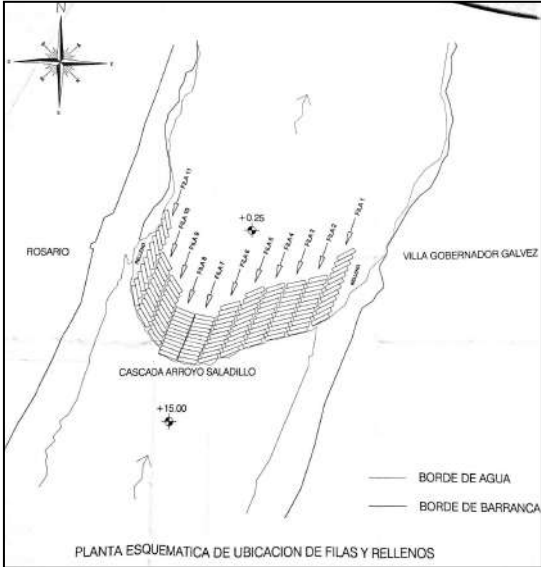


Figura 14 - Planimetría del refuerzo provisional GeoBags. Obra: Refuerzo de emergencia a pie de cascada del Arroyo Saladillo - Ciudades de Rosario y Villa Gobernador Gálvez - Departamento Rosario - Provincia de Santa Fe. Año 2017.

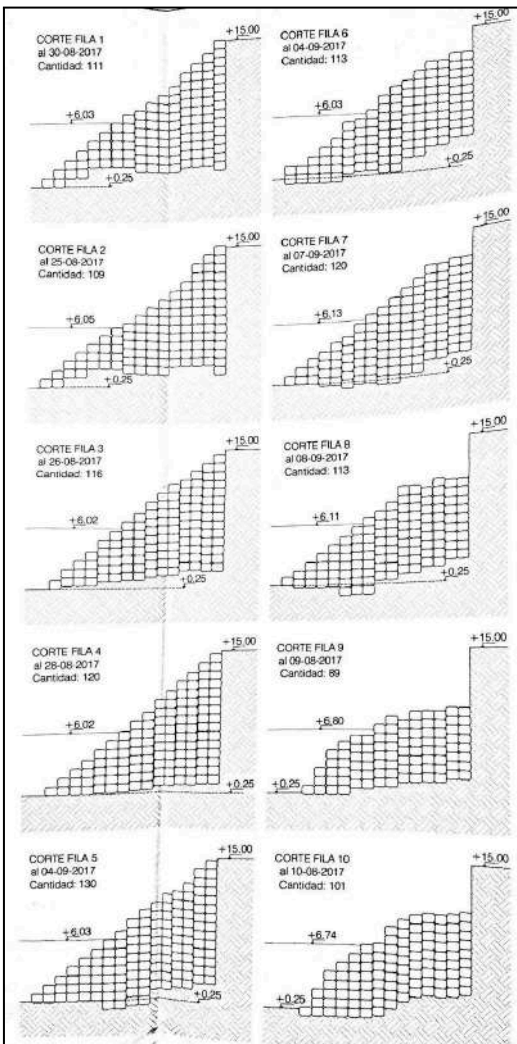


Figura 15 - Cortes longitudinales del refuerzo provisional GeoBags. Obra: Refuerzo de emergencia a pie de cascada del Arroyo Saladillo - Ciudades de Rosario y Villa Gobernador Gálvez - Departamento Rosario - Provincia de Santa Fe. Año 2017.

En **2018**, el Instituto Nacional del Agua - en el marco de un convenio suscripto con la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe - realizó un informe que incluía un proyecto de una pantalla anclada de muro colado de eje recto aguas arriba y aguas abajo tres opciones bajo el principio de ahogar la cascada en la situación del momento y llevar el salto a las obras proyectadas. El estudio no logró avanzar respecto a financiación por no contar con un proyecto ejecutivo.

En el año **2020**, la Dirección Provincial de Vialidad propone un nuevo anteproyecto - que no se ejecutó - que consistía en el desarrollo de un vertedero con diez saltos hidráulicos de 1 m de altura y 3 de longitud horizontal cada uno. Esta obra presentaba un carácter de emergencia y su materialización consistía en rellenar la zona del salto natural mediante la colocación de capas de material pétreo conformado por gaviones y colchonetas. En adición a esta obra, se había previsto la ejecución de una pantalla de pilotes secantes de gran diámetro, para garantizar la contención de la cascada

En el año **2022** finalmente se llega al proyecto desarrollado por una consultora contratada oportunamente por las autoridades del gobierno provincial de esa fecha, el cual actualmente se encuentra en ejecución. El mismo consiste en la construcción de una pantalla de hormigón de eje curvo aguas arriba del salto, cuyo lado cóncavo está orientado aguas abajo, con el fin de detener la erosión localizada. El proyecto inicial de **2021** constaba de dos etapas, la primera de ellas ejecutada casi en su totalidad. Esta primer etapa preveía un refuerzo del puente según indica la *Figura 16*, donde se ejecutaron pilotes en cada uno de sus pilares para alcanzar mayores profundidades de fundación, que se complementa con refuerzos de geomalla en los taludes de la zona de los estribos del puente, para asegurar la estabilidad del mismo en caso de que la cascada pudiera remover el suelo de fundación. Además se realizaría una protección aguas arriba de la cascada con jet grouting y, sobre la misma, se dispondrían bloques de hormigón para resistir la fuerza generada por un caudal de $550 \text{ m}^3/\text{s}$, indicado en la *Figura 17* y *18*. La segunda etapa continuaría con la ejecución de un muro colado de hormigón armado de eje curvo con el objetivo de preservar la forma natural de la cascada, *Figura 19*. Este muro trabajaría como pantalla en cantilever pero, al requerirse una profundidad muy grande de fundación, se decidió mejorar la capacidad portante del suelo mediante la ejecución de jet grouting para generar el empotramiento, *Figura 20*. Esto se aplicaba a las protecciones por erosión extrema del muro.

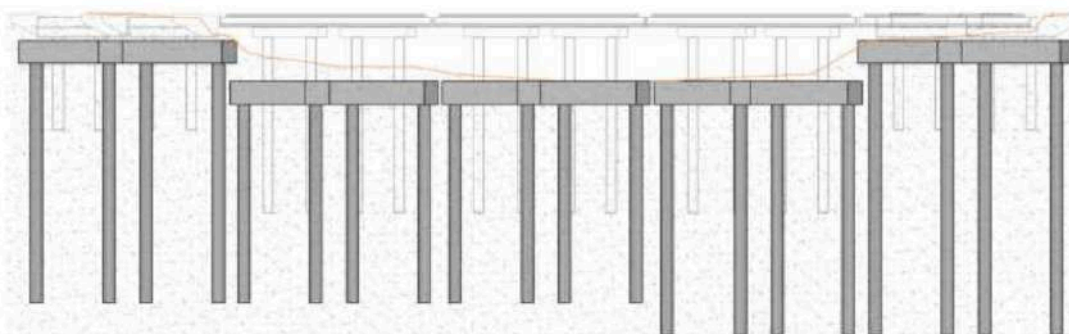


Figura 16 - Etapa 1 (2021). Refuerzo de fundaciones, pilotes y cabezales nuevos según erosión del lecho.

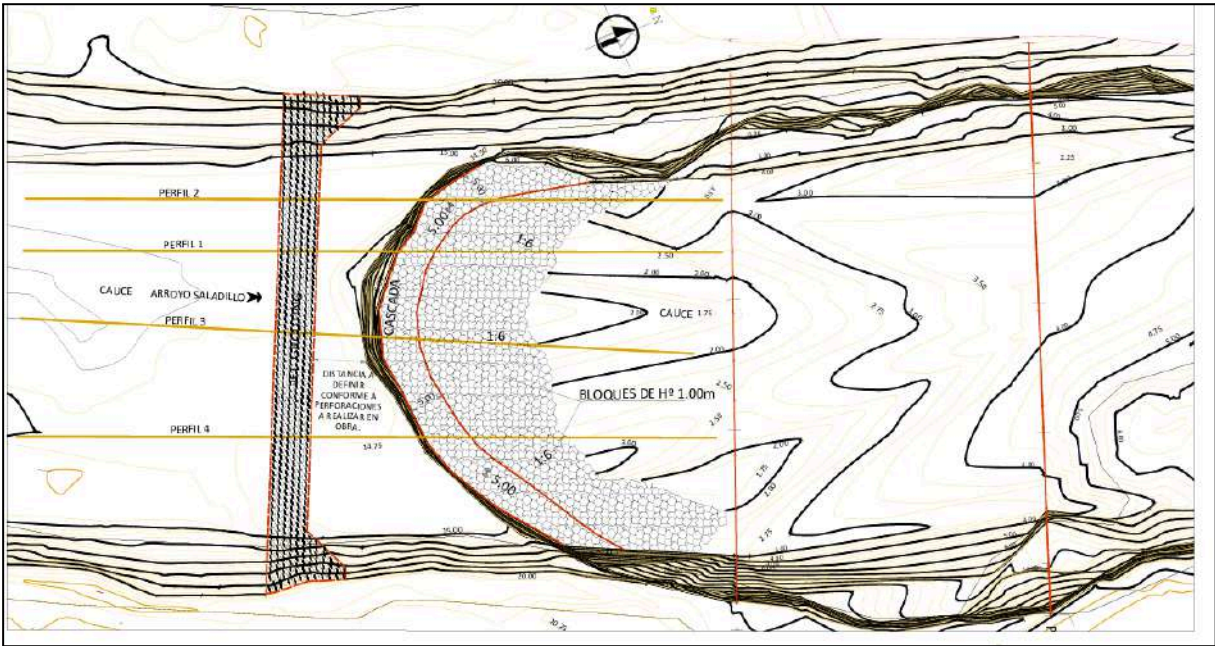


Figura 17 - Etapa 1 (2021). Obra provisoria. Bloques de hormigón y jet grouting para un caudal de 550 m³/s.

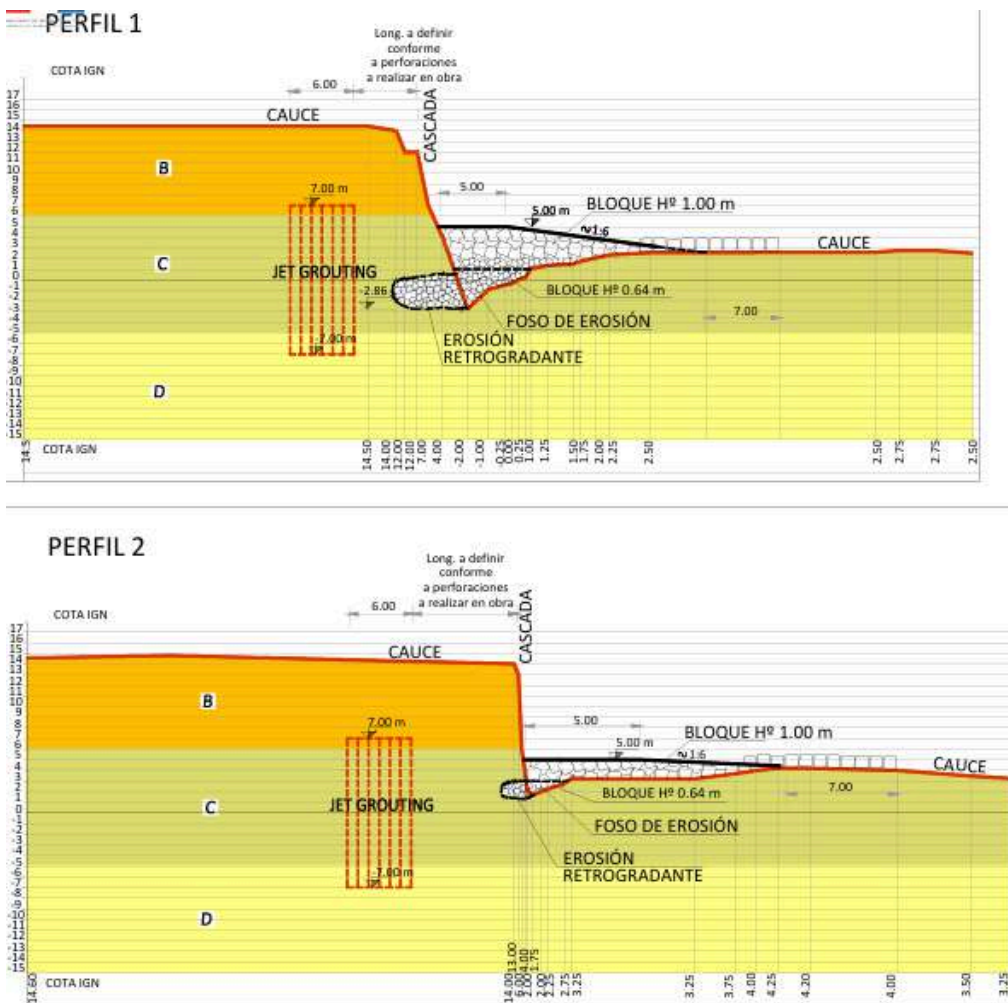


Figura 18 - Etapa 1 (2021). Perfiles longitudinales. Obra de protección provisoria.

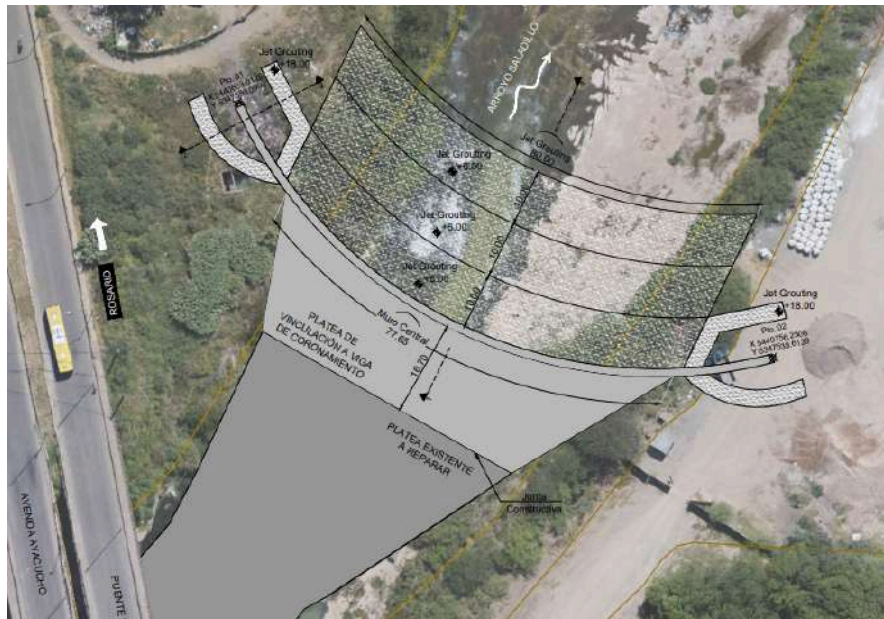


Figura 19 - Etapa 2 (2021). Reparación de platea existente, platea nueva, muro curvo con protecciones por la erosión en los extremos.

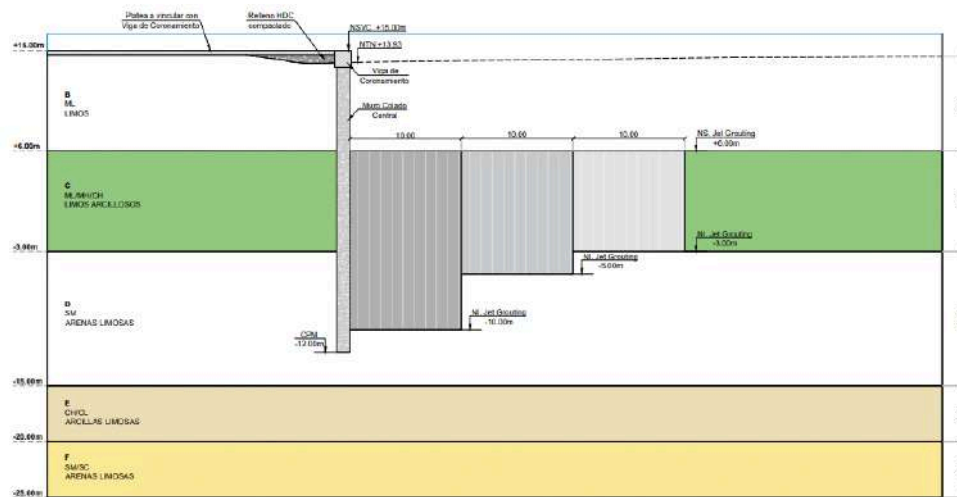


Figura 20 - Etapa 2 (2021). Jet grouting al pie de la pantalla para mejorar el empotramiento del suelo para generar funcionamiento en cantilever.

Luego, por problemas relacionados a la disponibilidad de empresas y equipos disponibles en el mercado nacional para la ejecución del jet grouting, ya habiendo sido licitada la obra y mediante una modificación del proyecto propuesto por la empresa contratista de dichas obras, se debió optar por la solución de una pantalla ejecutada con la tecnología de muro colado anclado formando un esquema tipo pórtico con vigas perpendiculares a su eje curvo y muertos de anclaje aguas arriba. De esta última corrección del proyecto, actualmente en ejecución, se puede visualizar en las Figuras 21 y 22 el planteo a realizar.

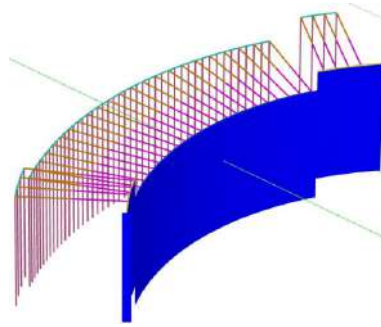


Figura 21 - Esquema 3D de la pantalla a ejecutar. Fuente: Ciclo de charlas FCEIA - Proyecto Saladillo - Desafíos de una Obra Estratégica - Virginia Sosa (2025).

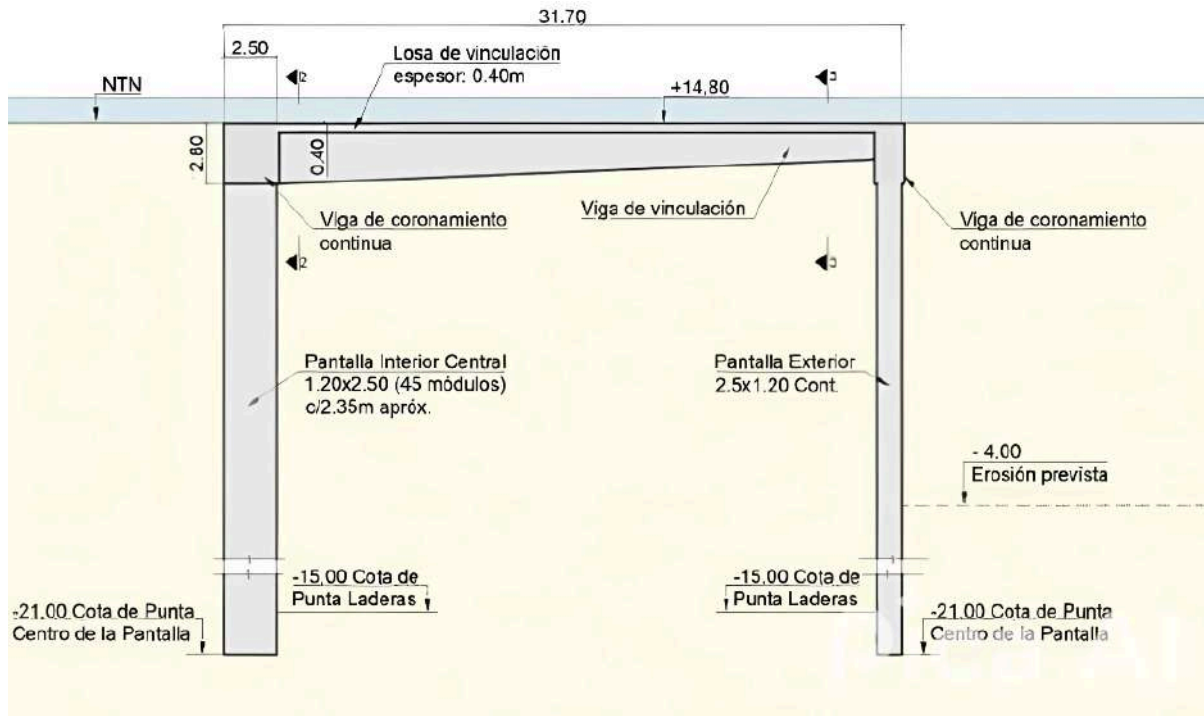


Figura 22 - Corte transversal de las pantallas continua y discontinua, vinculadas por una viga. Fuente: Ciclo de charlas FCEIA - Proyecto Saladillo - Desafíos de una Obra Estratégica - Virginia Sosa (2025).

3. ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL ARROYO SECO

3.1. PERFIL LONGITUDINAL Y PERFILES TRANSVERSALES

Como parte de los estudios básicos para el desarrollo de un proyecto, los relevamientos topobatimétricos, incluyendo los perfiles longitudinales y transversales, resultan esenciales para conocer las características de escurrimiento, desnivel del lecho y la fosa de erosión existente que se genera al pie de la cárcava, lo cual permitirá diseñar una solución adecuada. Debido a no contar con la información de perfiles recientes, se obtuvieron en el Centro de Documentación de la Secretaría de Recursos Hídricos de Santa Fe, perfiles transversales y un perfil longitudinal de 1977 del reacondicionamiento de la canalización de Arroyo Seco entre el puente de la actual Ruta Provincial N° 21 y el salto, que se encontraba ubicado aguas abajo del actual. Sin embargo, debido a que los mismos no se encontraban referidos a cotas IGN, en una primer instancia, se los llevó a las mismas haciendo uso de perfiles transversales sobre el puente del Informe Técnico

Complementario-Cuenca Arroyo Seco del Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda de la Provincia de Santa Fe de 1995. Este procedimiento fue realizado ya que los perfiles del último informe mencionado eran del puente hacia aguas arriba mientras que, los que eran de interés para el proyecto eran los del puente hacia aguas abajo. Por otra parte, cada uno de los perfiles transversales en ambos estudios presentaban una identificación diferente, las cuáles se basaban en la progresiva en la que se encontraban con respecto a un punto de referencia. Este punto de referencia resultó el mismo en ambos estudios y coincidente con la ubicación de la cascada en ese momento, pero se realizaron diferentes consideraciones en cuanto a la poligonización del curso, por lo que se debió tener en cuenta al momento de comparar los diferentes perfiles. En lo que respecta a los perfiles transversales realizados para este proyecto, se adecuó la identificación de los de 1977 y 1995 tomando como referencia la localización de la desembocadura del Río Paraná, independizando a los perfiles de la ubicación de la cascada.

Por otro lado, recabando información disponible en la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe, se tuvo acceso a un informe donde se incluían perfiles transversales en el canal aguas abajo del salto, desde la desembocadura al Río Paraná hasta 550 m hacia aguas arriba antes del socavón que se desarrolla por la erosión retrogradante. Los mismos se obtuvieron del documento Dragado Arroyo Seco de D&R Ingeniería realizado en el año 2021 y se encontraban asociados a cotas IGN.

Finalmente, para obtener el perfil longitudinal completo, los perfiles transversales restantes en la zona de la hoya y medir la profundidad del socavón, el día 20 de abril se realizó una medición de profundidades con el uso de plumadas arriba de una lancha, acompañados por el Ing. Hernán Stenta. Cada punto relevado se relacionó con una posición georreferenciada en Google Earth asociado con la profundidad medida, como puede observarse a continuación en la *Figura 23*.



Figura 23 - Ubicación de los puntos relevados asociados a las profundidades medidas. Relevamiento del día 20 de abril de 2025. Fuente: Elaboración Propia a partir de imagen satelital de Google Earth.

Luego, para llevar las profundidades medidas a cotas IGN del fondo del lecho, se hizo uso del dato del nivel hidrométrico del Río Paraná del día del relevamiento dados por Prefectura Naval Argentina en Rosario (en su escala) y en Villa Constitución (en su escala), obtenidos del correspondiente sitio web⁵, para posteriormente obtener el pelo de agua en Arroyo Seco por interpolación lineal según las distancias entre Rosario-Villa Constitución y Rosario-Arroyo Seco. Los ceros de las escalas hidrométricas de cada localidad están asociadas a un nivel IGN (actualizado en 2016) de 2,923 m para Rosario y 1,981 m para Villa Constitución. Este procedimiento puede observarse en la *Tabla 1*.

Tabla 1 - Cálculo del pelo de agua en el Paraná, del día 20/4/25.

Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo del pelo de agua en el Paraná 20/4/25 | | |
|--|--------------|----------|
| IGN Rosario (Cero escala) | 2,923 | m |
| IGN Villa Constitución (Cero escala) | 1,981 | m |
| Progresiva Rosario | 420 | km |
| Progresiva Villa Constitución | 368 | km |
| Progresiva Arroyo Seco | 400 | km |
| Nivel Paraná Rosario 20/04 | 0,92 | m |
| Nivel Paraná Villa Constitución 20/04 | 0,68 | m |
| Nivel IGN Ros 20/04 | 3,843 | m |
| Nivel IGN Villa Constitución 20/04 | 2,661 | m |
| Proporción Rosario-Arroyo Seco | 0,385 | |
| IGN del Cero Arroyo (mínimo medio) | 2,561 | m |
| IGN Paraná en Arroyo 20/4 | 3,388 | m |

Los perfiles así obtenidos aguas abajo de la cascada fueron referenciados al mismo sistema de los perfiles aguas arriba de la misma, empleando a la desembocadura del Río Paraná como punto de referencia. De esta manera, se obtiene un único sistema de referencia para todos los perfiles transversales presentados en el proyecto, abarcando un tramo de aproximadamente 1630 metros hacia aguas arriba

Por último, el día 30 de abril se realizó una visita de campo a pie a lo largo de la margen norte accesible con el objetivo de constatar la diferencia de niveles entre el lecho de la cárcava en el desnivel y el pelo de agua, relevar algunos perfiles transversales aproximados y la distancia al puente de la RP21. El trabajo fue realizado junto al agrimensor Gustavo Acosta utilizando su equipo de estación total. Luego, con los datos de niveles hidrométricos dados por Prefectura Naval para el mismo día en Rosario y Villa Constitución, se procede nuevamente a obtener un pelo de agua IGN del Río Paraná para Arroyo Seco y, de esta manera, llevar los demás puntos relevados a IGN. Con este último procedimiento es posible corregir en altimetría los perfiles transversales obtenidos de 1977, los cuáles previamente habían sido corregidos con los perfiles del informe de 1995, y llegar a un perfil longitudinal verificado. La interpolación realizada se muestra en la *Tabla 2*.

⁵Prefectura Naval Argentina. (s.f.). *Alturas de mareas y ríos*.
<https://contenidosweb.prefecturanaval.gob.ar/alturas/>

Es decir, que el perfil longitudinal fue producto del procesamiento y compatibilización de los perfiles provenientes de estas tres fuentes distintas, todas pasadas a cotas IGN.

*Tabla 2 - Cálculo del nivel del pelo de agua en el Paraná, del día 30/4/25.
Fuente: Elaboración Propia.*

| Cálculo del pelo de agua en el Paraná 30/4/25 Relevamiento Topográfico | | |
|---|--------------|----------|
| IGN Rosario (Cero escala) | 2,923 | m |
| IGN Villa Constitución (Cero escala) | 1,981 | m |
| Progresiva Rosario | 420 | km |
| Progresiva Villa Constitución | 368 | km |
| Progresiva Arroyo Seco | 400 | km |
| Nivel Paraná Rosario 30/04 | 0,65 | m |
| Nivel Paraná Villa Constitución 30/04 | 0,43 | m |
| Nivel IGN Ros 30/04 | 3,573 | m |
| Nivel IGN Villa Constitución 30/04 | 2,411 | m |
| Proporción Rosario-Arroyo Seco | 0,385 | |
| IGN del Cero Arroyo (mínimo medio) | 2,561 | m |
| IGN Paraná en Arroyo 30/4 | 3,126 | m |

De acuerdo a estos relevamientos y lo observado durante las visitas de campo, el cauce del arroyo Seco en el sector aguas abajo de la cascada, posee un fondo con un aumento de profundidad en el sector central y con sus laterales casi rectos. El cauce aguas arriba de la cascada se presenta en un sector de planicie donde los márgenes del terreno se encuentran entre las cotas 12.00 y 15.00, mientras que en los fondos se alcanzan cotas entre 11.00 y 9.00, disminuyendo la cota aguas abajo.

Además, a partir de la elaboración de los perfiles, se pudo observar que el fondo aguas arriba de la cascada se encuentra aproximadamente a cota 9.80 y a cota aproximadamente 1 aguas abajo de la misma. En el sector de la cascada, se alcanzan valores de cota -8.00 en las zonas erosionadas. Lo mencionado precedentemente se indica en el *PLANO N°4 - PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE*.

3.2. ESTUDIO GEOTÉCNICO

Para evaluar el aspecto geotécnico de la obra, se empleó el estudio de suelos realizado para la ejecución de una ampliación del puente existente para la Ruta Provincial N° 21, en la provincia de Santa Fe, realizado por la consultora Ensayos y Estructuras del Ingeniero Damián Rosado durante el año 2023. Este puente se encuentra a 600 metros aguas arriba con respecto a la ubicación de la cascada y se considera que los resultados del estudio son válidos para el proyecto de estabilización dado el carácter académico del proyecto. Como se mencionará más adelante, en caso de continuar con este proyecto, será necesaria la ejecución de estudios en correspondencia con la zona de emplazamiento de las obras.

En esa oportunidad se realizaron cuatro perforaciones para clasificar los suelos existentes tanto su estratigrafía como las características físicas y mecánicas

de los distintos estratos. La ubicación de las perforaciones realizadas se observa en la *Figura 24*.



Figura 24 - Croquis de ubicación de las perforaciones. Fuente: Estudio de Suelos Puente sobre arroyo Seco (2023).

De los cuatro sondeos realizados se emplean los datos obtenidos del cuarto pozo, ya que la utilización del mismo coloca el cálculo del lado de la seguridad con respecto al resto. En dicho pozo se poseen 3 estratos en vez de 4 que aparecen en los demás pozos. Esto se debe a un criterio tomado por el analista de suelos debido a que se consideró que las características no difieren lo suficiente en este último pozo.

Los tres estratos están conformados por una primera capa conformada por limos de baja plasticidad (ML) hasta una profundidad de 2,30 m, luego por arcillas de baja plasticidad (CL) hasta los 15,40 m y por último una capa de arena limo-arcillosa (SM, SC) a partir de ese punto en adelante.

Otra cuestión a destacar del estudio de suelos es la presencia de suelos de gran resistencia, resultando valores de SPT de 50 golpes para la gran mayoría de los estratos estudiados. Esto fundamentalmente se debe a la presencia de arcillas con alto contenido calcáreo el cuál le brinda gran resistencia. En la *Tabla 3* se presentan los parámetros obtenidos de cada estrato.

Tabla 3 - Resultados del sondeo del pozo 4. Fuente: Estudio de Suelos Puente sobre arroyo Seco (2023).

| PROFUNDIDAD (m) | Cota | Resistencia por Punta (t/m ²) | Resistencia por fricción lateral (t/m ²) | Cohesión del suelo (kg/cm ²) | Angulo Fricción Interna (°) | Coefficiente de Balasto Horizontal (kg/cm ³) |
|-----------------|----------------|---|--|--|-----------------------------|--|
| 0,00 - 2,30 | 11,50 - 9,20 | — | 6,3 | 0,76 | 23 | 184/B |
| 2,30 - 15,40 | 9,20 - -3,90 | 62,3 - 115,4 | 7,8 - 10,6 | 0,86 | 24 | 200/B |
| 15,40 - 24,00 | -3,90 - -12,50 | 342,8 - 564,0 | 12,0 - 18,7 | - | 36 | 3696/B - 5760/B |

B = Diámetro del Pilote en cm

Interpolarse linealmente para valores intermedios

Para considerar los parámetros de resistencia por punta de un estrato el pilote debe penetrar en el mismo al menos dos diámetros.

Por otra parte, durante la visita de campo se pudo realizar una observación de las barrancas del cauce aguas abajo del salto en la cuál por encima del nivel del agua, puede visualizarse la estratigrafía horizontal, tal como se observa en la *Figura 25*. En ella se pudo corroborar alguno de los datos informados en el estudio de suelos de Ensayos y Estructuras, como las potencias de los estratos y las características de cada uno de ellos, tales como su color, vetas y nódulos. Esta apreciación sirve como verificación de que la tipología del suelo en dicha zona no cambia bruscamente respecto a lo observado y medido en los pozos, permitiéndonos, por el carácter académico del proyecto, tomar los resultados del estudio como válidos.



Figura 25 - Características del terreno. Barrancas laterales aguas abajo del salto. Relevamiento del día 20 de abril de 2025. Fuente: Elaboración propia.

3.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

La cuenca del Arroyo Seco, quien le da el nombre a la ciudad, tiene un área de aproximadamente 330 km² abarcando a los distritos de Coronel Bogado, Coronel Dominguez, Villa Amelia, Uranga, Albarellos, Fighiera y Arroyo Seco.

Analizando la problemática de la cascada del arroyo Seco, para la toma de decisiones y el cálculo de la propuesta estructural, es necesario obtener un caudal de diseño del arroyo en la sección en correspondencia con el sector de emplazamiento de las obras propuestas. Es preciso entonces definir una recurrencia acorde a la relevancia de la obra a ejecutar y con esta obtener un caudal pico asociado.

Por ello, se hace uso de los estudios hidrológicos-hidráulicos realizados por distintos organismos provinciales que permiten caracterizar la cuenca del arroyo Seco, cuya extensión se observa en la *Figura 26*.

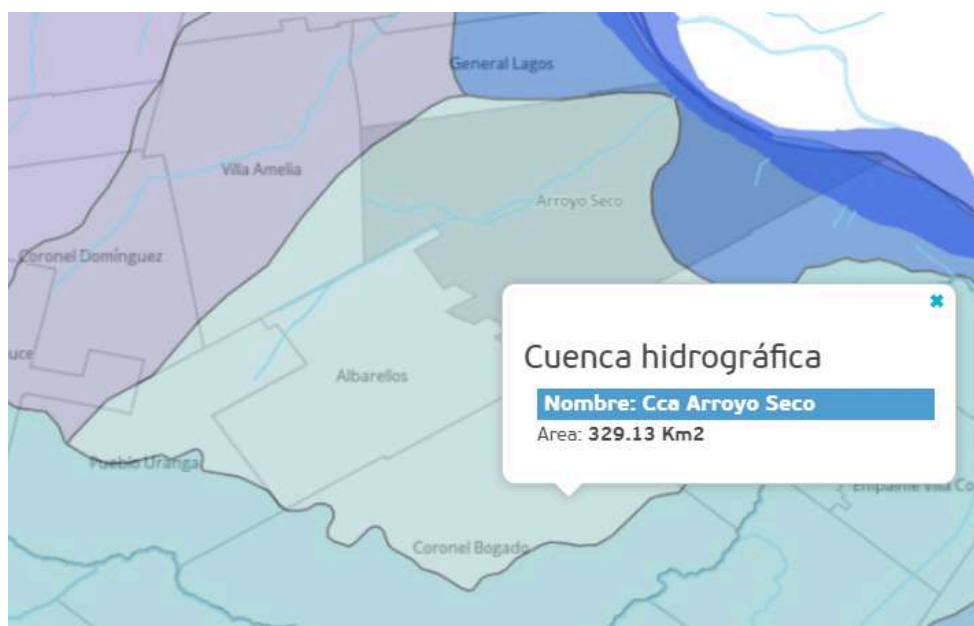


Figura 26 - Cuenca arroyo Seco. Fuente: Secretaría de recursos hídricos de la provincia de Santa Fe.

Por un lado, se dispone de un estudio de la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) hecho para el diseño de obras de arte y drenaje para la Ruta Provincial N°21 en el tramo Alvear-Fighiera (2024). En el mismo, se delimitan las cuencas de aporte mediante el procesamiento a través del software Global Mapper 20 y la transformación de lluvia/caudal se realiza a través de una modelación con el software HEC-HMS. Además, se hace uso de las curvas IDF elaboradas a partir de los datos correspondientes a la estación Rosario Aero, obtenidos en el Servicio Meteorológico Nacional.

Luego, se cuenta con una memoria técnica para la reconstrucción del puente Camino El Ombú y la protección del puente interno sobre el Arroyo Seco (2023) realizado en el Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat (SRH). En este trabajo, para el cálculo del caudal de aporte se utiliza el programa HEC-HMS, el método de pérdidas adoptado es el Servicio de Conservación de Suelo y la transformación lluvia – caudal se determina a partir del Hidrograma Unitario del mismo. Este modelo matemático considerado es calibrado por el dato provisto por la propietaria de la Estancia Dry Stream, que indica que en el evento de enero de 2017 el Arroyo Seco, que atraviesa su propiedad, ha alcanzado una cota del pelo de agua que superó aproximadamente 0.80m la cota de calzada de su puente interno, sin afectar la casa ubicada en el campo.

Finalmente, con la ayuda del Ingeniero Hernán Stenta, se hace uso del modelo matemático hidrológico-hidráulico (*Figura 27*) de parámetros distribuidos denominado VMMHH 1.0 desarrollado por el Ing. Gerardo Riccardi (2013) en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario. Con dicho sistema de modelación basado en los esquemas de celdas originalmente propuestos por Cunge (1975), Stenta et al. (2016) representa la cuenca del Arroyo Seco realizado un estudio específico de manchas de inundación en la misma y obtiene hidrogramas para diferentes recurrencias y para la lluvia del evento extraordinario de enero de 2017.

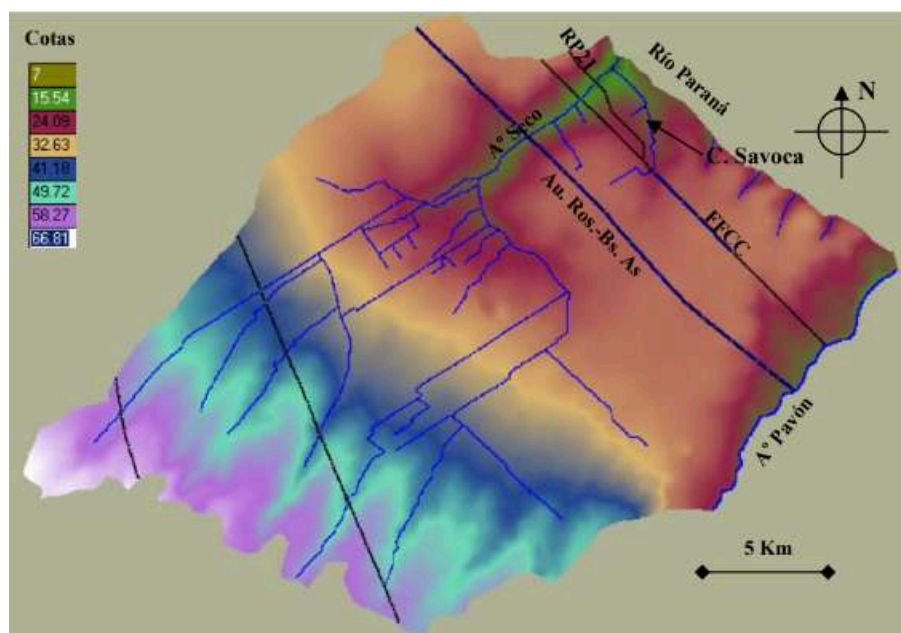


Figura 27 - Modelo con esquema de celdas de la cuenca del arroyo Seco y parte de la cuenca del arroyo Pavón. Fuente: Modelación del escurrimiento superficial en la cuenca del A° Seco (Santa Fe) para el evento extremo del día 15 de enero de 2017 (Stenta, Riccardi, Basile y Scuderi, 2017).

Los caudales y sus recurrencias asociadas de los tres estudios son volcados en la *Tabla 4*.

Tabla 4 - Comparación de resultados de los modelos hidrológicos-hidráulicos de la cuenca de Arroyo Seco.

| Modelo hidrológico-hidráulico | RP21-DPV | Puente camino del Ombú-Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat | Diagrama de celdas-Riccardi Stenta (FCEIA-UNR) | | |
|---------------------------------|----------|--|--|--------|----------------------|
| Recurrencia [años] | 100 | 10 | 100 | 500 | Evento de enero 2017 |
| Caudal pico [m ³ /s] | 81,63 | 126,60 | 436,07 | 609,35 | 403,15 |

El estudio de la DNV cuenta con un caudal muy pequeño en comparación a los otros dos por lo que, considerando que no se informa si se ha realizado una calibración del modelo, se descarta el mismo. El segundo estudio utiliza una recurrencia de 10 años que es considerada baja para brindar la seguridad adecuada para una estabilización de la cascada. Por su parte, el modelo de celdas ha sido calibrado para el evento de enero de 2017 de manera satisfactoria en función de los niveles disponibles en cuatro puntos característicos y en la zona de inundación. En tanto que, se considera que el modelo Riccardi - Stenta resulta ser satisfactorio para las recurrencias que corresponden al presente proyecto, es por ello que se define que se utilizará el diagrama de celdas por considerarse el más apropiado para el caso.

Se define entonces que la obra se diseñará con una recurrencia de 100 años y un caudal pico de 436,07 m³/s, ya que el principal objetivo de la estabilización es

conservar en buen estado el puente autovía que está diseñado para dicha recurrencia, aún cuando su caudal de diseño, correspondiente a 100 años, sea sustancialmente menor (81,63 m³/s). Por otra parte, resultaría excesivo considerar una recurrencia de 500 años por su elevado costo, no siendo usual para el diseño de obras de arte en rutas de esta categoría. Además, la distancia de la obra proyectada a una zona residencial no amerita esa inversión.

A continuación, se realizará una breve descripción del modelo utilizado: “En cada unidad de la capa superficial es posible plantear el ingreso de flujo proveniente de precipitación neta, aporte de caudales externos e intercambio de caudales con celdas adyacentes. El escurrimiento resultante puede ser propagado 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”. (Riccardi et al., 2002).

La cuenca se subdivide en celdas de igual tamaño y forma cuadrangular. Las mismas pueden ser del tipo valle o río (celdas que constituyen los cursos de agua) y tienen distinta forma de almacenamiento y conducción del flujo.

Todas las celdas se interconectan entre sí con leyes de continuidad y descarga unidimensionales en cada dirección del espacio. Las últimas leyes se clasifican en:

- Unión cinemática para las celdas valle: la pendiente de la superficie libre del agua se aproxima a la pendiente topográfica del fondo.
- Unión tipo río simple: para escurrimientos con fuerzas inerciales despreciables, considerando la ecuación de Manning.
- Unión tipo vertedero: para evidenciar un límite físico, sirve para representar separaciones por terraplenes que actúan como tapones hidráulicos como por ejemplo una carretera. Se utiliza la fórmula de descarga libre o sumergida según corresponda para vertederos de cresta ancha
- Unión tipo puente: expresa la ecuación de caudal para vertederos con múltiples anchos y escalón de fondo nulo. El coeficiente de gasto que utiliza es el presentado por Chow en el flujo a través de constricciones (1959)

En definitiva, al modelo se le ingresa la topografía de la cuenca de estudio, los canales, caminos, alcantarillas y demás particularidades que definen los tipos de celdas y de unión entre ellas. Luego se le asigna una lluvia de determinada duración y recurrencia al programa. Este hace una transformación lluvia-caudal y pone al caudal en movimiento en la topografía. Así, saca en cada celda la altura de agua, el caudal y la velocidad en el tiempo, obteniendo como resultado hidrogramas de escurrimiento directo (HED) e hietogramas de lluvia neta.

4. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN DEL ARROYO SECO

En base a las diferentes soluciones desarrolladas para el caso de la estabilización de la cascada del Arroyo Saladillo, se evalúan las siguientes alternativas para el caso de estudio de la cascada de Arroyo Seco. Dentro de estas alternativas, no se consideran soluciones temporales dado que en las condiciones actuales no resulta un problema de emergencia. Es decir, si la cascada llegase a retroceder, aún se estaría en buenas condiciones con respecto al puente de la Ruta Provincial N° 21.

Las mismas se dividen en dos tipos en forma global según capacidad de deformación; **rígida** y **flexible**.

4.1. ALTERNATIVAS RÍGIDAS

- Trampolín con dissipador de energía de platea horizontal aguas abajo: consiste en la solución planteada originalmente en el proyecto de 1994 del Arroyo Saladillo (Figura 11). Si bien es la configuración considerada, en principio, como la más adecuada desde el punto de vista hidráulico y estructural, posee la desventaja de que para caudales bajos la estructura queda a la vista, perdiendo la visual de cascada. Por esta cuestión, como ya se mencionó anteriormente, fue que los vecinos del Saladillo impidieron la obra por vías judiciales. De modo que hoy en día no presentaría un problema avanzar sobre esta propuesta en el salto del arroyo Seco, ya que no existen zonas residenciales adyacentes al mismo y tampoco se visita de forma recreativa dada la contaminación presente en el arroyo. Sin embargo, considerando que es necesario revertir esta problemática, se podría plantear a futuro resignificar la cascada, dándole un fin social y recreativo, por lo que dicho trampolín, en esta etapa de proyecto, no se ha considerado como alternativa a evaluar.
- Pantalla de pilotes con viga cabezal en su extremo superior: esta solución surge de la propuesta del proyecto final académico de 1995 de la carrera de Ingeniería Civil de la FCEIA-UNR para el Arroyo Saladillo dirigido por el Ing. Carlos Bessone. La misma permite conservar el desnivel y por lo tanto, la cascada, plateado como eje recto quebrado formando una poligonal abierta simétrica respecto al eje del cauce del arroyo, observado en la *Figura 28*.

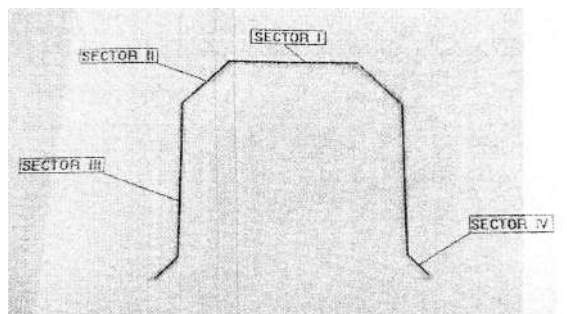


Figura 28 - Planta del proyecto académico de 1995 (Díaz, Mallía y García).

La obra se ejecutaría aguas arriba de la cascada natural y aguas abajo del puente de la Ruta Provincial 21. Con esta ubicación se busca limitar el retroceso cuando mayores caudales ocurran.

La poligonal es dividida en segmentos denominados sectores. Un primer sector se propone perpendicular al escurrimiento, extendiéndose en todo el ancho de la base del cauce, encargado de detener el proceso retrogradante. Un segundo sector dado por dos segmentos a 45° del primero, se desarrolla hacia las márgenes con una altura variable hasta llegar al terreno natural, donde la altura será constante. Su longitud depende del ancho que abarque las cárcavas para que estas queden incluidas en la poligonal y erosionen dentro de esta. Un tercer sector se compone por dos segmentos paralelos al cauce y, un último y cuarto sector, se dispone a 45° del eje para generar la transición aguas abajo.

El hecho de considerar una geometría simétrica lleva a plantear la obra en un tramo recto del canal natural para poder suponer que existe una distribución uniforme de caudales y evitar posibles perturbaciones de borde. Además, los sectores que se desarrollan en forma paralela al eje del cauce garantizan que los procesos erosivos queden definidos dentro del límite de la poligonal.

Se plantea que las pantallas se ejecuten con pilotes. Para la geometría de los mismos, se recomienda un diámetro mínimo de 80 cm debido a las condiciones de esbeltez del elemento, garantizar un correcto colado de hormigón sin segregaciones y por cuestiones ambientales como la calidad del agua. El caudal de diseño adoptado en el proyecto académico para el Saladillo fue de 1250 m³/s para recurrencia de 50 años, mientras que en el presente proyecto para la cascada del Arroyo Seco se cuenta con un caudal de 436,07 m³/s para una recurrencia de 100 años. La longitud de los pilotes fue determinada a partir del cálculo de la fosa de socavación sobre el paramento vertical aguas abajo del mismo, garantizando una ficha para mantener el equilibrio. Esto es indicado en la *Figura 29*.

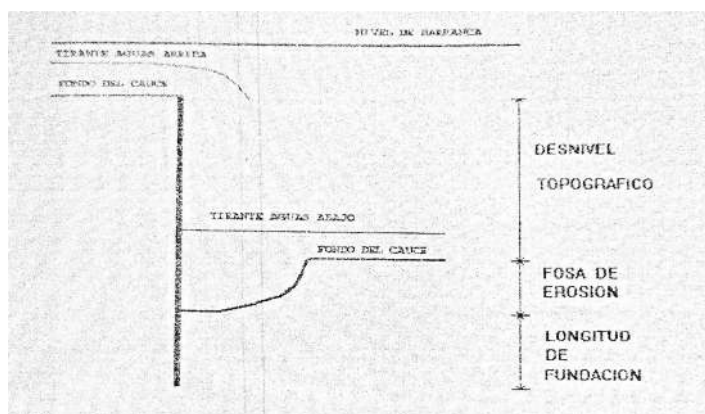


Figura 29 - Corte del proyecto académico de 1995 (Díaz, Mallía y García).

Para el caso de Arroyo Seco resulta una solución posible de ejecutar entre la cascada actual y la RP21. Como inconveniente se puede mencionar una terminación deficiente de los pilotes al quedar

descubiertos cuando se produzca el retroceso. Además los muros laterales y a 45° respecto al eje, sector II y III respectivamente indicados en el proyecto de referencia, podrían resultar innecesarios.

- Muro de Hormigón colado in situ en cantilever: esta alternativa surge del proyecto original del año 2021 para la cascada del Arroyo Saladillo, siendo una solución rígida que permite conservar la cascada debido al desnivel (*Figura 17 a 20*). Aquí se proyecta un muro de eje curvo con la finalidad de preservar la forma de la cárcava debido a la identidad social que presenta, ubicado al igual que la alternativa mencionada precedentemente, aguas arriba de la cascada natural actual y aguas abajo del puente de la Ruta Provincial 21 de manera tal que, cuando se produzca un nuevo retroceso de la cascada, el muro ya se encuentre a la espera y frene el avance aguas arriba de la misma.

En el caso de Arroyo Seco, resulta ser más simple y económico que el eje sea recto respecto al eje curvo del Arroyo Saladillo. Esto trae como consecuencia, la pérdida de la forma natural cóncava de la cascada pero, teniendo en cuenta que el factor de identidad social en este caso no resulta ser determinante, puede ser una opción viable. Aquí también el muro se debe plantear aguas arriba de la cascada natural actual y aguas abajo del puente de la RP21.

En la alternativa inicial para el Arroyo Saladillo se proponía que el muro fuese en cantilever por lo que era necesario poder asegurar un empotramiento del suelo en el pie y como consecuencia, se pensó realizar un mejoramiento del suelo con jet grouting. Dado que esta opción fue modificada por un muro anclado debido a la imposibilidad técnica de realizar el Jet Grouting, para Arroyo Seco resulta ser viable esta opción.

- Muro colado in situ con anclajes o pilotes de tracción: esta alternativa surge de una propuesta por el **Instituto Nacional del Agua (INA)** “Evaluación preliminar de alternativas de control - Informe de avance 02” de año 2018 para el Arroyo Saladillo, en cuyo informe del año 2018 una de las soluciones propuestas consiste en una obra ubicada **aguas arriba de la cascada** ejecutada como muro colado con una ficha que llegue por debajo de la cota de erosión, asegurada su estabilidad por medio de anclajes o pilotes de tracción. Estos últimos salen desde la viga de coronamiento superior prefabricada como se observa en la *Figura 30*.

Como consecuencia de su ubicación respecto a la cárcava, la estructura quedará oculta a la espera del avance de la erosión, siendo importante mencionar que no resulta posible predecir el momento en el que se alcance el frente. En el estudio se propone realizarla por mitades desviando una mitad del cauce y luego la otra. Como ventajas puede destacarse que la obra es relativamente económica, que no altera el régimen del río en la medida que no se produzca un retroceso, que su construcción no implica un desvío externo de la cascada y que posee bajo impacto visual. Mientras que, las desventajas de la misma son que la obra es pasiva, actuando recién cuando se produce el

retroceso y que hay incertidumbre sobre el valor de ficha a tomar puesto que debe hacerse una correcta estimación de la erosión futura.

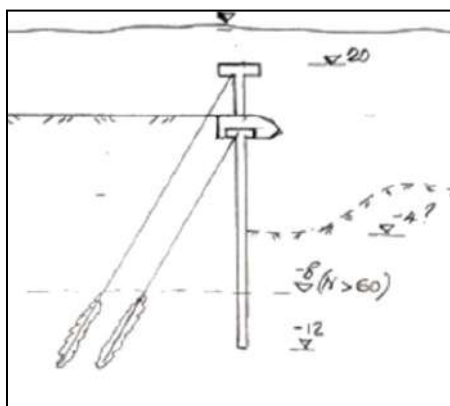


Figura 30 - Croquis ilustrativo de la alternativa de muro colado anclado (INA).

Con respecto a los tensores propuestos, se considera que es una buena práctica implementarlos para evitar el trabajo en Cantilever y tener una ficha menor, pero no se cree que el diseño del anclaje propuesto resulte adecuado para la obra de Arroyo Seco. Esto es debido a que como la pantalla se construirá antes que el retroceso, el anclaje a realizar deberá ejecutarse desde el lecho del Arroyo. Por otra parte, si se propone la realización de anclajes inyectados como en la *Figura 30*, se corre el riesgo de que el mismo sufra corrosión por su constante contacto con el agua.

Según lo analizado, salvando el comentario realizado sobre el diseño del anclaje, esta alternativa resulta ser relevante para el caso del Arroyo Seco en relación al mantenimiento de la cascada y limitación de la erosión sobre el paramento del desnivel, además de la similitud con la obra del Arroyo Saladillo que se encuentra en proceso de ejecución al momento de redacción del presente informe.

- Muro de gravedad de hormigón sobre la superficie de la cascada (salto) con un dissipador de energía aguas abajo: esta alternativa también surge del informe del **Instituto Nacional del Agua (INA)** “Evaluación preliminar de alternativas de control - Informe de avance 02” del año 2018 para el Arroyo Saladillo, planteada para ejecutarse en el **sitio actual de la cascada**. Esto se indica en la *Figura 31*. Si bien la alternativa resulta tentadora, puesto que materializan una única obra concentrada en el sitio del problema sin producir alteraciones al régimen de escurrimiento del arroyo ni aguas arriba ni aguas abajo; para su construcción se requiere efectuar un desvío total del arroyo por algunas de las márgenes del curso.

Esto, aplicado al caso de Arroyo Seco, imposibilitaría la ejecución debido a las obras temporales del desvío que se deben ejecutar previamente, puesto que hay industrias aledañas como lo son los frigoríficos, además de resultar un costo significativo y comparable con el costo de la obra definitiva.

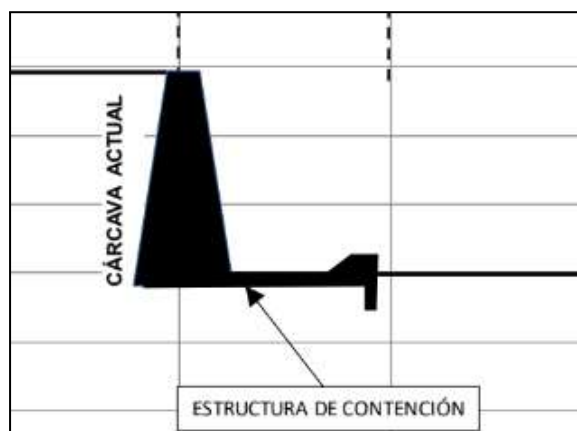


Figura 31 - Corte del muro de gravedad con dissipador de energía. Solución propuesta por INA

- Presa de gravedad aguas abajo del desnivel: esta solución nuevamente fue planteada por el **Instituto Nacional del Agua (INA)** en su informe “Evaluación preliminar de alternativas de control - Informe de avance 02” del 2018 para el Arroyo Saladillo, pero para este caso se plantea la ejecución de una obra **aguas abajo de la cascada**, aproximadamente a unos 500 m. Esta misma consiste en una presa de hormigón masivo del tipo convencional, compuesta por un vertedero dividido en vanos para ahogar la cascada separados por pilas, requiriendo un caudal específico de entre **25 y 30 m³/s.m**, limitado por la necesidad de disipar la energía en la descarga de forma escalonada. Además en los laterales hacia las márgenes, se disponen tramos laterales no vertedores para encauzar el flujo hacia el vertedero. Esta configuración estructural permitiría disponer un puente peatonal por encima. Esta obra se muestra en la *Figura 32*.

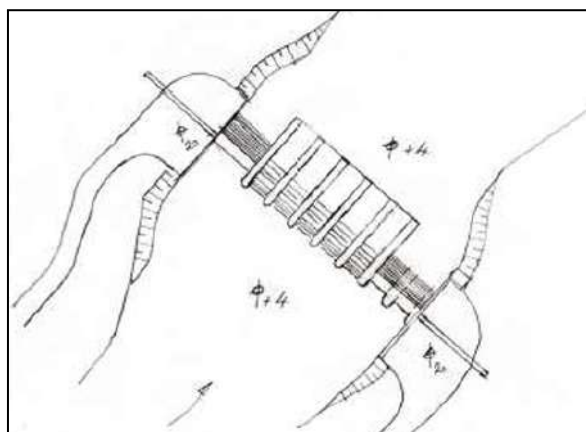


Figura 32 - Planta de la presa de gravedad aguas abajo del salto natural. Solución propuesta por INA.

En los extremos se prevé colocar estribos que tengan la capacidad de resistir los empujes del suelo y proteger a las márgenes de la erosión. Su fundación requiere ser resistente y con alto grado de rigidez, recomendando el uso de tabiques dados por muros colados en forma de T enfrentados y por encima una losa, vinculándose entre sí por medio de vigas correspondientes a cada muro. Luego, la presa apoya sobre la losa, representado en la *Figura 33*. La ubicación de los muros es tal que su “alma” en forma de T coincide con el eje de las

pilas de la parte vertedora de la presa. Todos los tramos, vertederos y no vertederos, se fundan de esta misma manera.

Para la construcción de la obra, se prevén dos etapas en las cuales se ejecuta por mitades, dejando recintos secos, y se debe desviar el río. El avance se hará desde la márgenes, terraplenando para realizar el cierre y las rampas de acceso al lecho ya que, al encontrarse aguas abajo de la cascada, el desnivel entre la margen y el fondo será del orden de los 4 m. Luego, en la primera etapa se dejarán orificios en el tramo no vertiente para permitir el flujo cuando se esté ejecutando la segunda etapa, según indica la *Figura 33*. Los orificios son, finalmente, rellenados con hormigón e inyectados para impedir filtraciones.

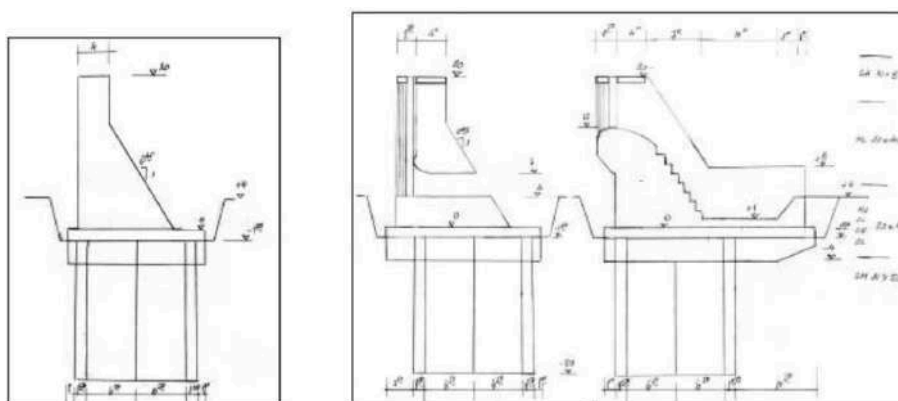


Figura 33 - Cortes longitudinales. Tramo no vertedero, tramo no vertedero con orificio constructivo y tramo vertedero de la presa de gravedad aguas abajo del salto natural. Solución propuesta por INA.

Esta propuesta aplicada al Arroyo Seco resultaría excesivamente costosa debido a la magnitud de la obra y la utilización de hormigón masivo, además de requerir un desvío aguas abajo de la cascada actual, lo cual sería dificultoso ya que se cuenta con un espacio limitado en las márgenes por las industrias allí emplazadas, junto con el importante costo que se sumaría por esta obra provisoria.

Se menciona adicionalmente como desventaja global de esta solución, la cuestión de no resolver efectivamente el problema de la erosión del fondo del cauce en la zona entre la cascada actual y la obra ya que el desnivel permanecería y en consecuencia se producirían desviaciones de las líneas de corriente tales que continuaría la socavación.

- Cierre escalonado con tablestacas: esta propuesta, planteada también por el **Instituto Nacional del Agua (INA)** en su informe "Evaluación preliminar de alternativas de control - Informe de avance 02" del 2018 para el Arroyo Saladillo, conlleva una estructura que consiste en un cierre frontal de tablestacas a una cota tal que permita ahogar a la cascada y luego generar tres saltos **aguas abajo de la cárcava actual** en cascadas sucesivas, siendo el último, el encargado de restituir el nivel aguas abajo. Con esta propuesta se busca producir el mismo efecto visual que la cascada, con la diferencia de ser de tres saltos. La obra se muestra en las *Figura 34* y *35* a continuación.

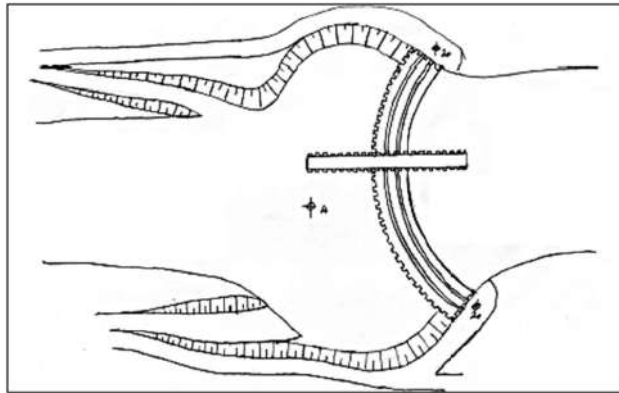


Figura 34 - Planta del cierre escalonado aguas abajo del salto natural. Solución propuesta por INA.

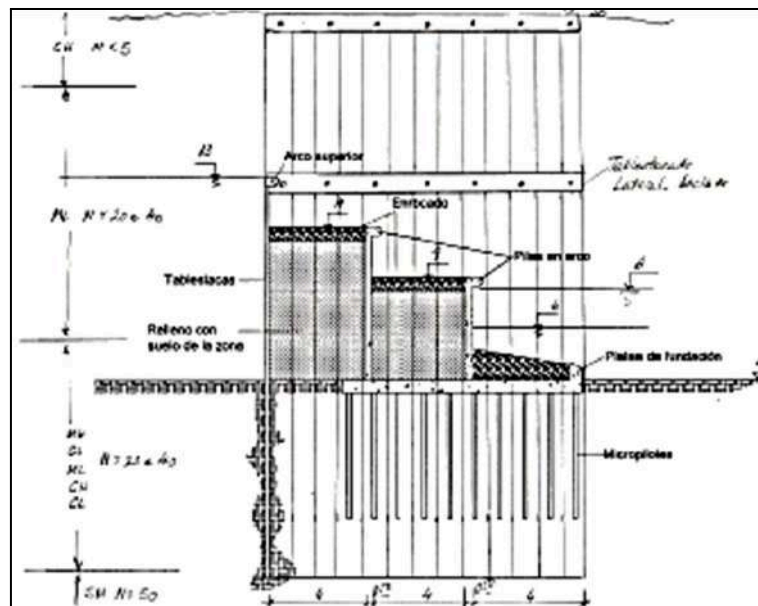


Figura 35 - Corte longitudinal del cierre escalonado aguas abajo del salto natural. Solución propuesta por INA.

Este funcionamiento llevará a una disipación de energía que requiere reducir el caudal específico a $10 \text{ m}^3/\text{s.m}$ y, por ende, se le da una forma curva de radios variables en planta. De todas formas, en el cálculo de las tablestacas no se considera la forma ya que estas no están diseñadas para trabajar formando un arco y tampoco se ejecutan estribos para tomar dicho esfuerzo de compresión. Estos estribos se ejecutan con tablestacas a ambos lados para confinar y ganar más ancho para reducir caudales.

La primer línea aguas arriba o cierre frontal tomará la totalidad del empuje para ahogar la cascada y se materializa, como se mencionó, con tablestacas funcionando en cantilever, empotradas en el lecho del cauce y apoyadas lateralmente en los rellenos colocados entre los cierres. Por otro lado, los dos cierres restantes toman en forma parcial el empuje y son ejecutadas con tabiques de hormigón, empotrados en una platea de fundación fijada al terreno mediante micropilotes.

Los rellenos pueden ser realizados con la misma tosca dada en las excavaciones, compactada en seco y protegida en su parte superior de la caída de aguas en cada salto con enrocado. Si la accesibilidad de los equipos se dificulta y la compactación resulta menor, es posible rellenar con suelo-cemento en capas alternadas con la tosca.

La obra en su conjunto se ejecuta en dos etapas, generando un recinto seco en cada una pero, en la primera etapa, construyendo poco menos del 50% de la longitud para de esta forma colocar dos líneas de tablestacas paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cierre para permitir el paso la obra de conductos. En la segunda etapa, estos conductos permitirán el paso del agua ya que será la única vía disponible previa a la finalización.

En el caso de Arroyo Seco, la principal desventaja es la dificultad de disponer de tablestacas metálicas para la obra según se requiera ir abasteciendo y, posiblemente, su elevado costo. Nuevamente surge el inconveniente aquí de la disponibilidad de espacio en las márgenes aguas abajo de la cárcava por la existencia de industrias, complejizando la ejecución por ambos frentes.

4.2. ALTERNATIVAS FLEXIBLES

- Solución escalonada rellenando la fosa con material pétreo en gaviones amorfos (DPV): la propuesta fue realizada por la **Dirección Provincial de Vialidad de la Provincia de Santa Fe** en el año 2020 para el caso del Arroyo Saladillo. La misma consiste en arrojar material a granel y gaviones amorfos en la zona del talweg (línea que define la mayor profundidad del cauce) para evitar el avance de la erosión en la fosa. Esto conforma una base para el escalonado de gaviones de 4,00 x 1,00 x 1,00 m rellenos con material pétreo cocidos y atados de manera tal formar una estructura flexible pero monolítica. Se completa con protección de taludes. Los gaviones son de red de alambre con revestimiento fuertemente galvanizado y cobertura de PVC por extrusión con malla de doble torsión. Los planos de la obra finalizada contenidos en el informe de la DPV se muestran en la *Figura 36*.

Esta solución, al ser flexible, puede adecuarse mejor a las deformaciones impuestas.

Considerando el caso de estudio del Arroyo Seco, se presenta el problema de la calidad de las aguas debido a los usos de suelo en las áreas que se incluyen dentro de la cuenca del cauce (industria, frigorífico, planta de tratamiento de líquidos cloacales, etc.) que condiciona el uso de gaviones como consecuencia de la corrosión. Además, existe la problemática de no disponer de material pétreo en la zona, debiéndose abastecer desde las canteras de la Provincia de Córdoba.

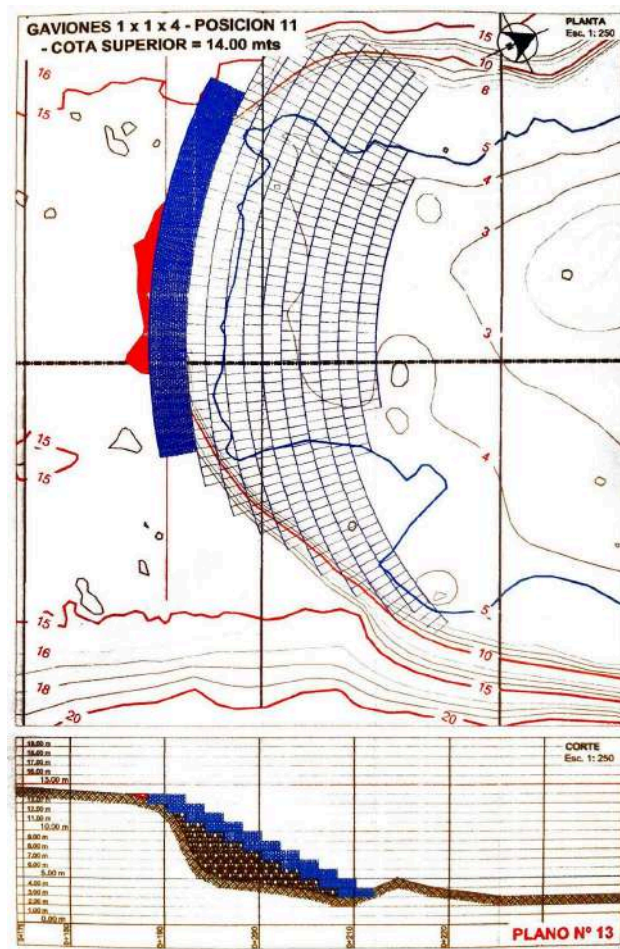


Figura 36 - Planta y corte de la obra de emergencia para la estabilización de la cascada del Arroyo Saladillo. Dirección Provincial de Vialidad Santa Fe.

- Dique de gaviones (El Gato, Córdoba): esta alternativa refiere al caso de la cascada del **Arroyo El Gato** en la Provincia de Córdoba, Argentina, en la que se presenta un **desnivel de 13 m** entre lecho del río aguas arriba y la fosa de socavación aguas abajo. Los suelos que se presentan en este caso son suelos finos (limos loésicos) tendientes a la erosión y arrastre por parte del flujo.

La solución proyectada ya fue ejecutada aquí y consta de siete saltos de gaviones de 2,30 m de altura, revestidos con hormigón simple para proteger del impacto del chorro y evitar el desacomodamiento de las piedras, con traviesas vertedoras, presentando aguas arriba una dársena de aducción dada por muros que encaucen el flujo y, aguas abajo, un cuenco amortiguador para disipar la energía y restituir el flujo al cauce natural. Este cuenco está revestido de colchonetas, mientras que las márgenes se protegen con muros de gaviones en todo el desarrollo longitudinal y con la altura necesaria.

El conjunto de la obra descrita se muestra en las Figuras 37, 38 y 39 a continuación.

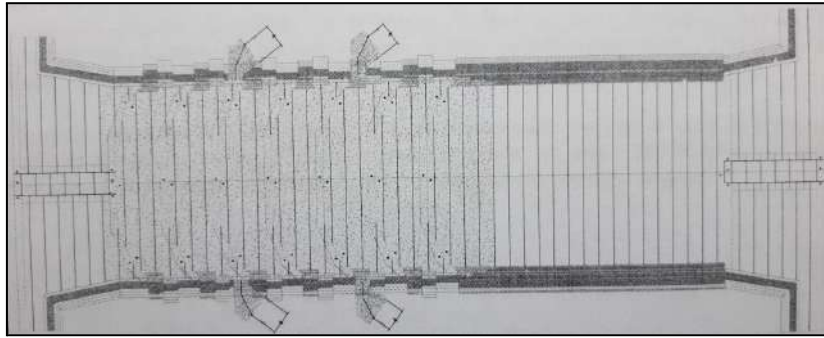


Figura 37 - Planta de la obra de control. Arroyo El Gato.

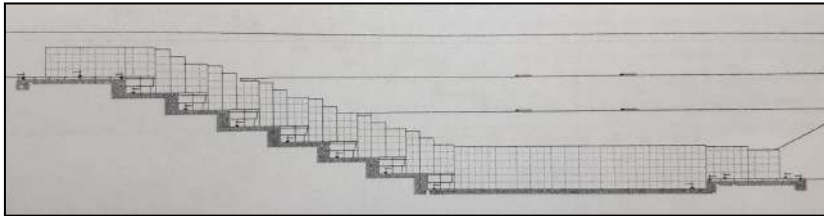


Figura 38 - Corte longitudinal de la obra de control. Arroyo El Gato.

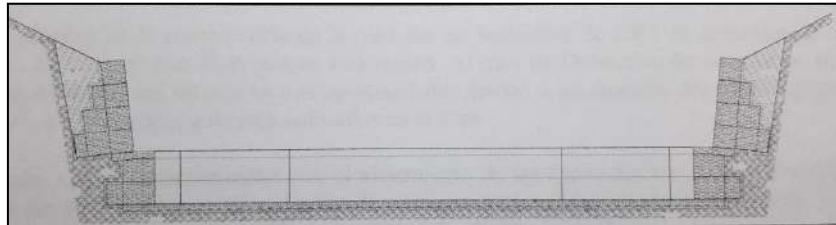


Figura 39 - Sección transversal típica de la obra de control. Arroyo El Gato.

La obra fue diseñada para un caudal de diseño de **250 m³/s** compatible con la importancia de la obra y de las vías de comunicación a proteger. Si bien no se presenta un caudal específico, se presenta la sección transversal, indicada en la *Figura 40*, justo aguas arriba del desnivel y, observando que en la misma se tiene una profundidad máxima de 3,20 m y un ancho de 26,25 m medido en el pelo de agua para el caudal mencionado (curva h-Q), se llega a un caudal específico de **9,52 m³/s.m.**

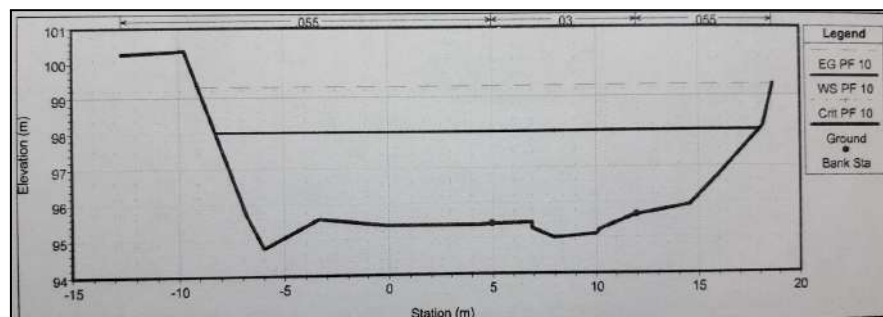


Figura 40 - Sección transversal inmediatamente aguas arriba de la cárcava. Arroyo El Gato.

- Cierre de enrocado: esta alternativa como solución flexible surge del informe del **Instituto Nacional del Agua (INA)** “Evaluación preliminar de alternativas de control - Informe de avance 02” del 2018 para la cascada del Arroyo Saladillo. La estructura propuesta consiste en un

enrocado que se ubica a unos 500 m **aguas abajo de la posición de la cascada** en ese entonces, con el objetivo de ahogar la misma, reemplazando el salto por una rápida revestida con grandes rocas. Se diseña con un tramo central vertiente y dos laterales no vertientes, de manera tal que la proporción entre estos últimos y la longitud total sea de un 35%, siendo este un parámetro a ajustar según caudales y posibilidad de desbordes. La función de los tramos no vertientes es alejar el flujo de descarga de las márgenes.

El caudal específico del desvío sería de **15 m³/s.m**, obteniendo un tirante de descarga que hará que la rápida resulte muy rugosa para el flujo sobre la misma. Sin embargo, se prevé que no generará la suficiente pérdida de energía. En consecuencia se plantea un dissipador de energía al pie de la rápida de unos 80 m de longitud ejecutado también con enrocado. Se debe considerar el hecho de fijar la roca con hormigón tanto en la rápida como en el dissipador. La obra descrita precedentemente se muestra en las *Figura 41 y 42*.

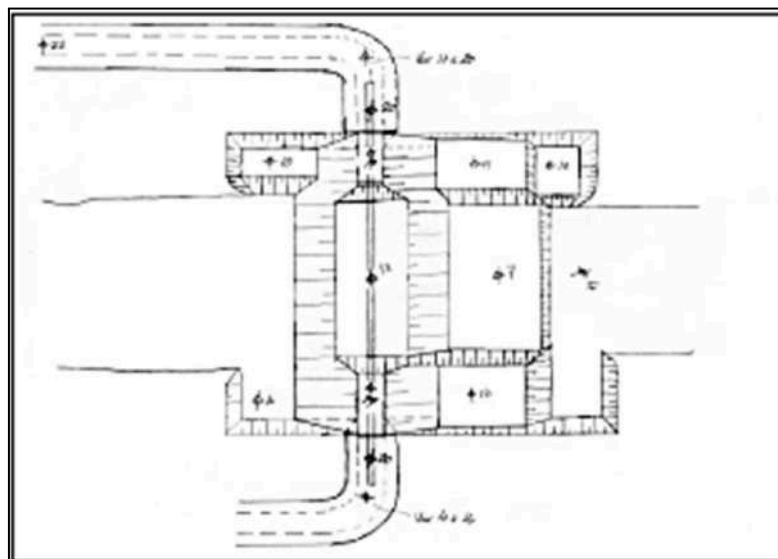


Figura 41 - Planta del cierre de enrocado aguas abajo de la cascada. Alternativas del INA para el Arroyo Saladillo. (2018).

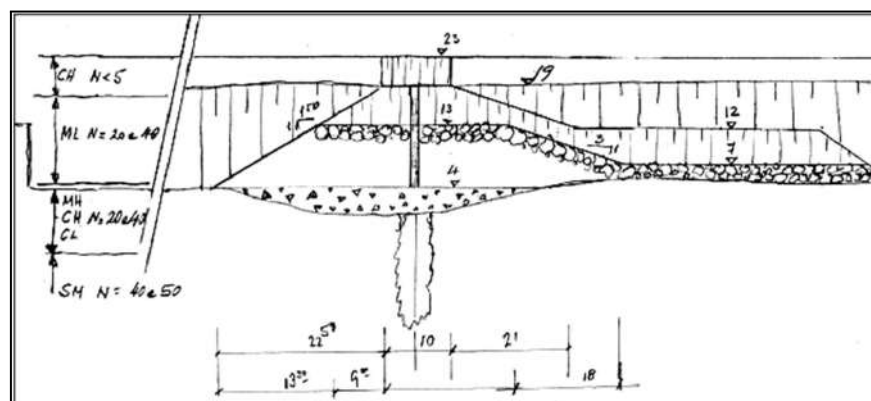


Figura 42 - Corte longitudinal del cierre de enrocado aguas abajo de la cascada. Alternativas del INA para el Arroyo Saladillo. (2018).

Para la ejecución se propone terraplenar desde las márgenes y así, ir ganando altura con el enrocado, sin desviar el curso. Resultará

ser permeable y por lo tanto se busca impermeabilizar con una pantalla plástica cemento-bentonita interna que se desarrolle entre ambos estribos, contra los cuales el terraplén podrá hacerse en tosca.

Esta solución aplicada para el caso de Arroyo Seco no presenta ventajas apreciable en relación a las alternativas analizadas precedentemente ya que se debe disponer del material para el enrocado en forma suficiente según los tiempos de obra, la distancia de transporte desde las canteras en la Provincia de Córdoba y la disponibilidad de terreno aguas abajo de la cascada actual, lo cual es un inconveniente debido a que se tiene un mayor uso de suelo sobre las márgenes (clubes náuticos, frigorífico, industria, etc.).

Por último, como desventaja global de esta solución se presenta la cuestión de no resolver efectivamente el problema de la erosión del fondo del cauce en la zona entre la cascada actual y la obra ya que el desnivel permanecería y en consecuencia se producirían desviaciones de las líneas de corriente tales que continuaría la socavación.

5. ADOPCIÓN DE UNA SOLUCIÓN ESTRUCTURAL

Una vez planteadas las alternativas de obra mencionadas precedentemente, se establecen dos posibles conceptos como solución según su capacidad de deformación y por tanto, diferentes materialidades. Estas dos opciones se plantean a continuación.

- **Rígida:** pantalla de hormigón recta o curva. Esta solución precisa determinar una altura total a través de la adición de la longitud del desnivel topográfico, la profundidad de fosa de erosión y la profundidad de ficha. De acuerdo con la información recabada el desnivel a salvar es de 9,05 metros.
- **Flexible:** consiste en una tipología que permite adaptarse a las deformaciones impuestas por los apoyos y sollicitaciones que surgen durante su funcionamiento, sin daños estructurales. Aquí se presenta como solución viable la adoptada para el arroyo El Gato, mencionada en el punto anterior.

Para el caso de estudio en Arroyo Seco, se cuenta con un caudal de diseño de 436,07 m³/s para una recurrencia de 100 años al igual que la obra del puente de la RP21 que se busca proteger (analizado la sección 3.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO). Cabe resaltar que, como se mencionó anteriormente, el caudal de diseño utilizado para el análisis de la obra de Arroyo Seco difiere del utilizado en el puente de la RP21, a pesar de ser de la misma recurrencia, teniendo este último un valor de 81,63m³/s. El ancho superficial del cauce que habrá en la progresiva 130 donde está prevista la protección será de 80,24 m debido a la re canalización prevista. Por lo tanto, el caudal específico será de 5,43 m³/s.m. De esta manera, se comparan las obras descritas anteriormente en la *Tabla 5*.

A partir de lo expuesto, si se comparan los caudales específicos se observa que la solución flexible del Arroyo El Gato resulta ser más cercana a la del caso de estudio.

Tabla 5 - Comparación de las soluciones rígidas y flexibles analizadas.

| Cuadro Comparación | Solución Rígida - Proyecto Académico 1995 Arroyo Saladillo | Solución Flexible - Proyecto Arroyo El Gato | Caso en estudio - Arroyo Seco |
|---|--|---|-------------------------------|
| Desnivel de lecho [m] | 15 | 13 | 8,826 |
| Caudal [m] | 1250 | 250 | 436,07 |
| Ancho Superficial del canal AA [m] | 65,38 | 26,25 | 78,46 |
| Caudal Específico [m ³ /s.m] | 19,10 | 9,52 | 5,56 |

Sin embargo, adoptar una solución flexible implicaría realizar la obra sobre el desnivel actual, lo cual se ve imposibilitado por la disponibilidad de espacio necesario para las tareas de ejecución ya que en la margen derecha se encuentra el frigorífico Matievich. Por lo tanto, se considera que es más conveniente adoptar cómo solución definitiva la obra rígida.

Se propone entonces realizar una pantalla de hormigón de eje curvo para dirigir las líneas de flujo dispuesta en la progresiva 1131. Se calculará una fosa de erosión para el caudal de diseño y así se adoptará, como se explicó con anterioridad, la altura necesaria de la pantalla. Luego, se realizará una recanalización del tramo desde el puente de la Ruta 21 hasta dicha progresiva para tener encauzado el flujo y no tener que realizar una pantalla excesivamente ancha con el elevado costo que esto acarrearía. En los siguientes puntos, se explicarán con mayor detalle estos conceptos. La curvatura de la pantalla se realiza con el objetivo de mantener la forma que actualmente tiene la cascada y para que las líneas de flujo puedan converger en un punto, haciendo que la erosión sea menor.

Además, se prevé la construcción del muro en dos alturas diferentes: una para el sector del cauce (sector vertiente) y otra para las márgenes (sector no vertiente) del mismo para permitir una continuidad del muro y evitar posibles filtraciones por los suelos laterales de la estructura, cortando posibles vías de filtración.

Existen diferentes alternativas al momento de optar por una opción para realizar una pantalla vertical de hormigón, entre las cuales se encuentran:

- Tablestaca prefabricada de hormigón sin hincar, realizando la excavación, colocándola en posición y luego inyectando una lechada de cemento en fuste del lado activo y en la punta. Anclando la misma

con una viga prefabricada de hormigón y un muerto de anclaje o pilote vertical.

- Muro colado ejecutado in situ, anclado de igual manera.
- Tablestaca prefabricada de hormigón con punta de acero hincada, realizando primero una perforación de un espesor menor para facilitar el hincado en los estratos limo arcillosos y luego inyectando agua en el estrato de arena con el mismo objetivo. La misma también se ejecutaría con el anclaje antes planteado.
- Muro con pilotes secantes anclado a pilotes.
- Una serie de muros en cantilever de menor tamaño con alguna de las técnicas anteriores

Cualquiera de estas opciones serían válidas para el presente proyecto. Con el objetivo de mantener la estética de la pantalla se elimina la última alternativa. Por simplicidad constructiva, la opción de la hinca también se descarta, considerando que la ejecución es compleja puesto que hay que ejercer mucho esfuerzo para hincar una pantalla de tales dimensiones y de un elevado espesor, sin romperla en un suelo tan duro. Por otro lado, para realizar la primer alternativa, se debería desviar el curso de agua al igual que en las alternativas hechas in situ, por lo que la ventaja de prefabricar no sería demasiada respecto a los costos y la logística que implicaría transportar las tablestacas al pie de la obra al tener un tamaño mayor a 12 metros de altura. Entre las alternativas de muro colado y pilotes secantes, **se decidió adoptar la alternativa del muro colado por etapas con enganches macho-hembra** debido a que requiere menor volumen de hormigón y que se cuenta con la experiencia necesaria para su ejecución, dado que a la fecha está siendo empleada para la estabilización de la cascada del arroyo Saladillo.

El muro estará compuesto por 37 módulos de 2,50 m por 0,50 m, prolongándose en una longitud total de 92,50m. Cada muro tendrá una altura total de 23,75 metros. La determinación de las dimensiones del muro y su método constructivo serán explicados en los siguientes apartados.

5.1. CÁLCULO DE LA FOSA DE EROSIÓN Y OBTENCIÓN DE LA ALTURA DE LA PANTALLA A PROPONER

La profundidad de la fosa de erosión generada por la cascada se supone que cumple con la siguiente ecuación (Veronese, 1937; Lagasse et al.,2009):

$$z_{se} = c_1 q^{c_2} H^{c_3} - h_2$$

donde $c_1 = 1,90$, $c_2 = 0,54$ y $c_3 = 0,225$, los cuáles son coeficientes fijos de la fórmula empírica, q : caudal específico = $5,56\text{m}^2/\text{s}$, H : diferencia entre pelos de agua por encima y por debajo del salto y h_2 : profundidad de flujo normal aguas abajo.

Para determinar los valores de H y h_2 se define como nivel del pelo de agua de diseño del río Paraná al nivel mínimo promedio anual, cuya cota IGN es de 3,85

m. Dicho nivel se obtuvo del estudio de Dragado de Arroyo Seco de D&R Ingeniería del año 2021, el cual fue determinado a partir del promedio de la interpolación lineal de la serie histórica de los niveles anuales mínimos del Paraná en Rosario y Villa Constitución entre 1999 y 2021. Luego, se consideró una pendiente de 1‰ hacia aguas arriba y se consideró la distancia a la cuál se proyecta la obra de estabilización con respecto a la desembocadura del río Paraná, obteniendo una cota IGN de 4,88 m para el pelo de agua que se estima tener aguas abajo de la obra una vez que se erosione el suelo hasta la misma.

Se opta por diseñar con el nivel mínimo promedio anual puesto a que se diseña por erosión por lo que los niveles más críticos para el diseño son los mínimos, pero no se toma el mínimo minimorum ya que sería demasiado elevado el costo de la obra, por ende se toma en su lugar el mínimo promedio. Además, se tiene que la erosión obtenida por la fórmula de Veronese corresponde a una erosión promedio a lo largo de toda la sección, la cuál debería ajustarse posteriormente de acuerdo a la distribución de velocidades a lo largo de dicha sección. En correspondencia con esta aclaración, para el diseño de la pantalla se realiza una mayoración del caudal específico por 1,5 para considerar el pico del caudal en el centro de la sección.

El tirante aguas arriba del salto es 2,66 m, cuya cota IGN es de 12,61 m y el tirante aguas abajo es de 3,98 m, el cuál es resultado de la diferencia entre la cota del pelo de agua debajo de la obra (4,88 m) y la cota del fondo del canal (0,90 m). Reemplazando los valores, se obtiene:

$$z_{se} = 1,9 \cdot (5,56 \text{ m}^2/\text{s} \cdot 1,5)^{0,54} (12,61 \text{ m} - 4,88 \text{ m})^{0,225} - 3,98 \text{ m} = 5,48 \text{ m}$$

Cabe destacar que la fosa de erosión medida en el relevamiento realizado el día 20 de abril de 2025 de 8,61 m de profundidad. Esta diferencia se da debido a que el canal actual tiene una base de fondo mucho menor y por ende, el caudal específico que circulaba por la sección era mucho mayor, generando una erosión más profunda. Por lo tanto, para el nuevo canal a proyectar se tomará como válido el valor z_{se} .

Luego, tal como puede observarse en la *Figura 43*, la altura a proyectar de la pantalla será:

$$H \text{ Pantalla} = \text{Desnivel topográfico} + \text{Fosa de erosión} + \text{Ficha}$$

De manera que, para poder definir la altura de la pantalla a proyectar es necesario calcular la ficha de empotramiento. Dicho desarrollo puede observarse en el Anexo 2, a partir del cual se obtiene una ficha de 9,20 m por cálculo, y se adopta una ficha de 9,22 m, quedando así una **altura total de pantalla de 23,75 m**. Esta diferencia es simplemente para poder materializar la pantalla con una longitud múltiplo de 5 cm que es la precisión mínima que se suele considerar para estructuras de hormigón.

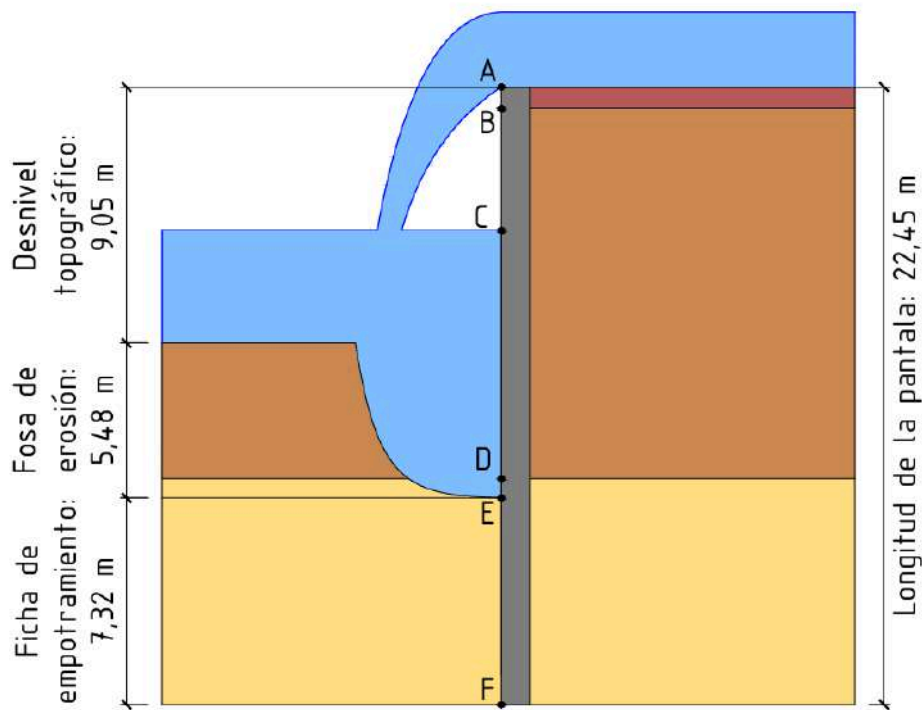


Figura 43 - Altura de la pantalla. Fuente: Elaboración propia.

6. RECANALIZACIÓN AGUAS ARRIBA DEL SALTO

Con la finalidad de lograr encauzar el agua proveniente del canal aguas arriba de la protección a proyectar, se realiza una recanalización del lecho. En un principio, para elaborar una propuesta, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Incluir todo el cauce natural en el diseño planimétrico, rectificando su trazado para evitar la erosión de una margen y la deposición en la otra provocada por la meandrificación del cauce
- Dotar al cauce de una forma tal que las líneas de flujo no se dirijan a la margen derecha en la zona del frigorífico Mattievich para evitar la erosión de la misma
- Realizar una recanalización sin profundización, debido a que los estratos inferiores son más susceptibles a ser erosionados
- Definir un ancho de canal que respete los límites físicos de los terrenos adyacentes
- Evitar totalmente la necesidad de rellenos para materializar el nuevo cauce
- Variación lineal del ancho del cauce, con ángulo no mayor a 12° en planta para garantizar un buen comportamiento hidráulico

Al realizar una propuesta preliminar, se notó que, debido a las características del lecho, resulta imposible respetar todos los puntos simultáneamente, principalmente debido a que intentar evitar la erosión de la margen en la zona de Mattievich a partir de la rectificación del canal, implica que la recanalización no incluya la totalidad del cauce existente, lo que demandaría suelo de relleno.

Principalmente por este motivo, se decidió ignorar este punto del listado, y en cambio, proponer la protección de la margen, necesaria por la capacidad erosiva del

agua de escurrimiento superficial y la acción climática, con el objetivo de mantener los contornos actuales. La solución adoptada para esto es la protección de la margen con una cubierta vegetal perpendicular a la pendiente del talud y capaces de adaptarse a las condiciones del mismo, a partir de la utilización de especies perennes. Esto mejora la estabilidad superficial, gracias a la distribución de las raíces que aumentan la capacidad resistente del suelo transfiriendo la tensión de corte del suelo a las raíces, produciendo tensiones de tracción en ellas. También representa mejoras desde el punto de vista biológico y paisajístico. Dicho esto, se decide por la utilización de *Vetiver* (*Chrysopogon Zizanioides*), planta que tiene antecedentes de utilización a lo largo de diferentes proyectos realizados en el país. En caso de que esta opción no sea posible, se plantean como alternativas la utilización de mantos geotextiles o mallas con dados de hormigón. Así, se llegó a la solución definitiva fijando una pendiente del talud 1:1 en todos los taludes.

En la Tabla A1-1 del Anexo 1 se muestra el cálculo hidráulico desarrollado para las progresivas 1031 a 1631, en donde se observa que el flujo llega encauzado en la progresiva 1131 donde se plantea la contención y se vuelve a producir un valle de inundación para la progresiva 1031.

7. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN

Para el dimensionamiento estructural de la pantalla, en primer lugar es necesario realizar un análisis de las fuerzas que intervienen. Para esto, se tienen en cuenta en la pantalla dos configuraciones de perfiles a lo largo de su vida útil. Una primera configuración donde la pantalla se encontrará con suelo a ambos lados, correspondiente al período inicial, como puede observarse en la *Figura 44* y una segunda donde la cascada ha experimentado un retroceso y la pantalla debe salvar el desnivel provocado por la socavación, que se encuentra esquematizado en la *Figura 45*.

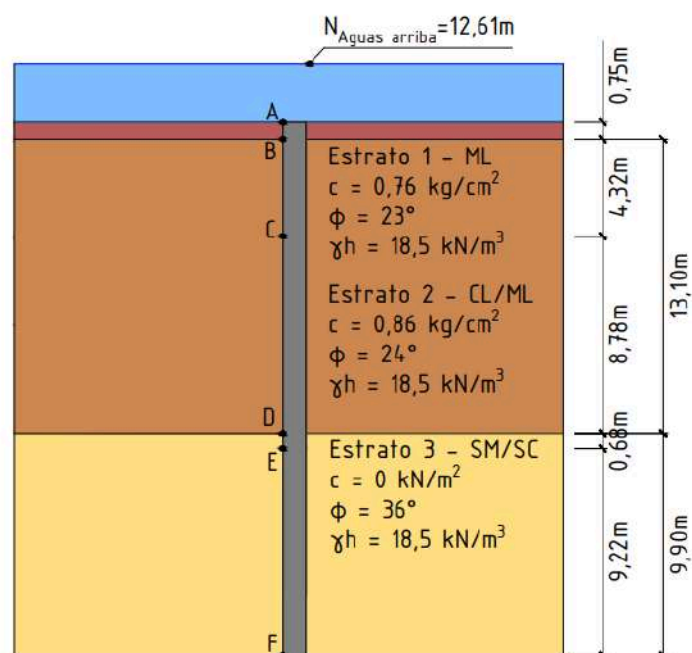


Figura 44 - Configuración inicial, previo al retroceso. Fuente: Elaboración propia.

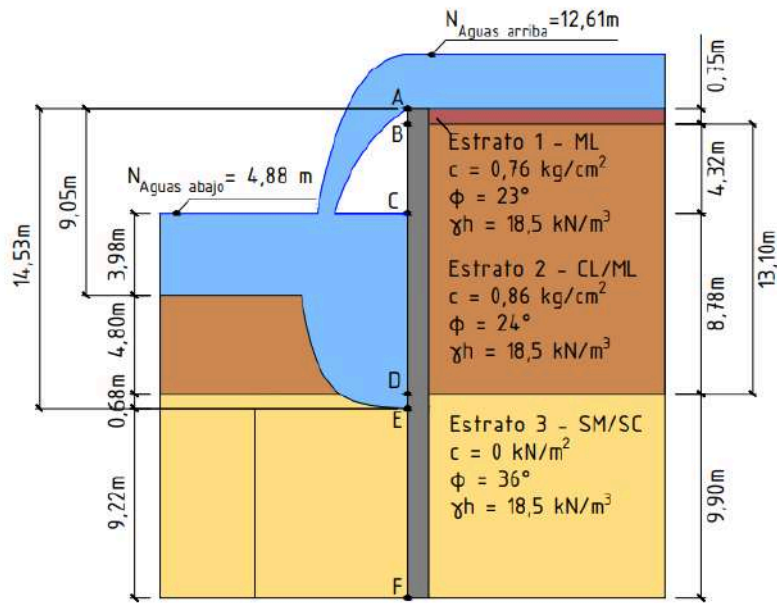


Figura 45 - Configuración final, posterior al retroceso. Fuente: Elaboración propia.

Como el segundo de estos escenarios es el más crítico y el que va a determinar el dimensionamiento de la pantalla, solo se considera el análisis de cargas para este caso.

La pantalla se calcula como una tablestaca anclada con la hipótesis de suelo firme. Esto se considera válido debido a la presencia de arenas densas en el sector donde se encuentra la ficha, ya que un suelo de estas características es capaz de desarrollar la resistencia pasiva suficiente para alcanzar el empotramiento que se supone para este método. Para determinar cómo actúa el agua sobre el suelo se tuvieron en cuenta una serie de hipótesis, planteadas en 3 casos diferentes:

- Caso A: El desnivel del agua aguas arriba y aguas abajo de la cascada genera una fuerza hidrostática sobre la pantalla (Figura 46).

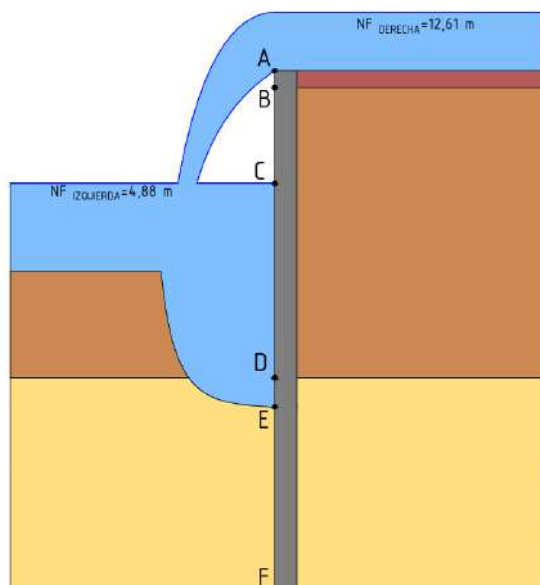


Figura 46 - Caso de estudio A, con el nivel freático distinto a ambos lados de la tablestaca. Fuente: Elaboración propia.

- Caso B: Se considera que el agua superficial aguas arriba de la cascada no llega a infiltrarse por completo en el suelo, no pudiendo ejercer presiones sobre la pantalla. Lo mismo puede ocurrir si se considera la ejecución de drenes sobre la pantalla que permiten un desagüe del agua sin generar presiones hidrostáticas (Figura 47).

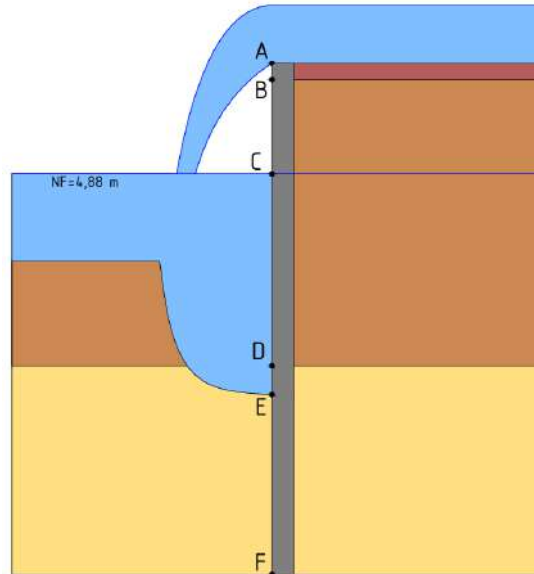


Figura 47 - Caso de estudio B, con el nivel freático igual a ambos lados de la tablestaca. Fuente: Elaboración propia.

- Caso C: Se produce una red de filtración del agua donde la misma se traslada por debajo de la tablestaca hacia el sector aguas abajo del muro colado (Figura 48).

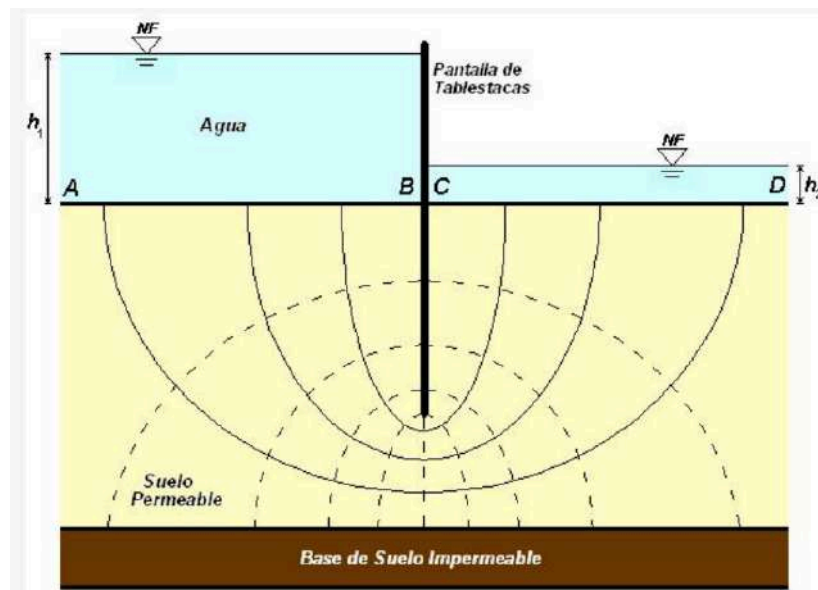


Figura 48 - Caso de estudio C, con redes de filtración. Fuente: Apunte académico: Redes de infiltración, asignatura GEOLOGÍA Y GEOTECNIA (2016) de las ingenieras Silvia Angelone y Teresa Garibay.

A los fines de este proyecto, se consideró el Caso B, donde el agua no ejerce presiones horizontales sobre el muro ya que se encontraría equilibrado en todo momento, alcanzando el nivel freático en la cota 3,85 m. Esto se considera válido

debido a que es la situación que ocurrirá si se propone la colocación de drenes sobre el muro.

Los cálculos realizados para determinar las cargas horizontales se pueden observar en el Anexo 2. El muro estará compuesto por 37 módulos de 2,50 m por 0,50 m, prolongándose en una longitud total de 92,50m. Cada muro tendrá una altura total de 23,75 metros.

Debido a los 9,05 m de desnivel y los 14,53 m de luz libre una vez formada la fosa, resultaría antieconómico proponer una pantalla en cantilever puesto que la ficha a considerar sería muy grande. Por eso es que se materializa un tensor con una viga de anclaje de 40 cm de altura en la parte superior de la pantalla con la finalidad de garantizar el equilibrio del conjunto. Además, las mismas se ubican de forma tal que su eje se encuentra a 20 cm de profundidad y vinculan en su otro extremo con un muerto de anclaje de 50 cm de ancho y 3 m de alto en su frente, ubicándolo más allá de la línea de falla activa y pasivas de los estratos. Cabe destacar, que si bien estructuralmente sería preferible considerar el anclaje lo más bajo posible en la pantalla, esto no es factible por una cuestión constructiva, puesto que se dificulta tener que excavar y luego rellenar y compactar.

Con estas consideraciones, en el Anexo 2 se encuentra el cálculo para determinar la ficha necesaria para que haya un equilibrio del sistema. Para ello, se utilizaron ecuaciones de equilibrio en ELS reduciendo los parámetros de corte por un factor de seguridad de 1,20. Como se mencionó en el apartado anterior, la ficha se adopta de 9,22 m, resultando la pantalla de una longitud total de 23,75 metros.

Por otra parte, en el Anexo 2 fue posible calcular cuál es la fuerza que actúa sobre el tensor a partir del equilibrio de las fuerzas horizontales, que surgen de la integración de los empujes horizontales. Además, se determinó la profundidad en la cual el corte se anula para estimar el momento flector máximo. El momento flector máximo resulta de 119,63 kNm/m para un estado de carga último.

Con el objetivo de verificar los resultados obtenidos, y obtener las combinaciones de cargas más críticas, se utilizó el programa Autodesk Robot Structural (versión académica) para modelizar la estructura.

El modelo consiste en una faja de hormigón calculada por metro de ancho, junto con la viga y muerto de anclaje. Sobre la viga se colocan apoyos móviles a lo largo de toda la longitud para representar el apoyo sobre el suelo, y se liberan los giros en los extremos de esta, ya que se considera que los nudos del pórtico no absorben momento. En el caso de los empujes pasivos del suelo, se modelizan como apoyos elásticos. El modelo inicial se muestra en la siguiente *Figura 49*

El parámetro necesario para modelar los mismos es el coeficiente de balasto horizontal k_h . Debido a que no es posible realizar ensayos para obtener este valor de la manera más precisa posible, se estimará el mismo a través del ábaco de Arozamena.

Los parámetros de ingreso al ábaco son el ángulo de fricción del suelo y su cohesión, y de él se obtiene el coeficiente de balasto horizontal k_h en kN/m^3 . Debido a que los empujes pasivos son aplicados por la arena sobre la pantalla, y por la arcilla CL sobre el muerto de anclaje, será necesario obtener k_h para ambos suelos.

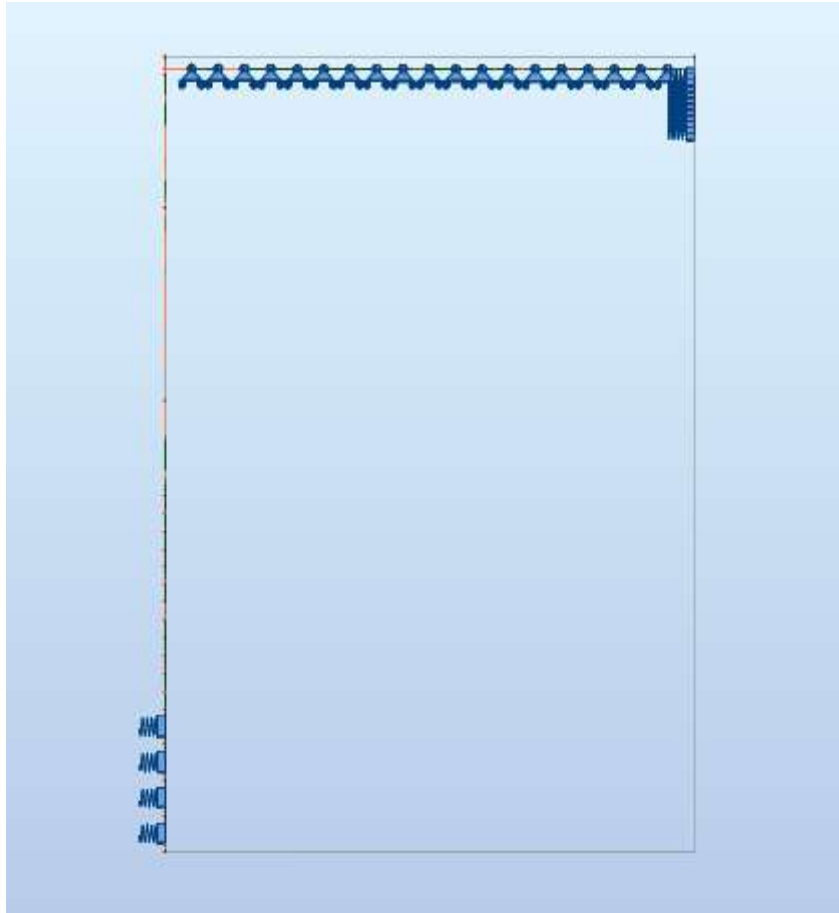


Figura 49 - Modelo de la estructura en 1 metro de ancho en Robot Structural.
Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la arena, la misma cuenta con $\phi_{\text{mod}} = 31,19^\circ$ y $c_{\text{red}} = 0$, valores a los cuales les corresponde $kh = 5000 \text{ kN/m}^3$ según el ábaco.

Para la arcilla CL, con un $\phi_{\text{mod}} = 20,36^\circ$ y $c_{\text{mod}} = 71,67 \text{ kN/m}^2$, resulta que $kh = 11000 \text{ kN/m}^3$ aproximadamente.

En la *Figura 50* se pueden verificar los resultados obtenidos dentro del ábaco mencionado

Una vez obtenido el coeficiente, se utilizará el mismo en el programa de cálculo para representar correctamente el empuje pasivo. Para la modelización, se propone dividir el tramo donde se desarrolla el empuje en 10 partes y se colocan 10 apoyos elásticos ficticios en el centro de cada tramo, cuyo coeficiente de resorte será igual a kh multiplicado por su área de influencia.

En el caso de la arena, la ficha cuenta con 9,22 m de longitud, por lo que el área de influencia de cada resorte es de 0,922 m, por lo que el coeficiente de resorte que corresponde ingresar al programa resulta:

$$kr = 5000 \text{ kN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,922 \text{ m} = 4610 \text{ kN/m}$$

Para la arcilla, la altura del muerto enterrada en esta es de 2,25 m, y con un área de influencia de 0,225 m kr resulta:

$$kr = 11000 \text{ kN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,225 \text{ m} = 2475 \text{ kN/m}$$

El resto de cargas se modelan de forma idéntica al cálculo realizado manualmente.

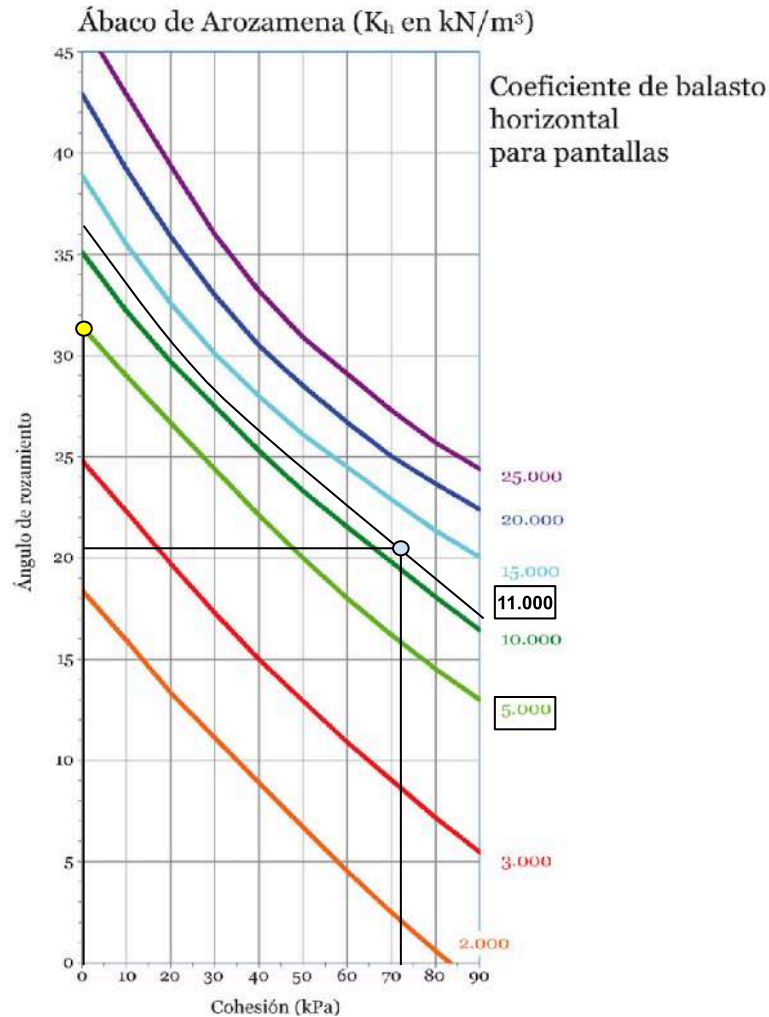


Figura 50 - Valores de coeficiente de balasto horizontal obtenidos a partir del ábaco de Arozamena. Fuente: Ing. especialista en suelos Nicolás Bolcatto.

Con todas estas consideraciones, se ejecuta el modelo y se analizan los resultados. El estado de cargas último considerado es $1.2D + 1.6H$, siendo D el peso propio de la estructura y H el empuje activo del suelo. En la Figura 51 se muestran las reacciones resultantes sobre los resortes

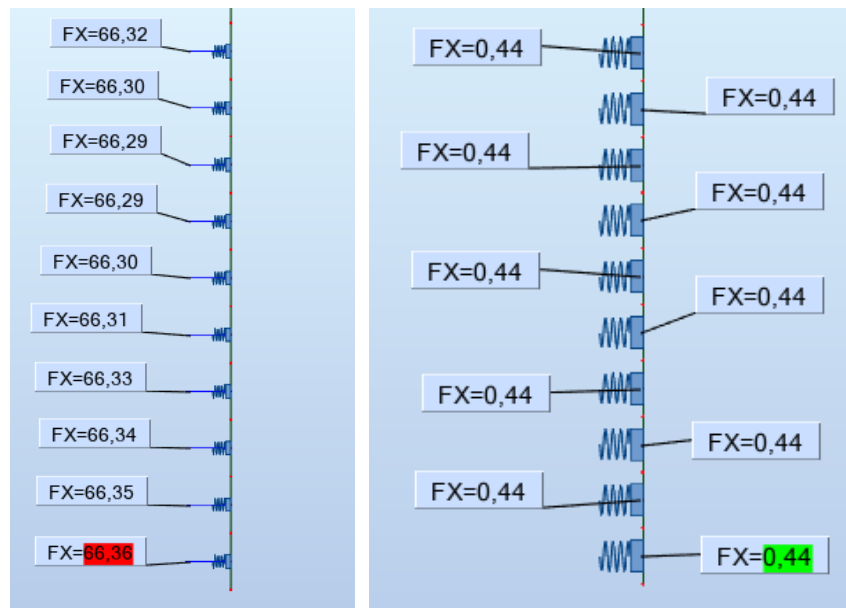


Figura 51 - Reacciones en resortes sobre la ficha y el muerto calculados por Robot Structural. Fuente: elaboración propia.

Si bien el modelo se encuentra en equilibrio, asumir estos resultados como correctos sería un error, ya que, a pesar de que el programa encuentra siempre el equilibrio, el mismo no tiene en cuenta la capacidad resistente del suelo. Para comprobar que efectivamente el suelo resiste estos esfuerzos sin alcanzar la rotura, debe compararse la fuerza en los resortes con el empuje pasivo a la profundidad correspondiente, que es la fuerza máxima que puede absorber el suelo. En las siguientes tablas, *Tabla 6* y *7*, se muestra el empuje pasivo aplicado tanto en la ficha como el muerto, en cada tramo, junto con la resultante en su área de influencia.

Tabla 6 - Empujes pasivos en el baricentro de cada tramo de la ficha. Fuente: Elaboración Propia.

| Nº | z(m) | sh [kN/m ²] | E [kN/m] |
|----|--------|-------------------------|-------------|
| 1 | 0.4595 | 12.57292174 | 11.55451508 |
| 2 | 1.379 | 37.71876522 | 34.66354524 |
| 3 | 2.298 | 62.8646087 | 57.77257539 |
| 4 | 3.217 | 88.01045218 | 80.88160555 |
| 5 | 4.136 | 113.1562957 | 103.9906357 |
| 6 | 5.055 | 138.3021391 | 127.0996659 |
| 7 | 5.974 | 163.4479826 | 150.208696 |
| 8 | 6.893 | 188.5938261 | 173.3177262 |
| 9 | 7.812 | 213.7396696 | 196.4267563 |
| 10 | 8.731 | 238.8855131 | 219.5357865 |

Tabla 7 - Empujes pasivos en el baricentro de cada tramo del muerto. Fuente: Elaboración Propia.

| N° | z(m) | sh [kN/m ²] | E [kN/m] |
|----|--------|-------------------------|-------------|
| 1 | 0.1175 | 208.171335 | 48.92026374 |
| 2 | 0.3525 | 212.3920379 | 49.9121289 |
| 3 | 0.5875 | 216.6127407 | 50.90399406 |
| 4 | 0.8225 | 220.8334435 | 51.89585922 |
| 5 | 1.0575 | 225.0541463 | 52.88772438 |
| 6 | 1.2925 | 229.2748491 | 53.87958955 |
| 7 | 1.5275 | 233.495552 | 54.87145471 |
| 8 | 1.7625 | 237.7162548 | 55.86331987 |
| 9 | 1.9975 | 241.9369576 | 56.85518503 |
| 10 | 2.2325 | 246.1576604 | 57.84705019 |

Si se compara el empuje E con la reacción sobre los resortes modelados, se puede ver que para el caso de la ficha, los mismos superan ampliamente la capacidad de rotura del suelo, por lo que este modelo no es aceptable.

La solución a este problema consiste en reemplazar los resortes cuyas reacciones exceden la resistencia del suelo, por fuerzas de magnitud correspondiente a la resultante del empuje pasivo a esa profundidad, para luego verificar que las reacciones de los resortes restantes no superen dicho empuje. En caso de que existan resortes con cargas mayores a la de rotura, se repite el proceso hasta lograr que todos los resortes se encuentren en condiciones aceptables.

En la siguiente *Figura 52*, se muestran, en kN, los resultados de las reacciones de los resortes, junto con las fuerzas agregadas. Se puede ver que tanto en la ficha como en el muerto, las mismas no superan las fuerzas pasivas de rotura del estrato.

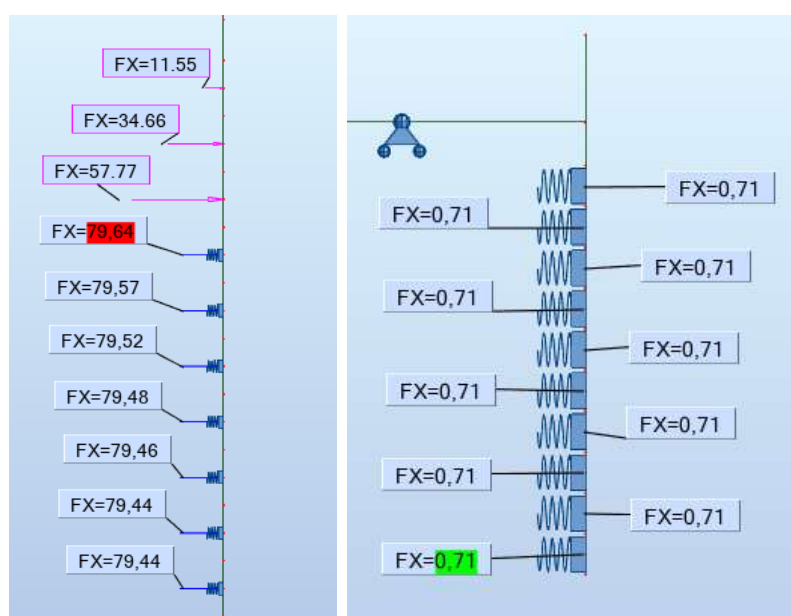


Figura 52 - Reacciones en resortes corregidas sobre la ficha y el muerto calculados por Robot Structural. Fuente: Elaboración propia.

Esto demuestra que el modelo realizado es correcto. A continuación, en la *Figura 53*, se presentan los esfuerzos en estado límite último sobre la estructura completa.

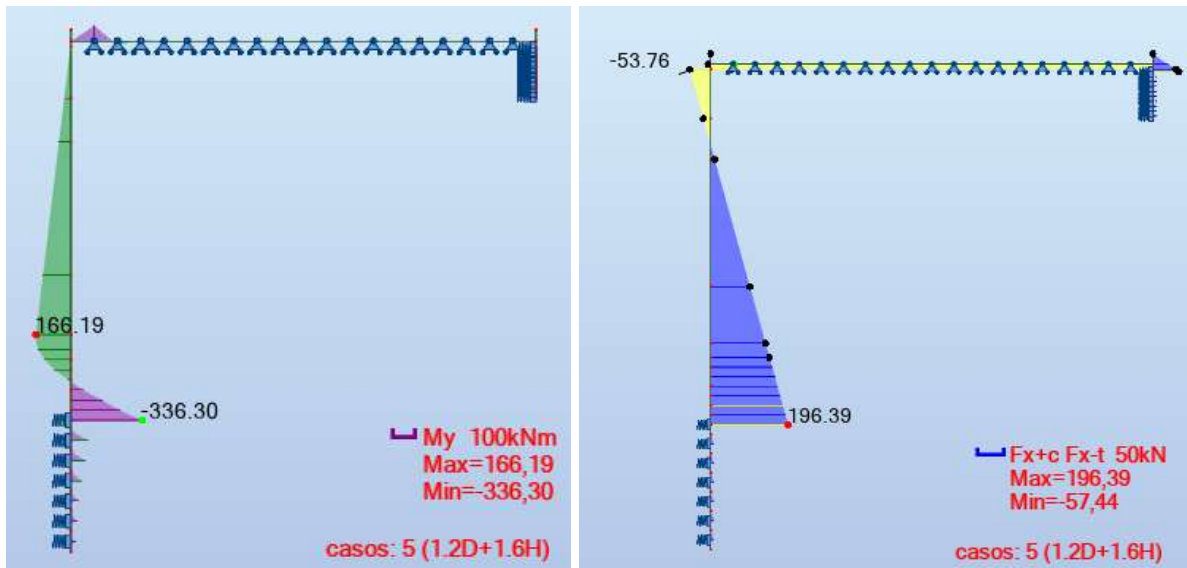


Figura 53 - Diagrama de momentos y corte de la estructura en el estado 1,2 D + 1,6 H.

Y a su vez, se muestran las deformaciones de la misma en la *Figura 54* dada a continuación.

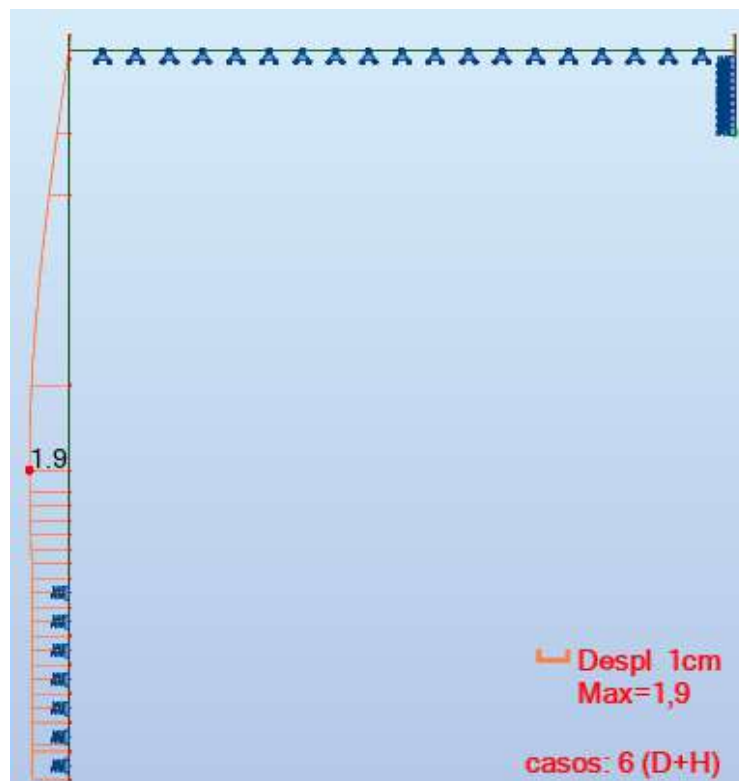


Figura 54 - Diagramas de desplazamientos en estado de servicio ELS.

Se puede observar que los esfuerzos obtenidos según el modelo son mayores a los calculados a mano, por lo que se tomarán estos como los determinantes para el dimensionamiento de la estructura.

8. PROCESO CONSTRUCTIVO

Para la ejecución de la obra de estabilización se plantean dos etapas según el frente de ataque.

La **primera etapa** se plantea comenzar desde un frente sobre la margen norte de la futura recanalización (margen izquierda), aprovechando la posibilidad de trabajar en seco y sin desviar el cauce natural ya que el mismo se ubica sobre la margen sur de la recanalización en la progresiva de la obra. Se observa en la *Figura 55*. Aquí se propone ejecutar casi la mitad de la extensión de la obra.

El primer paso consiste en la ejecución de **18 de 37 módulos del muro colado** de 2,50m de ancho por 0,50 m de espesor (corresponde al espesor del muro). Este proceso comienza con la construcción de un muro guía, cuya función principal es guiar a la maquinaria de excavación y servir de soporte para la armadura del muro durante su ejecución. Los módulos se van excavando en forma intercalada como cuando se realizan trabajos de submuración para mantener cierto margen de seguridad y así preservar la integridad de la excavación de la pantalla en su conjunto.

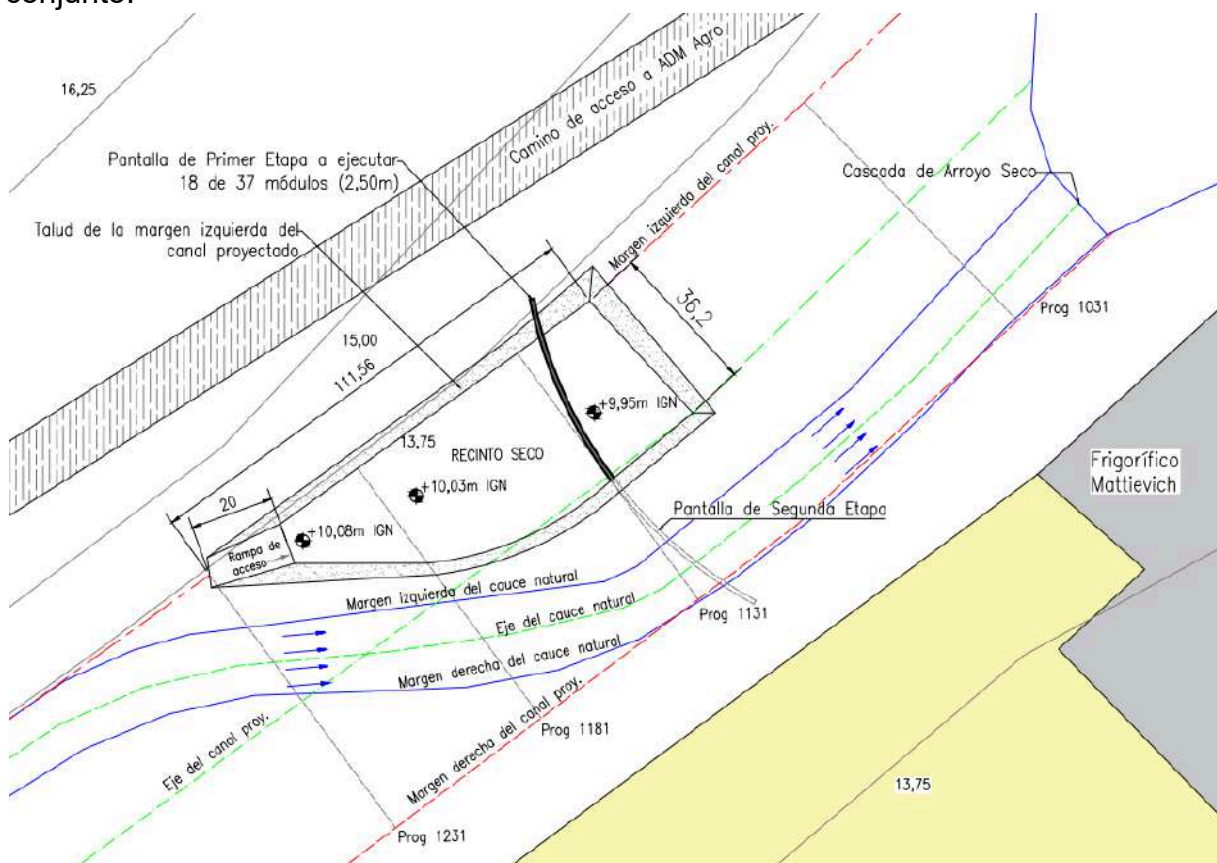


Figura 55 - Primera etapa: frente de ataque sobre margen norte. Ejecución del muro colado. Fuente: Elaboración Propia.

Una vez ejecutado el muro guía, se procede a la excavación del suelo para conformar los paneles del muro colado. Esta tarea se realiza mediante una grúa equipada con una cuchara bivalva como se muestra esquemáticamente en las *Figuras 56* y *57*. La misma deberá ser guiada por medio de un eje tipo "Kelly" para mantener su alineación y evitar la tendencia al giro helicoidal. Se emplean lodos bentoníticos en el caso que sea necesario para mantener la estabilización de las paredes de la excavación y evitar desprendimientos.

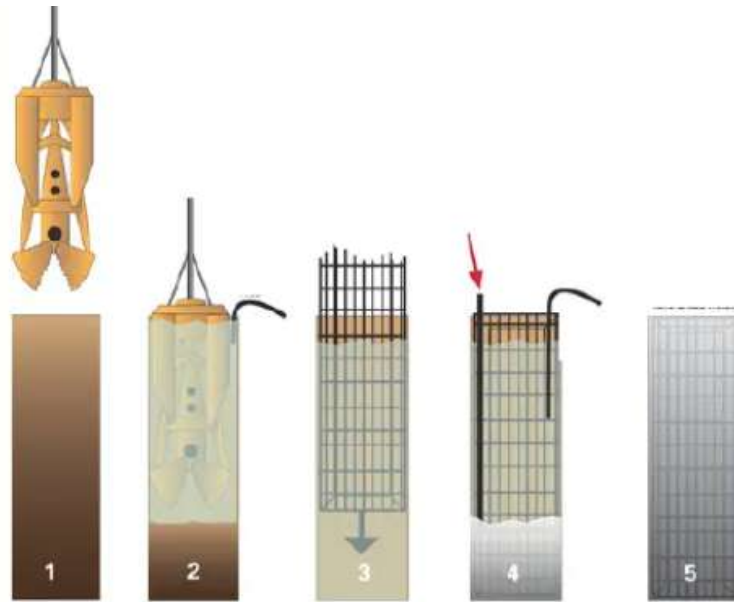


Figura 56 - Proceso de ejecución de muro colado. Fuente: Twitter / GeotechTips.

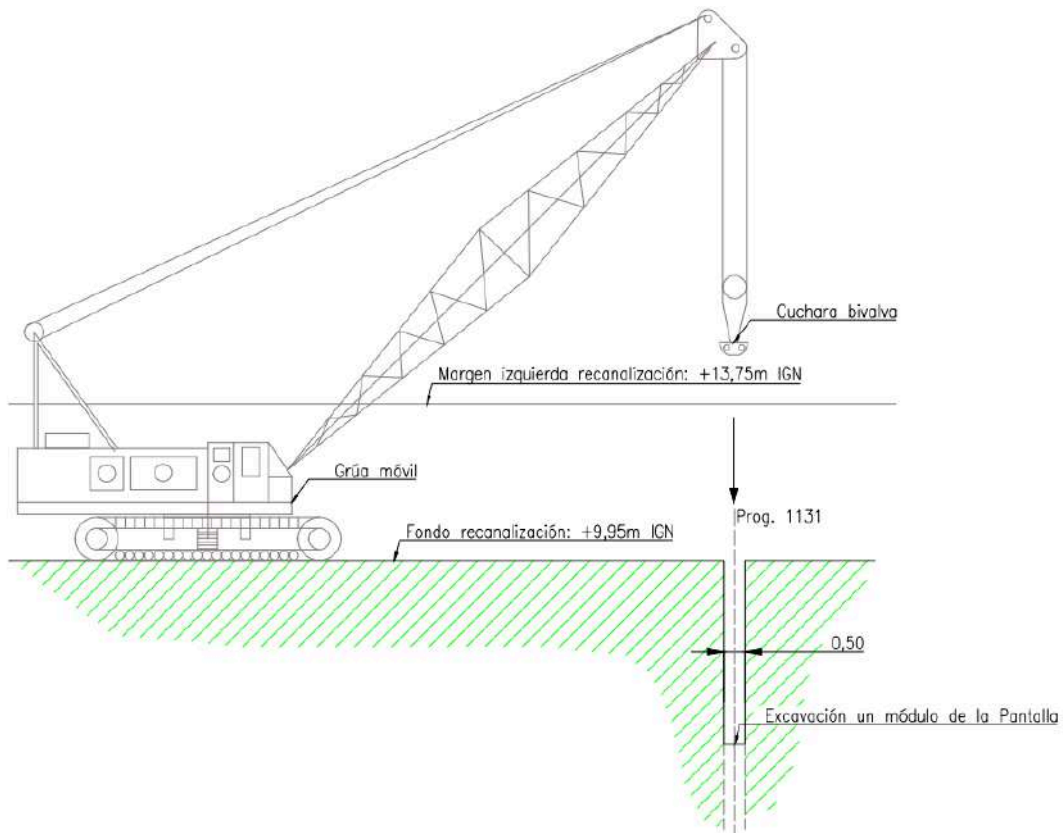


Figura 57 - Corte longitudinal de la ejecución del muro colado en el tramo central. Fuente: Elaboración propia.

Finalizada la excavación del panel, con la asistencia de una grúa, se realiza el izado y la colocación de la armadura correspondiente al módulo excavado, así como los elementos de junta de cada panel, que en este caso serán materializadas mediante una lengüeta metálica. A continuación, se procede al hormigonado del módulo, el cuál se realiza en una única etapa y de abajo hacia arriba, utilizando camiones con bombas y el tubo tremie.

Una vez que el hormigón adquiere suficiente resistencia, se retira la junta metálica mediante un proceso de vibrado, lo que permite ejecutar el módulo adyacente manteniendo la continuidad estructural. Este procedimiento se realiza hasta completar el desarrollo completo del muro.

Para unificar los módulos, se ejecuta una viga de coronamiento sobre la parte superior del muro colado, asegurando su estabilidad e integridad estructural.

En cuanto a la ejecución de las **vigas tensor de anclaje**, se realizan **24 de 49 unidades** totales, comenzando el proceso con una excavación según las dimensiones del elemento, seguida por la colocación de la armadura pasiva y activa correspondiente. Previo al hormigonado, se realiza el tesado de los cables de pretensado, para lo cuál se ejecutan los cabezales de anclaje que absorben los esfuerzos generados durante el tesado antes de que sean tomados por la viga. Una vez finalizado este proceso, se hormigona la viga tensor.

Luego, se ejecutan **24 de 49 muertos de anclaje**, en donde cada uno se realiza también mediante una grúa equipada con una cuchara bivalva ya que fueron planteados con las mismas dimensiones de 2,50 m por 0,50 m de cada módulo de muro para unificar el equipo utilizado. Seguidamente, se coloca la armadura pasiva del muerto y se vierte el hormigón para conformar el elemento de empotramiento del anclaje. La ejecución de estos dos últimos elementos se muestra en la *Figura 58*.

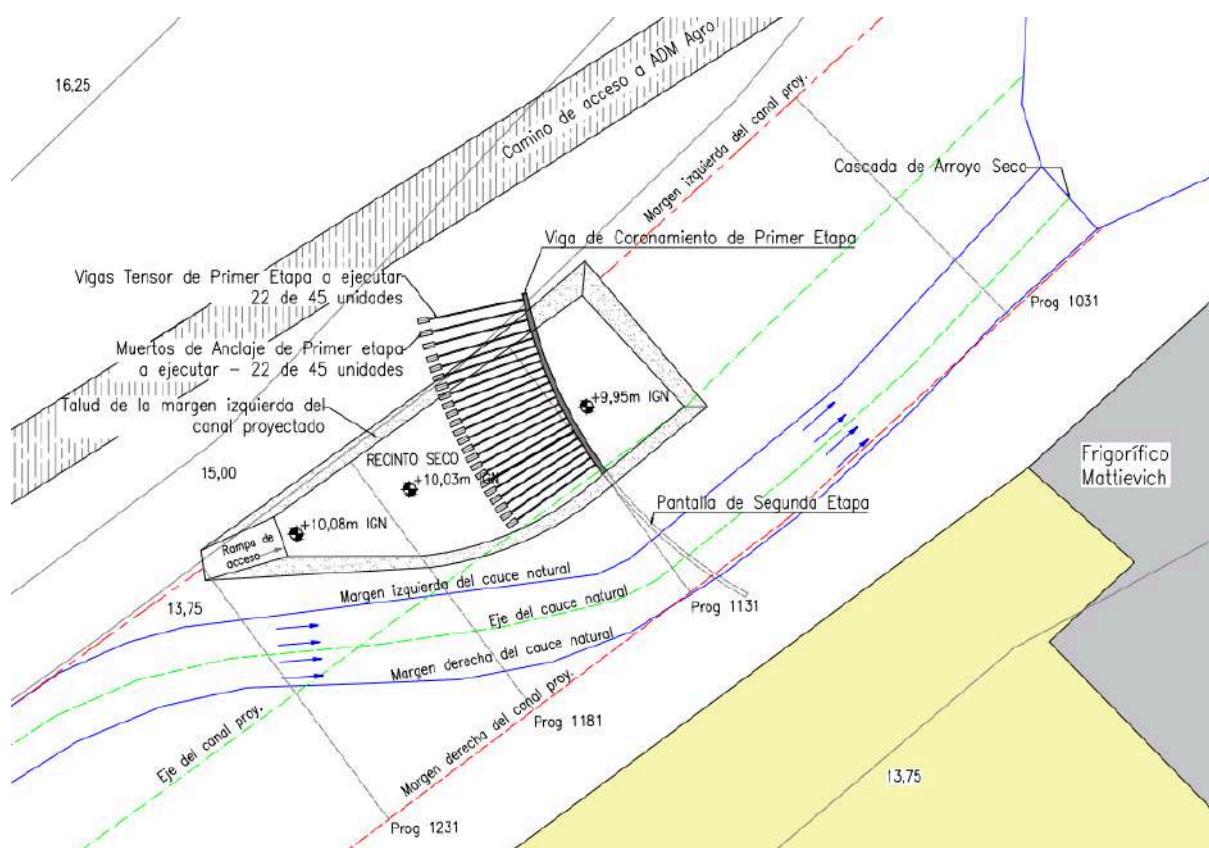


Figura 58 - Primera etapa: frente de ataque sobre margen norte. Ejecución de las vigas tensor y muertos de anclaje. Fuente: Elaboración propia.

Por último, se ejecuta la losa de vinculación en el área que comprenden las 24 de 49 unidades de vigas tensor y muertos de anclaje. Se indica en la *Figura 59*.

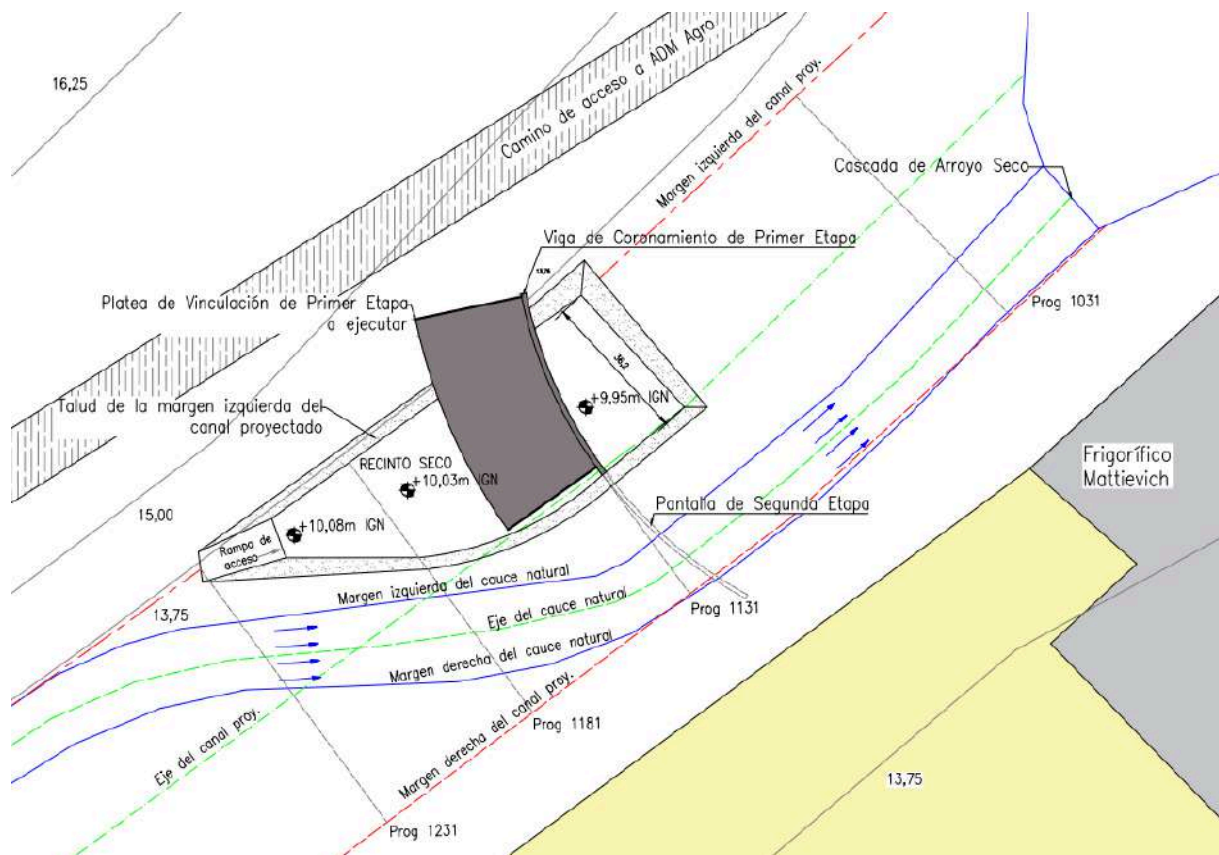


Figura 59 - Primera etapa: frente de ataque sobre margen norte. Ejecución de la losa de vinculación sobre las vigas tensor y muertos de anclaje construídos. Fuente: Elaboración propia.

En esta primera etapa también se plantea avanzar con la recalificación desde la progresiva 1231, aproximadamente en donde se encontraría la rampa de acceso, hacia aguas arriba (hacia el puente de la RP21) a medida que se van ejecutando cada una de los elementos antes mencionados. De esta forma, se puede analizar el hecho de utilizar el suelo obtenido a partir de aquí para la segunda etapa.

La **segunda etapa** se plantea comenzar sobre la margen sur de la futura recalificación (margen derecha), debiendo realizar una ataguía desde la misma para poder desviar el cauce natural hacia el lado norte donde ya se encuentra ejecutada casi la mitad de la obra y de esta manera, dejar en seco el sector de trabajo. El objetivo del desvío en esta etapa es que se permita trabajar sobre el tramo restante del muro, en la parte donde se encuentra el cauce actualmente. El suelo necesario para realizar la ataguía se puede obtener de la recalificación aguas arriba, realizada en la primera etapa.

La ataguía planteada y la ejecución de los restantes módulos del muro colado (19 de 37) se muestran en la *Figura 60*. La ejecución del muro colado se realiza de igual forma que en la primera etapa, es decir, a partir de una grúa equipada con una cuchara bivalva y con ayuda de lodo bentonítico.

Luego, se ejecutan tanto las restantes vigas tensor (25 de 49), muertos de anclaje (25 de 49) y la losa de vinculación según se muestra en las *Figuras 61 y 62*.

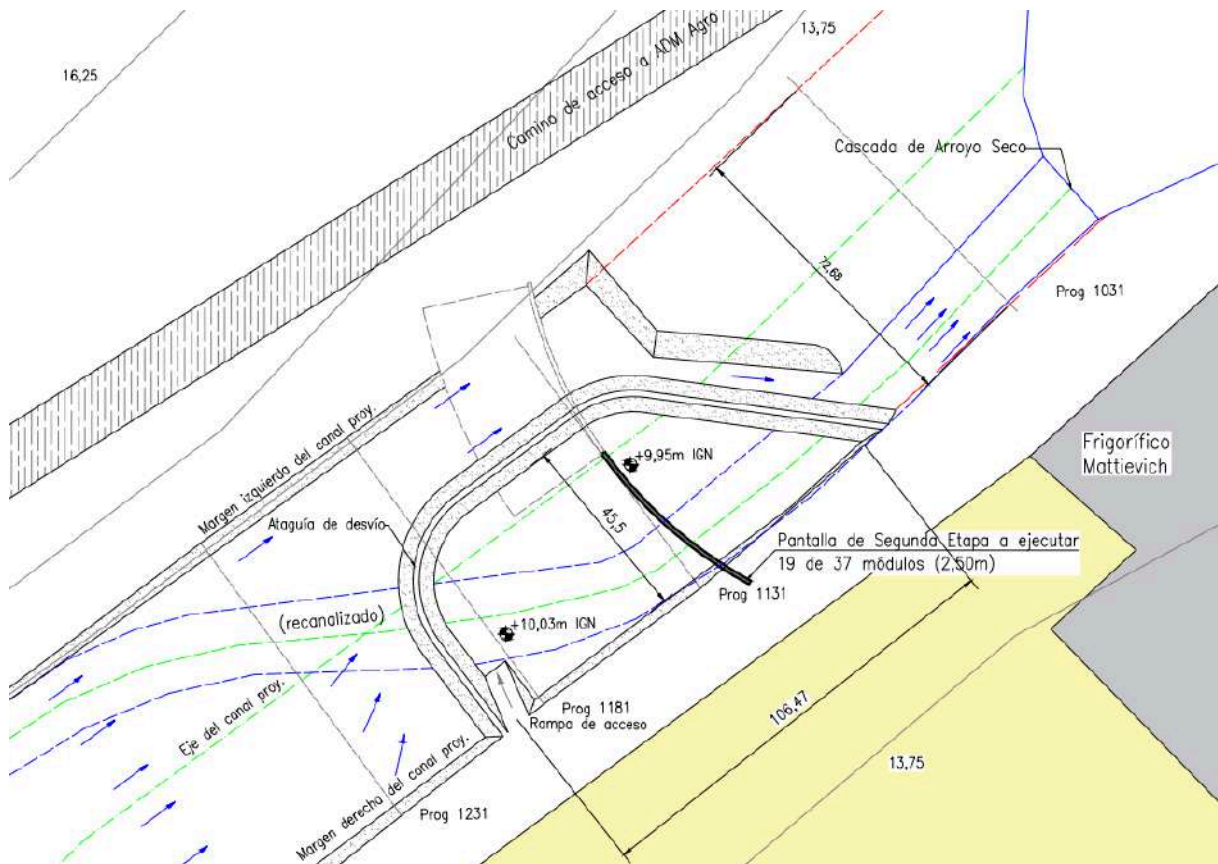


Figura 60 - Segunda etapa: frente de ataque sobre margen sur. Ataguía para desvío. Ejecución del muro colado. Fuente: Elaboración propia.

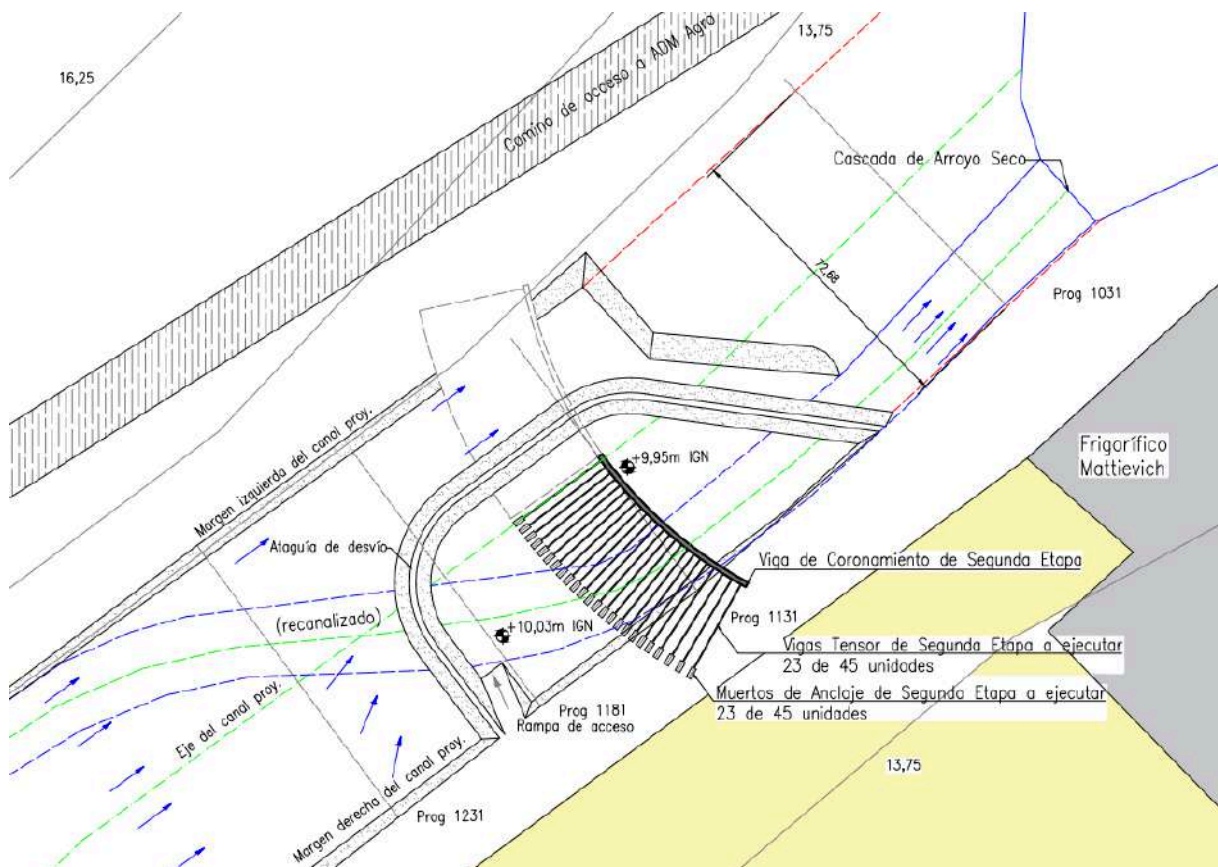


Figura 61 - Segunda etapa: frente de ataque sobre margen sur. Ataguía para desvío. Ejecución de las vigas tensor y muertos de anclaje. Fuente: Elaboración propia.

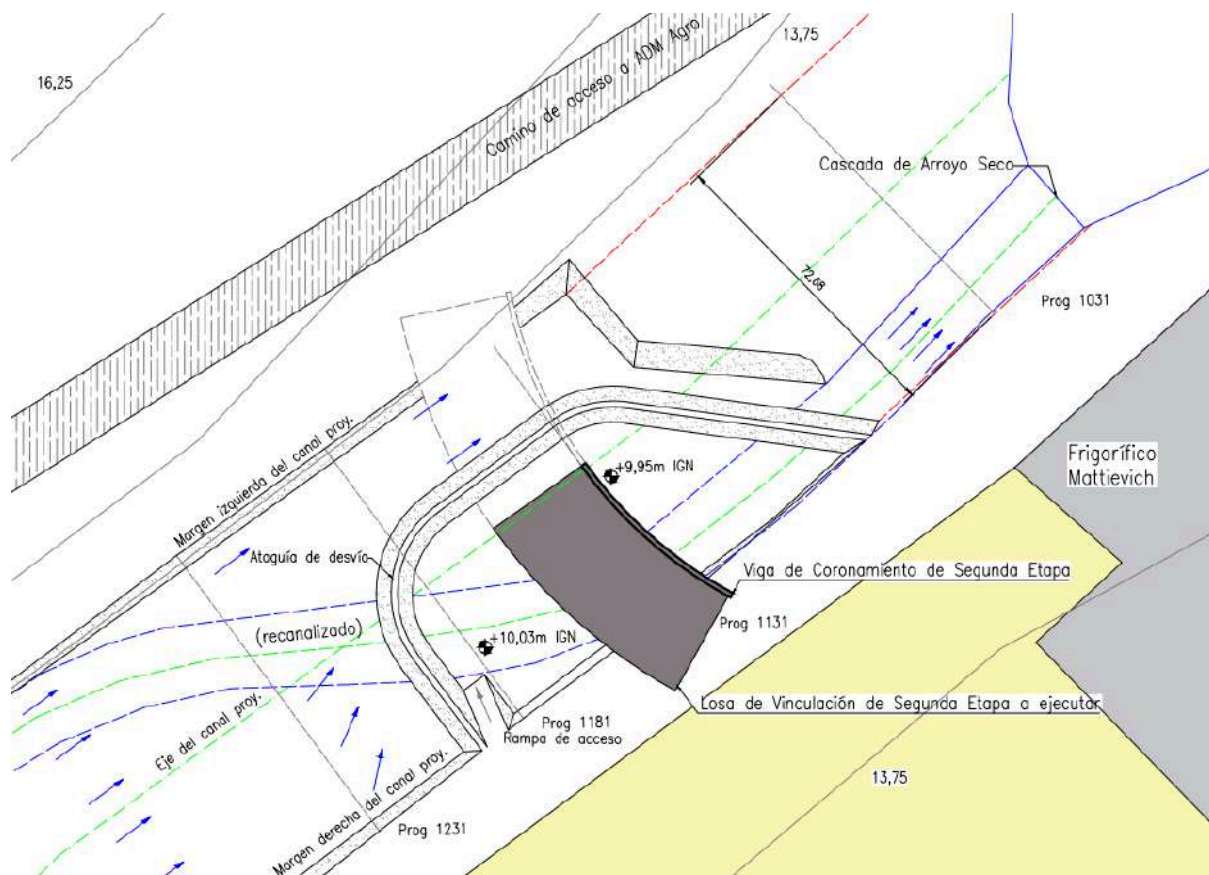


Figura 62 - Segunda etapa: frente de ataque sobre margen sur. Ataguía para desvío. Ejecución de la losa de vinculación sobre las vigas tensor y muertos de anclaje construidos.
Fuente: Elaboración propia.

Cuando la cascada avance y quede descubierta la estructura, la terminación será rústica, típica del muro colado. Se considera que esta terminación es visualmente aceptable dado que el muro queda cubierto bajo el agua de la cascada. Como última etapa, se plantea realizar una excavación aguas abajo de la pantalla con el objetivo de generar una transición del terreno natural desde la cota de coronamiento de la obra y la cascada natural como también entre el ancho de los 80 metros de ancho del canal proyectado al ancho del cauce natural sobre el desnivel. Esto mencionado se indica en la siguiente *Figura 63*.

Por otro lado, se plantea a continuación un esquema de los obradores propuestos, presentando uno para cada margen teniendo en cuenta ambos frentes de ataque. El primer obrador, como se observa en la *Figura 64*, propone de la margen norte del cauce natural para comenzar con las tareas correspondientes a la primera etapa antes mencionada, teniendo la posibilidad de acceso por medio de la calle que se dirige a ADM Agro. Con una zona central de 0,90 ha aproximadamente destinada a las oficinas técnicas, pañoles, baños y vestuarios, playa de equipos, playa de acopio de materiales, etc., y además con una franja que sigue la margen norte previendo el cerramiento de la zona cuando se comiencen a realizar los trabajos de excavación para la recanalización.

Luego, para cuando se avance con la segunda etapa sobre la margen sur del arroyo, se propone el segundo obrador, según se observa en la *Figura 65*, para poder ejecutar la ataguía de cierre y desvío del cauce y luego lo restante de la obra de estabilización. Se prevé una menor área (5,50 ha) ya que el mismo funcionaría

como obrador secundario para poder albergar los equipos necesarios, debiendo cerrar la franja adyacente a la margen sur para la recalcanización.

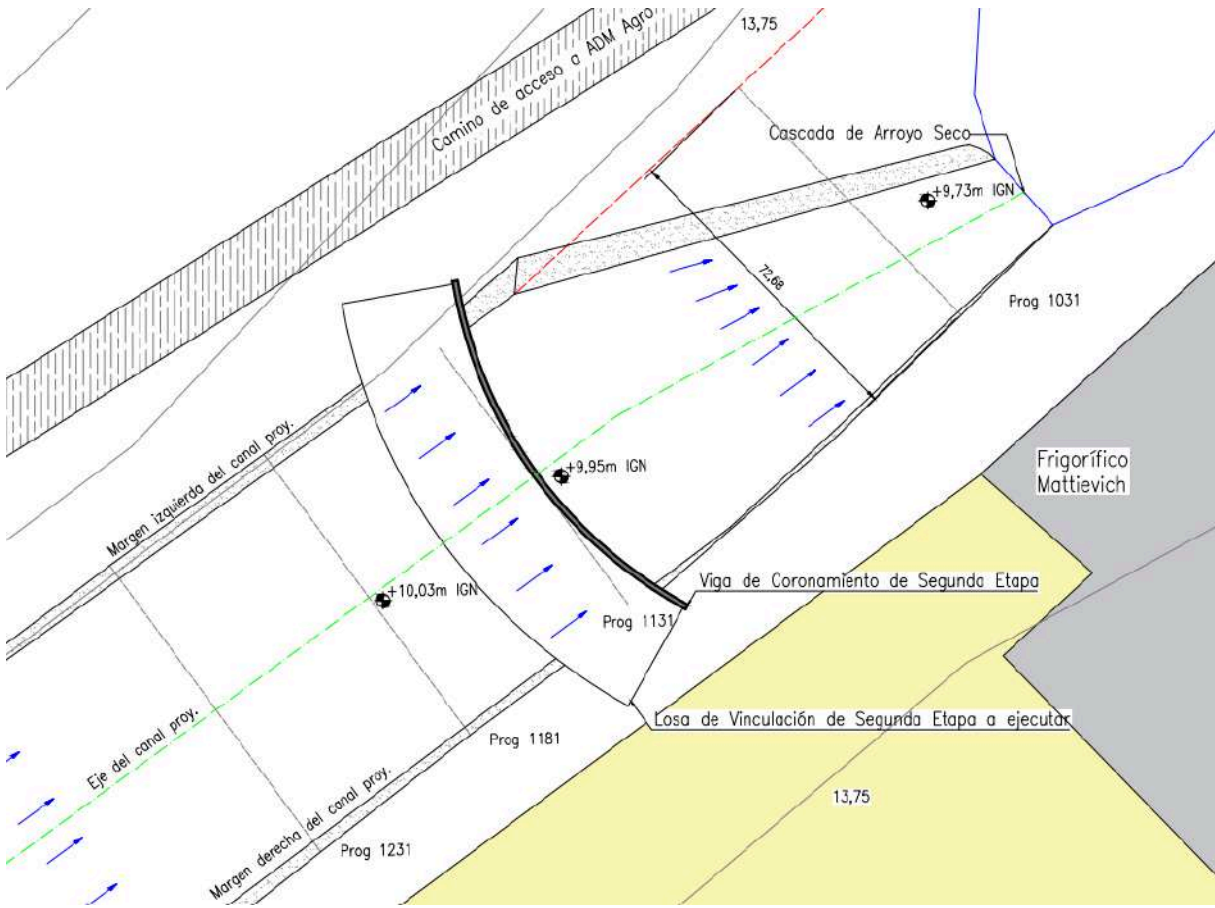


Figura 63 - Tercera Etapa: demolición de la ataguía y excavación aguas abajo de la pantalla. Transición del ancho del canal hacia la cascada natural. Fuente: Elaboración propia.



Figura 64 - Obrador Norte. Primera Etapa.

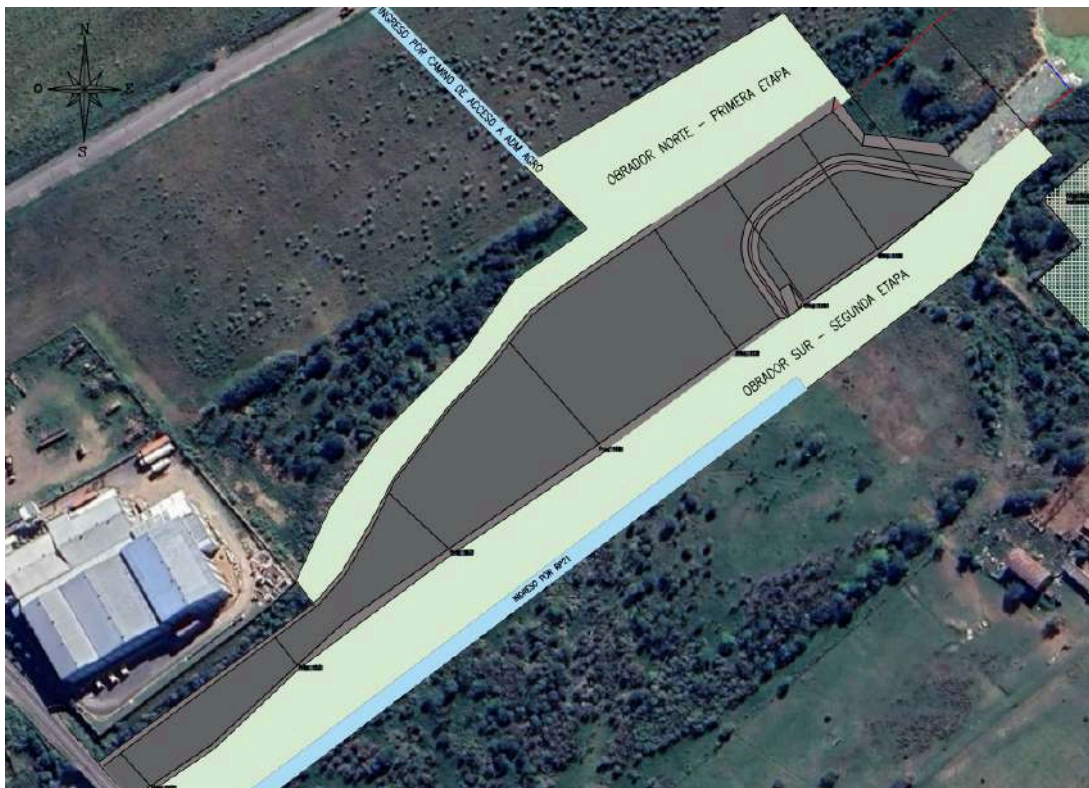


Figura 65 - Obrador Sur. Segunda Etapa.

9. ANÁLISIS DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL

En el Plan Urbano Local de Arroyo Seco 2030, publicado en septiembre de 2017 por el Ente de Coordinación Metropolitana, se establecen una serie de políticas que involucran la intervención del arroyo⁶.

En primer lugar, se ponen en discusión una lista de acciones entre las cuáles se propone la recuperación de las márgenes de los cursos de agua, incluyendo al arroyo, incorporando un programa de usos para generar nuevos espacios públicos, definiendo áreas parqueadas y de protección a la biodiversidad como corredor verde. Se pondera la necesidad de preservar las condiciones ambientales de gran relevancia, la prohibición de instalación de actividades productivas y la conservación de las características topográficas y ambientales en el suelo rústico o rural predominante. Para ello se propone una regulación del uso del suelo sobre los bordes del arroyo Seco y la creación de una reserva natural metropolitana junto al mismo, tratando ambas márgenes en su desembocadura, preservando las especies nativas y controlando la calidad del agua. Existe un interés por parte de la gestión actual de recuperar las zonas ribereñas, haciendo efectivo el Código Civil de la República Argentina que establece la necesidad de dejar un camino de sirga, es decir, un espacio público a lo largo de los canales navegables. El arroyo Seco, posee un último tramo navegable que actualmente se encuentra ocupado por instituciones privadas en su periferia.

⁶ Ente de Coordinación Metropolitana (ECOM). (2017). *Arroyo Seco 2030: Plan urbano local* (1.ª ed.). ECOM.

Por otra parte, menciona el sistema de tratamiento de líquidos cloacales existente. El mismo se encuentra disponible desde 1980 y según el informe, se realizan análisis mensuales de los efluentes luego de ser tratados y previo de ser vertidos hacia el arroyo. Para mantener su correcto funcionamiento, la misma se encuentra en un proceso de reacondicionamiento, el cuál incluye la construcción de cuatro piletones ya ejecutados y la remediación de las cuatro lagunas estabilizadoras originales. Esto es debido a que las actuales lagunas no son suficientes y, como puede observarse en la *Figura 66*, el arroyo luego de la planta de tratamientos cambia el color de sus aguas por la contaminación presente.

Además, hay un gran deterioro de la red cloacal, donde se establece que el sector de mayor riesgo corresponde al más antiguo de la ciudad, comprendido entre las vías del FFCC al este y las calles San Nicolás al sur, Baigorria al norte y M. de Garaghan al oeste. Las redes cloacales en esta área presentan un gran nivel de erosión y degradación, por lo que es imperiosa la necesidad de su reemplazo no solo por su deterioro sino también por la materialidad de los mismos, que es de asbesto cemento, un contaminante cancerígeno. Esta acción fue llevada a cabo durante el año 2024, donde se realizaron obras de saneamiento de las lagunas existentes, mejorando los taludes y reduciendo el olor que le generaban a los vecinos de la localidad. Además, esta acción está acompañada de un avance con respecto al servicio de red cloacal.



*Figura 66 - Imagen satelital de la planta de tratamientos cloacales y el cambio de color del agua debido a la contaminación del Arroyo Seco.
Fuente: Google Maps.*

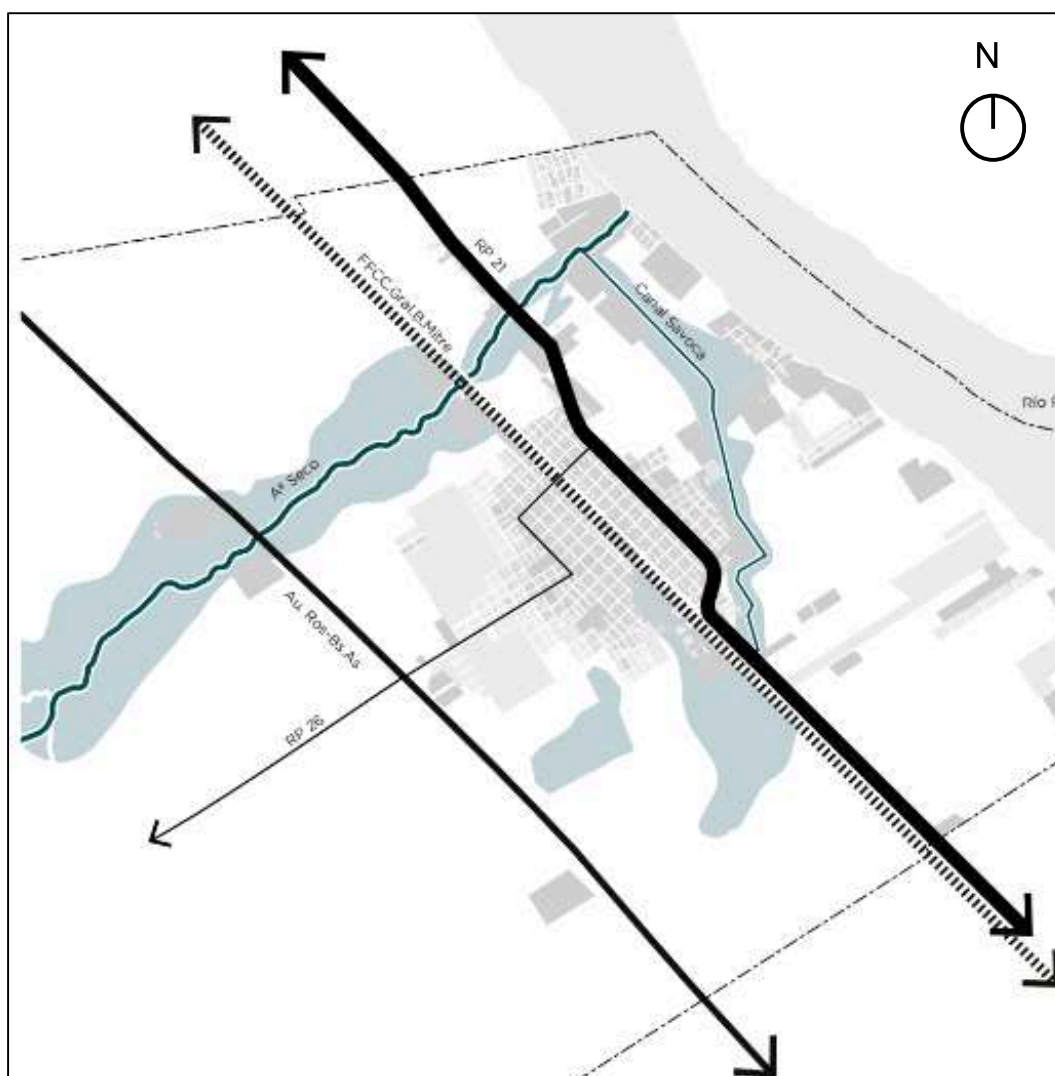
En último lugar, se presenta como problemática el tema de la inundación que resulta de interés dada el área en riesgo de inundación o anegamiento hídrico que se puede observar en la *Figura 67*. Para abordar este inconveniente, se realizaron dos grupos de acciones concretas: en primer lugar, se ha procedido a la limpieza de los canales primarios (Arroyo Seco y Canal Savoca) y secundarios (sistema de alcantarillado) de la ciudad. Como segunda acción, se ejecutaron en el barrio Güemes tres conductos aliviadores bajo las vías del FFCC, evitando el estancamiento de los efluentes pluviales en las inmediaciones de la vía. También se propone la apertura de un nuevo cruce bajo el FFCC sobre la calle Jonas Salk, para la evacuación de los desagües urbanos del sector sureste de la localidad. A mediano

plazo, se debería avanzar con la recanalización del canal y actualizar sus secciones de paso, en particular las alcantarillas bajo el FFCC y la Ruta Provincial N°21. Una vez ejecutado esto, se plantea un canal que evacue los excedentes de los nuevos barrios ubicados al sureste del acceso a la autopista y se propone un canal desviador que conduzca parte del caudal del canal Savoca directamente al Río Paraná.

Para profundizar en la problemática general que involucra al cauce del arroyo Seco se relevaron noticias y se confeccionó la *Tabla 8*.

Los problemas que se identificaron a través de la noticias están vinculados a problemas de inundaciones, ordenamiento territorial, saneamiento cloacal y saneamiento industrial. Los actores que se identificaron vinculados con estas problemáticas fueron mayoritariamente pertenecientes al Orden Gubernamental Provincial y Municipal, como lo son la Secretaria de Aguas y Saneamiento, Ministerio de Medio Ambiente e Industria.

La Sociedad Civil tiene una participación muy minoritaria, y en función de lo relevado sólo se identificó la actuación de los vecinos, que hicieron un reclamo respecto a la usurpación de terrenos costeros por parte de organizaciones privadas.



*Figura 67 - Mancha de inundación del arroyo Seco.
Fuente: Plan Urbano Local Arroyo Seco 2030. Septiembre 2017.*

En cuanto a temática específica de contaminación sobre el arroyo Seco, se realizó una búsqueda de noticias de periódicos locales y se encontró que para junio de 2024, el frigorífico de pescados Puerto Gaboto presenta sanciones por el efecto nocivo que producen sus efluentes no tratados, que son vertidos de forma directa sobre el arroyo⁷.

⁷ www.innovavista.net. (s. f.). Puerto Gaboto tiene plazo para adecuarse y dejar de contaminar o sería sancionado. Extremo Diario (13/06/2024), "Puerto Gaboto tiene plazo para adecuarse y dejar de contaminar o sería sancionado". [extremodiario.com.ar](https://extremodiario.com.ar/noticias/arroyo-seco/99904-puerto-gaboto-tiene-plazo-para-adecuarse-y-dejar-de-contaminar-o-seria-sancionado.html) (17/06/2025)
<https://extremodiario.com.ar/noticias/arroyo-seco/99904-puerto-gaboto-tiene-plazo-para-adecuarse-y-dejar-de-contaminar-o-seria-sancionado.html>

Tabla 8 - Noticias sobre la problemática ambiental de Arroyo Seco.

| FECHA | FUENTE | ACTORES | ACCIÓN | PROBLEMAS | CARÁCTER |
|------------|--|--|--|--|-----------------|
| 20/03/2024 | El Concejo declaró la Emergencia Hídrica y Sanitaria - Más Noticias | Orden Gubernamental Municipal | Declaración de emergencia hídrica y sanitaria en Arroyo Seco | Desagües pluviales existentes insuficientes, inundaciones afectando la red de caminos y causando pérdidas materiales | Acción concreta |
| | | | Construcción de un canal aliviador que desagüe en el Río Paraná | | Enunciativa |
| | | | Reubicación de viviendas de las familias del barrio Virgen del Luján y San Francisco de Asís | | Enunciativa |
| 18/05/2024 | La provincia invertirá en la ampliación y saneamiento de la planta de tratamiento de líquidos cloacales - Más Noticias | Orden Gubernamental Provincial y Secretaría de Aguas y Saneamiento | Suspensión a nuevos loteos de su conexión a la red cloacal actual | Falta de mantenimiento y reacondicionamiento de las piletas de tratamiento de líquidos cloacales y anomalías en su funcionamiento. Mal olor que genera disconformidades en los vecinos | Acción concreta |
| 20/05/2024 | Firma de convenio para el saneamiento de las lagunas de tratamiento de líquidos cloacales | | Firmado de un convenio de saneamiento de las lagunas de tratamiento de líquidos cloacales que incluye mejoras, un cerramiento del lugar, un desbarramiento, limpiar las lagunas y mejorar los taludes para que el agua sea tratada | | Acción concreta |
| 30/05/2024 | Firma de convenio: La provincia invertirá casi \$74.000.000 para sanear las lagunas de tratamiento de líquidos cloacales | | | | |
| 13/06/2024 | Puerto Gaboto tiene plazo para adecuarse y dejar de contaminar o sería sancionado | Orden Gubernamental Municipal, Ministerio de Medio Ambiente e Industria | Inspección de las irregularidades en el vertido de efluentes pendientes de cumplimentar | El frigorífico de pescados "Puerto Gaboto" contamina al arroyo Seco a partir de su vertido directo sin tratamiento | Acción concreta |
| 20/08/2024 | Por primera vez, una gestión ejecutiva se ocupará de recuperar zonas ribereñas - Más Noticias | Orden Gubernamental Municipal | Remisión de proyecto para disponer de todo terreno municipal o estatal sobre el sector costero | Ausencia del Estado sobre los terrenos estatales del frente costero que generó el avance de construcciones privadas y usurpaciones de calles o caminos de acceso | Enunciativa |
| | | | Ordenamiento territorial de la zona costera en la cual se sectoricen zonas de acuerdo a sus usos, y se definan parámetros urbanísticos | | Enunciativa |
| | | Sociedad Civil | Reclamos de vecinos y vecinas de los barrios costeros por usurpación de terrenos costeros por privados | | Acción concreta |
| 3/02/2025 | Avanza la coordinación con Provincia para el proyecto de mejoras en el servicio y la calidad de agua | Orden Gubernamental Municipal y Subsecretaría de Aguas y Saneamiento | Certificación de los avances de obras de saneamiento de las lagunas de líquidos cloacales | Falta de mantenimiento y reacondicionamiento de las piletas de tratamiento de líquidos cloacales | Acción concreta |
| 5/02/2025 | Arroyo Seco avanza en saneamiento y mejoras en el servicio de agua - Sur Multimedia | | | | |
| 8/04/2025 | Puerto Gaboto contamina, no da explicaciones y tampoco paga multas | Orden Gubernamental Municipal (Secretaría de Medio Ambiente e Industria) | Se labró el acta, se contemplaron todos los incumplimientos y se derivó un informe a juzgado. Se aplicaron varias multas. La empresa hizo caso omiso | El frigorífico de pescados "Puerto Gaboto" contamina al arroyo Seco a partir de su vertido directo sin tratamiento | Acción concreta |

9.1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El proyecto que se prevé para la estabilización del salto del arroyo Seco está fuertemente vinculado a una necesidad social y ambiental: para evitar la inundación de sectores contaminados que puedan afectar el arroyo, como lo pueden ser las lagunas de estabilización del frigorífico Mattievich o para prevenir el colapso del puente de la Ruta Provincial 21, el cuál representa un nexo fundamental para la conexión terrestre de las ciudades aledañas y del cuál se está realizando una ampliación.

Es por esto que se pueden relacionar varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 al proyecto que se está analizando.

ODS 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles: La obra de estabilización permite aumentar la seguridad de las ciudades y sus caminos, al evitar el retroceso de la cascada que podría provocar el colapso de puente de la ruta provincial 21. En este sentido, resulta relevante la siguiente meta:

- Meta 11.4: Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo. La obra permitiría evitar mayores desastres, salvaguardando el entorno en la cuál se encuentra.
- Meta 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. La obra permitiría reducir el valle de inundación del cauce del arroyo Seco, además de evitar el colapso del puente de la ruta provincial 21, reduciendo la cantidad de personas afectadas por estos desastres.
- Meta 11.7: De aquí a 2030, proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad
- Meta 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 permite mitigar los efectos del cambio climático reduciendo sus consecuencias, al evitar el retroceso de la cascada que ocurre para precipitaciones extremas que cada vez son de mayor magnitud y en mayor frecuencia..

ODS 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. En sí misma, la obra de estabilización se realiza para evitar el posible retroceso de la cascada provocada por grandes precipitaciones. Debido al cambio

climático, estas precipitaciones son de mayor magnitud y en mayor frecuencia, por lo que el riesgo de que la cascada retroceda va en aumento. En este sentido, resulta relevante la siguiente meta:

- Meta 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. La construcción de la obra permite prevenir los efectos que vienen aparejados con el retroceso de la cascada

ODS 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación. La obra se trata de una estructura la cual debe ser debidamente dimensionada y ejecutada a modo de que la misma resulte resistente y duradera de acuerdo a las solicitudes. En este sentido, resulta relevante la siguiente meta:

- Meta 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 obra de estabilización requiere de una infraestructura adecuada en base a los requerimientos que ésta tenga, ya sean hidráulicos, estructurales y geotécnicos.

ODS 8: Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos. Una obra de este tipo requiere de gran mano de obra lo cual incentiva el desarrollo económico local. En este sentido, resulta relevante la siguiente meta:

- Meta 8.2: Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra. La construcción de la obra de estabilización puede ser una gran fuente de trabajo para los ciudadanos de Arroyo Seco y de esta manera promover el desarrollo económico local.

ODS 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación. En este sentido, En este sentido, resulta relevante la siguiente meta:

- Meta 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. Si bien en nuestro proyecto no se realiza una intervención de forma directa sobre la desertificación, se ejecuta una intervención en las áreas inundables, reduciendo la superficie afectada.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La obra de estabilización de la cascada del arroyo Seco tiene un impacto significativo en la población de Arroyo Seco y sus alrededores y constituye un proyecto fundamental para combatir los efectos que generan las precipitaciones cada vez más frecuentes debido al cambio climático. Este proyecto permite evitar el retroceso del salto, evitando su intercepción con el puente de la Ruta provincial 21 y

su posible colapso y disminuyendo las áreas de inundación en el tramo del cauce aguas abajo de dicho puente.

Sin embargo, una obra de una envergadura tan grande y comparable con la del Arroyo Saladillo muy probablemente no sea una prioridad para las autoridades del orden público puesto que tendría un costo elevado y que, el posible colapso y retroceso de la cascada, tendría consecuencias menores. Esto es debido a que la zona no es muy concurrida, los retrocesos registrados son menores y la cascada no está tan cercana al puente autovía.

En el caso de que se quiera avanzar con dicho proyecto, se enuncian las siguientes recomendaciones que, a criterio de los autores, son de suma importancia para la correcta ejecución de la obra:

- Realizar estudio de suelos más precisos en la zona de estudio y más cercanos a donde se encuentra implantada la cascada en la actualidad.
- Realizar relevamientos topobatiométricos con un instrumental más preciso, pudiendo obtener un panorama más amplio del estado del cauce.
- Evaluar la factibilidad de la obra considerando que la misma tiene dimensiones similares a la planteada para resolver el salto del arroyo Saladillo pero para un caudal mucho menor y con menos consecuencias negativas. Esto último se justifica dado que el puente Molino Blanco, ubicado aguas arriba de la cascada del arroyo Saladillo representa un nexo fundamental para dos de las ciudades más importantes en el sur de la provincia de Santa Fe. Por otra parte, el fenómeno de erosión retrogradante resulta menor para el caso del arroyo Seco dado los menores caudales.
- Realizar un modelo físico tridimensional del problema para evaluar el comportamiento global de la estructura, pudiendo analizar de forma más específica la interacción suelo-estructura.
- Realizar un análisis de las alternativas con mayor profundidad para evaluar qué opción es más conveniente realizar con un análisis económico del problema y teniendo en cuenta la disponibilidad de equipos y tecnología.
- Hacer un estudio de erosión general para verificar el correcto funcionamiento del canal. Esto amerita estudios de suelos más detallados. Podría preverse en caso de que el canal no verifique dicha erosión, realizar una protección en la zona próxima al cierre con un canal revestido de hormigón y en las progresivas más alejadas hacer un canal excavado en tierra con una transición hacia la sección revestida. Revestir el canal además permitiría profundizar la sección transversal logrando encauzar el caudal de diseño en un ancho menor. Sin embargo esto implicaría tener un caudal específico mayor, y por ende una socavación más grande. Entonces, se pueden evaluar alternativas de secciones de hormigón más angostas y profundas con obras de protección de la cascada más costosas frente a alternativas de secciones más anchas y de menor profundidad y obras de protección más económicas. De manera que, será tarea pendiente en el caso de continuar con el proyecto comparar técnica y económicamente dichas propuestas.

Para finalizar, y no menos importante, a lo largo del desarrollo de este proyecto final hemos podido formarnos en diferentes aspectos, tanto desde el punto de vista académico como personal.

Por un lado, este trabajo nos permitió integrar y aplicar conocimientos de diferentes áreas abordadas durante el transcurso de toda la carrera, lo que fortaleció nuestra capacidad para analizar y resolver problemas desde una perspectiva más amplia, integral y crítica. Esto también se vio reflejado en la observación de las diferencias entre la teoría y la práctica, en particular, con respecto a la obtención de los datos precisos para poder realizar un análisis de la problemática.

Por otro lado, el trabajo en equipo fue un pilar fundamental durante todo el proceso. A través de la colaboración con compañeros y profesionales, se pudieron evaluar los diferentes puntos de vista, la necesidad de comunicarse de forma efectiva y clara y tomar decisiones en conjunto, habilidades esenciales para el ejercicio profesional.

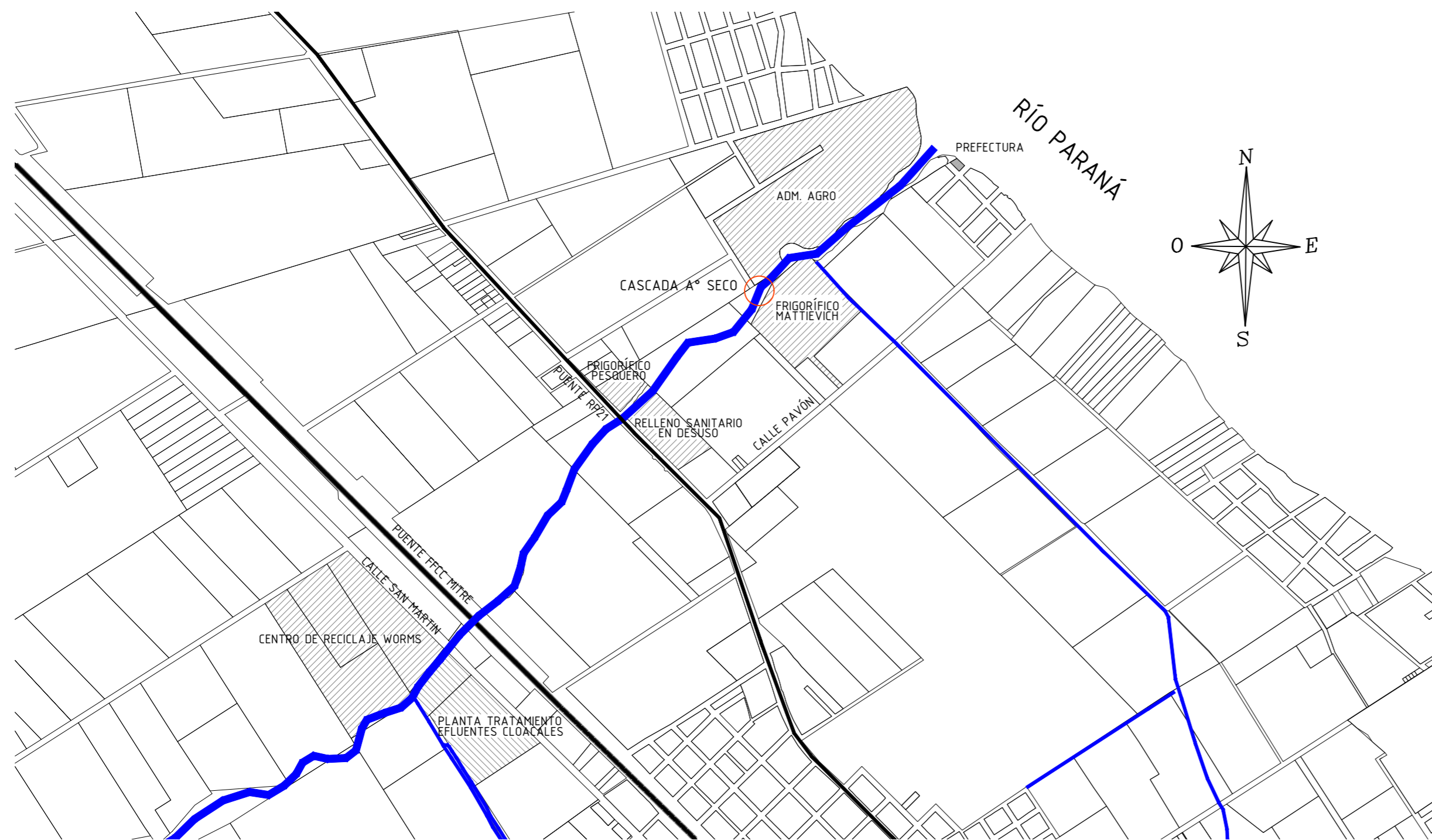
11. BIBLIOGRAFÍA

- **Dirección General de Hidráulica, Delegación Zona Sur.** (1977). *Reacondicionamiento canalización de Arroyo Seco km 0,00 (Salto) – km 2013 y canal secundario km 2013 – km 3300 (Oeste) [Informe técnico].*
- **Ministerio de Obras Públicas, Servicios Públicos y Vivienda, Provincia de Santa Fe.** (1995). *Informe técnico complementario, cuenca de Arroyo Seco [Informe técnico].*
- **Ensayos y Estructuras.** (2023.). *Informe Estudio de Suelos Puente Arroyo Seco – RN n° 20 [Informe técnico]. Ensayos y Estructuras.*
- **Ministerio de Infraestructura y Transporte de la Provincia de Santa Fe.** (2021, septiembre). *Dragado Arroyo Seco - Cuenca Arroyo Seco [Informe técnico].*
- **Basile, P. A., & Riccardi, G. A.** (2017, noviembre). *Modelación morfodinámica del proceso de erosión retrogradante: Aplicación a la cascada del A° Saladillo [Comunicación en congreso]. Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario*
- **Basile, P. A., & Riccardi, G. A.** (2018). *Desarrollo y aplicación de un modelo morfodinámico de simulación de erosión retrogradante [Informe técnico]. Universidad Nacional de Rosario*
- **Stenta, H. R., Riccardi, G. A., & Basile, P. A.** (2017). *Simulación hidrológica-hidráulica en pequeñas cuencas del sur santafesino: Caso de estudio: Cuencas del Arroyo Seco y del Arroyo Frías [Ponencia]. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario.*
- **Stenta, H. R., Riccardi, G. A., Basile, P. A., & Scuderi, C.** (2017). *Modelación del escurrimiento superficial en la cuenca del Arroyo Seco (Santa Fe) para el evento extremo del día 15 de enero de 2017 [Informe técnico]. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).*
- **Stenta, H. R., Riccardi, G. A., Basile, P. A., & Scuderi, C.** (2018, septiembre). *Modelación matemática distribuida del escurrimiento superficial en cuencas del sur de la provincia de Santa Fe (Argentina). XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina.*

- **Pasotti, P.** (1982). *Dislocaciones en el área del Gran Rosario (Vol. 65)*. Instituto de Fisiografía y Geología “Dr. Alfredo Castellanos”, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario
- **Prefectura Naval Argentina.** (s.f.). *Alturas de mareas y ríos*. <https://contenidosweb.prefecturanaval.gob.ar/alturas/>
- **Provincia de Santa Fe, Ministerio de Obras Públicas – Dirección Provincial de Vialidad.** (2024, marzo). *Ruta Provincial No 21 – Santa Fe, tramo: acceso Alvear–Figliera, sección: Km 0+000 (Av. Rubbini–Alvear)–Km 21+031 (Figliera) – Proyecto ejecutivo ampliación de calzadas – Capítulo 8: Diseño de obras de arte y drenaje [Informe técnico]*.
- **Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat de la Provincia de Santa Fe, Dirección General de Proyectos – Área Proyectos Rosario.** (2023, octubre). *Memoria técnica: Reconstrucción puente Camino El Ombú y protección puente interno sobre el Arroyo Seco – Distrito Arroyo Seco [Informe técnico]*.
- **Sosa, V.** (2023). *Desafíos en la estabilización de la cascada del Saladillo en el Depto. Rosario, Santa Fe: Caso de estudio de erosión retrogradante*. En *Memorias del XXVI Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Comodoro Rivadavia*.
- **Instituto Nacional del Agua, Laboratorio de Hidráulica.** (2018, agosto). *Proyecto de obra definitiva para la estabilización de la cascada del Arroyo Saladillo, Rosario – Provincia de Santa Fe [Informe técnico]*.
- **Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.** (1994). *Proyecto ejecutivo Tramo I del Arroyo Saladillo, Unidad 5: Modelos físicos. Modelo físico tridimensional de la cascada. Informe 4 [Informe técnico]*. Ministerio de Cultura y Educación.
- **Unidad Técnica de Inundaciones (UTI), Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda de la Provincia de Santa Fe, Secretaría de Recursos Hídricos.** (1991). *Plan integral de la cuenca del Arroyo Saladillo [Informe técnico]*.
- **Díaz, M. E., García, A. A., & Mallía, O. R.** (1995). *Fijación de la cascada del Arroyo Saladillo: Solución rígida para la estabilización de la cascada del Arroyo Saladillo (Proyecto académico, dirigido por Ing. Carlos Bessone)*. Universidad Nacional de Rosario.
- **Garro G. A., Lucca P.L. & Street G.E.** (1994). *Estructura flexible para la estabilización de la cascada del Arroyo Saladillo (Proyecto académico, dirigido por Ing. Raúl Postiglione)*. Universidad Nacional de Rosario.
- **Instituto de Investigaciones Científicas de Hidroconstrucciones de Moscú.** (1994). *Proyecto ejecutivo Tramo 1 Arroyo Saladillo (Asesoramiento: Dr. Guertrud Onipehenko) [Informe técnico]*.
- **Convenio Consejo Federal de Inversiones (CFI)- Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA-UNR)** (2000). *Proyecto ejecutivo del Tramo 1 del Arroyo Saladillo: Planos técnicos [Planos técnicos]*.
- **Navarro, R.** (2017, septiembre 7). *Refuerzo de emergencia a pie de cascada de Arroyo Saladillo – Ciudades de Rosario y Villa Gobernador Gálvez [Informe*



- técnico]. Secretaría de Recursos Hídricos, Subsecretaría Operativa, Ministerio de Infraestructura y Transporte de la Provincia de Santa Fe
- **Sosa, V.** (2017). *Informe técnico: Estudio de suelos – Protección de lecho y puente del Arroyo Saladillo en Avenida Circunvalación y Ayacucho* [Informe técnico]. Grupo CH SRL.
 - **Maccaferri de Argentina S.A.** (2017). *Cárcava Arroyo Saladillo – Escalera disipadora en gaviones* [Planos técnicos].
 - **CORIPA S.A.** (2017). *Refuerzo de emergencia con geotubos al pie de la cascada del Arroyo Saladillo*. [Informe técnico]. Dirección Provincial de Estudios y Proyectos, Secretaría de Recursos Hídricos, Ministerio de Infraestructura y Transporte de la Provincia de Santa Fe.
 - **EDECA S.A** (2017, diciembre). *Refuerzo de emergencia al pie de la cascada del Arroyo Saladillo: Planos técnicos* [Planos técnicos]. Dirección Provincial de Obras Hidráulicas, Ministerio de Infraestructura y Transporte, Provincia de Santa Fe.
 - **Pilotes Trevi.** (2019, julio). *Ejecución de pantalla combiwall – Arroyo Saladillo* [Informe técnico]. Secretaría de Obras Públicas, Municipalidad de Rosario.
 - **Secretaría de Obras Públicas, Unidad de Planificación y Gestión.** (2019, junio). *Obra de estabilización cascada y protección de márgenes del arroyo Saladillo - Antecedentes y situación actual*. [Informe técnico].
 - **Dirección Provincial de Vialidad.** (2020, enero). *Obra de emergencia para estabilización de la cascada del Arroyo Saladillo - Rosario - Argentina. Propuesta de obra de especificaciones técnicas, cómputos métricos y planos*. [Planos técnicos].
 - **Secretaría de Obras Públicas, Unidad de Planificación y Gestión. Serman & Asociados S.A. - Convenio Consejo Federal de Inversiones.** (2021, junio). *Informe Parcial 1 - Proyecto ejecutivo de la obra de estabilización cascada Arroyo Saladillo - Distritos Rosario y Villa Gobernador Gálvez - Departamento Rosario - Provincia de Santa Fe*. [Informe técnico].
 - **Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat. Subsecretaría de Planificación y Gestión. Secretaría de Recursos Hídricos-MISPyH. Provincia de Santa Fe.** (2021). *Licitación pública para contratar la ejecución de la obra: estabilización de la cascada del Arroyo Saladillo - 1ra y 2da Etapa*. Departamento Rosario - Provincia de Santa Fe. [Planos técnicos].
 - **Edgar Castelló, Gustavo Vanoli, Andrés Rodriguez, Hector D. Farias y Luis Giovine.** (2004, noviembre). *Estudios, Proyecto, Ejecución y Seguimiento de Estabilización de Cárcavas - A° El Gato, Córdoba*. [Informe técnico].
 - **Ente de Coordinación Metropolitana (ECOM).** (2017). *Arroyo Seco 2030: Plan urbano local* (1.ª ed.). ECOM.
 - **Hormigón Estructural. Conceptos básicos, comportamiento y diseño unificado de elementos típicos para edificios.** (2022). *Segunda edición*. Ing. Oscar Moller.

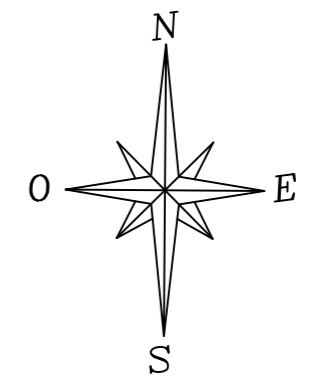
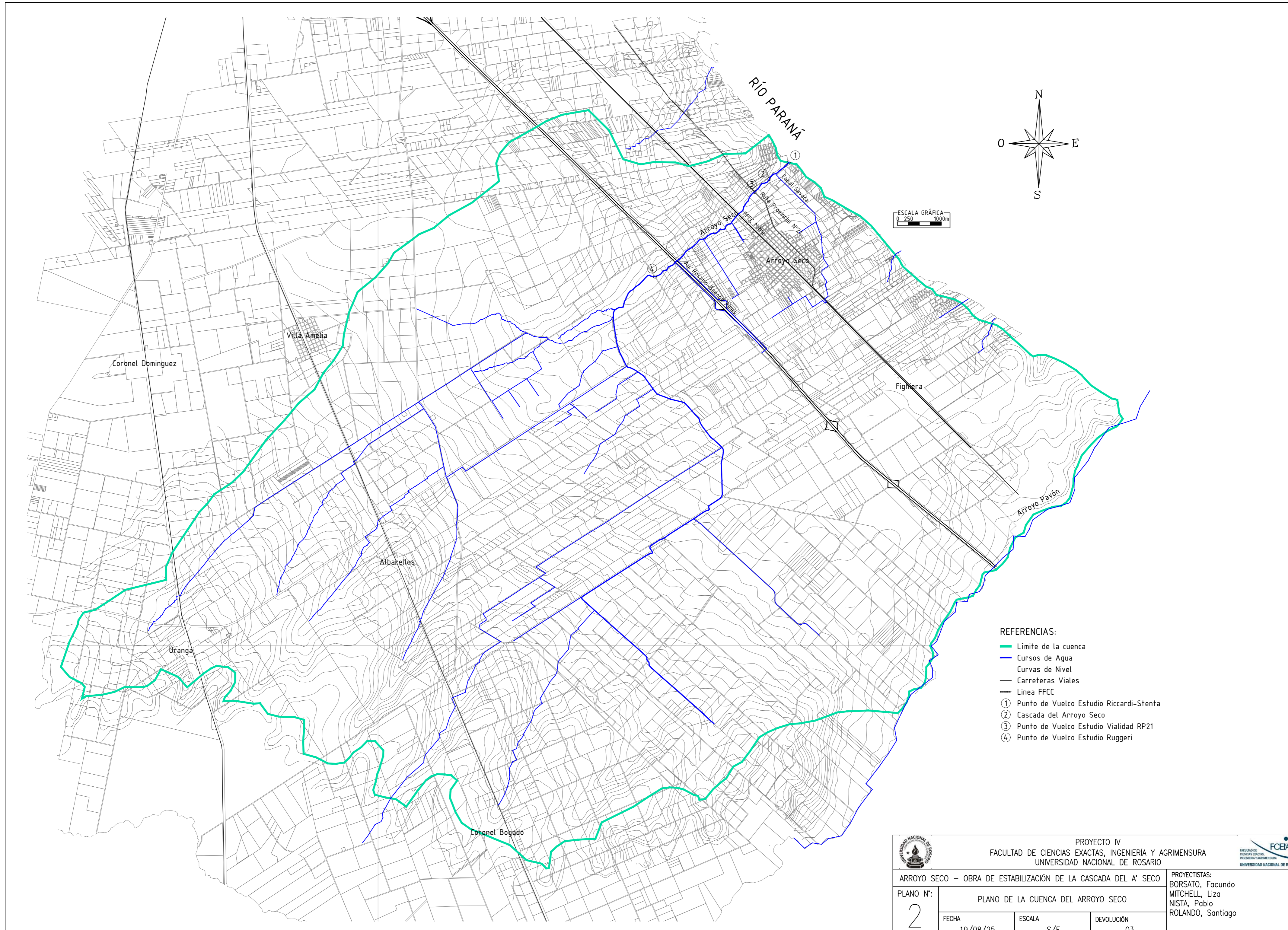
12. PLANOS



LISTADO DE PLANOS



- PLANO 1: PLANO DE IMPLANTACIÓN
- PLANO 2: PLANO DE LA CUENCA DEL ARROYO SECO
- PLANO 3: PLANIMETRÍA
- PLANO 4: PERFIL LONGITUDINAL
- PLANO 5: PERFILES TRANSVERSALES CAUCE
 - 5.A, 5.B y 5.C: PERFILES AGUAS ARRIBA DEL SALTO
 - 5.D y 5.E: PERFILES AGUAS ABAJO DEL SALTO
- PLANO 6: PLANTA SUPERIORES DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN
- PLANO 7: VISTA Y CORTE DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN
- PLANO 8: CORTE DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN
- PLANO 9: DETALLE DE ARMADURA
- PLANO 10: DETALLE DE ARMADURA-VINCULACIONES
- PLANO 11: ZONA IMPLANTACIÓN VETIVER PROTECCIÓN BARRANCA
- PLANO 12: PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN

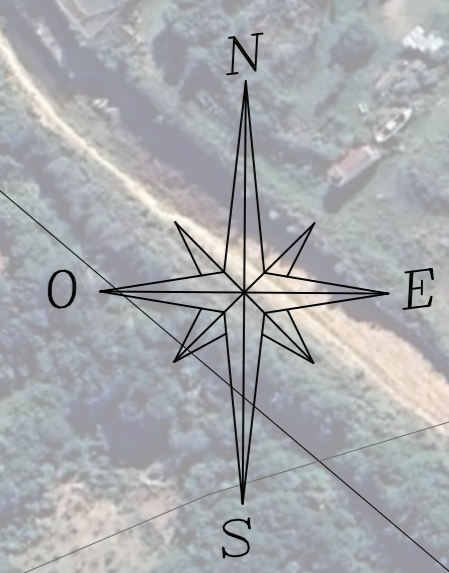
| | | | | |
|---|-----------------------|--|------------|--|
|  | | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | |  |
| | | ARROYO SECO – OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A° SECO | | |
| PLANO N°: | PLANO DE IMPLANTACIÓN | | | PROYECTISTAS: BORSATO, Facundo MITCHELL, Liza NISTA, Pablo ROLANDO, Santiago |
| 1 | FECHA | ESCALA | DEVOLUCIÓN | |
| | 19/08/25 | S/E | 03 | |



ESCALA GRÁFICA
0 250 1000m



- REFERENCIAS:**
- Límite de la cuenca
 - Cursos de Agua
 - Curvas de Nivel
 - Carreteras Viales
 - Línea FFCC
 - ① Punto de Vuelco Estudio Riccardi-Stenta
 - ② Cascada del Arroyo Seco
 - ③ Punto de Vuelco Estudio Vialidad RP21
 - ④ Punto de Vuelco Estudio Ruggeri

| | | | | |
|---|--|------------------|--|---|
|  | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | | |  |
| | ARROYO SECO – OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A' SECO | | | |
| PLANO N°: 2 | PLANO DE LA CUENCA DEL ARROYO SECO | | PROYECTISTAS: BORSATO, Facundo MITCHELL, Liza NISTA, Pablo ROLANDO, Santiago | |
| FECHA 19/08/25 | ESCALA S/E | DEVOLUCIÓN 03 | | |

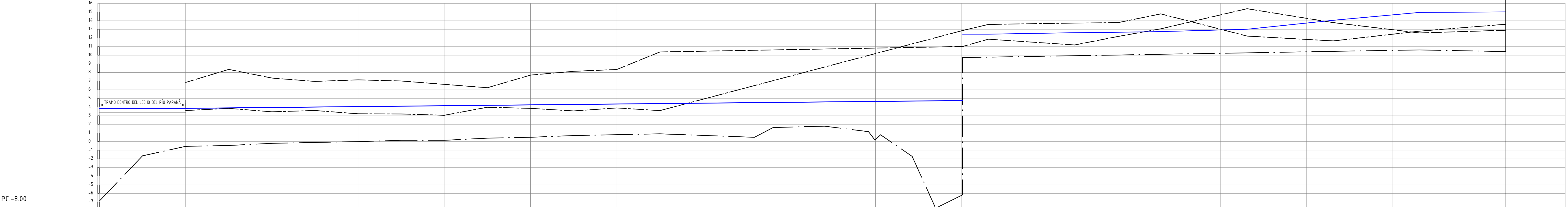


- REFERENCIAS
- Valle de Inundación
 - Fondo de Canal Propuesto
 - - - Eje canal existente
 - - - Eje cauce dragado
 - Margen canal existente
 - Curvas de Nivel

NOTA: Progresivas en metros



| | | | | |
|---|---------------|--|--|---|
|  | | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | |  |
| | | ARROYO SECO – OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A° SECO | | |
| PLANO N°: 3 | PLANIMETRÍA | | | |
| FECHA 19/08/25 | ESCALA 1:2 | DEVOLUCIÓN 03 | | |

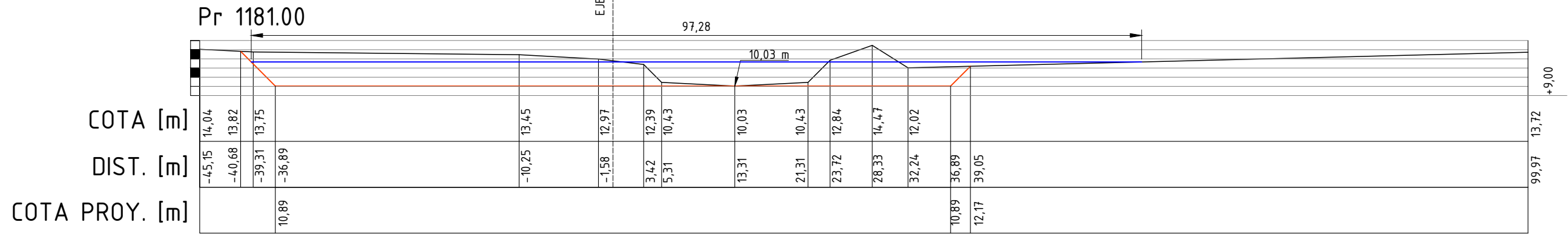
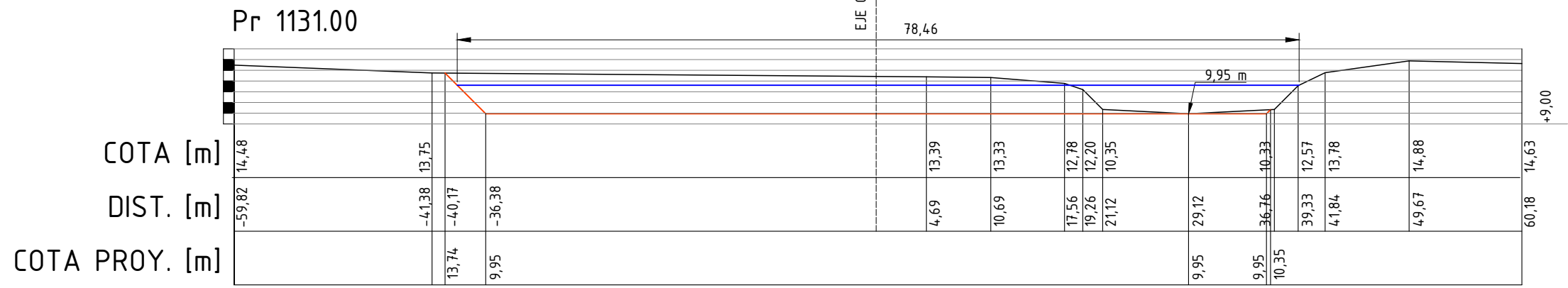
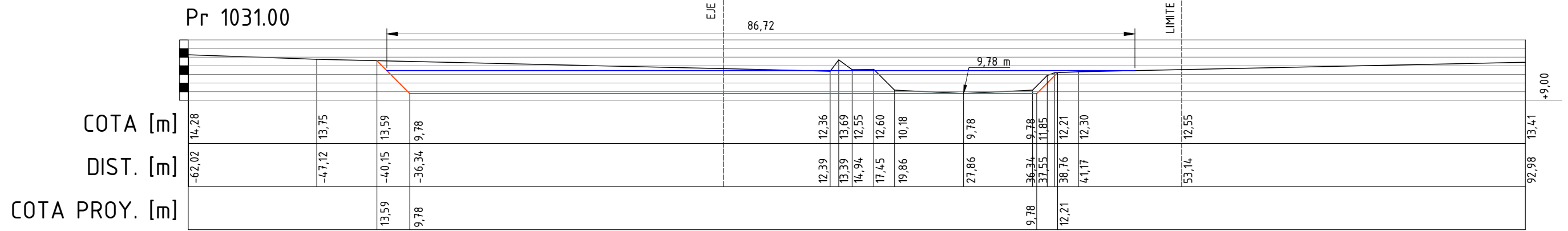
ALTIMETRIA



| PROGRESIVAS [m] | 0.00 | 50.00 | 100.00 | 150.00 | 200.00 | 250.00 | 300.00 | 350.00 | 400.00 | 450.00 | 500.00 | 550.00 | 600.00 | 650.00 | 759.70 | 781.35 | 840.85 | 899.50 | 905.90 | 942.60 | 969.80 | 1001.00 | 1031.00 | 1131.00 | 1181.00 | 1231.00 | 1331.00 | 1431.00 | 1531.00 | 1631.00 | | | | |
|---------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|--|
| COTAS PELO DE AGUA | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.90 | 3.95 | 4.00 | 4.05 | 4.10 | 4.15 | 4.20 | 4.25 | 4.30 | 4.35 | 4.40 | 4.51 | 4.53 | 4.59 | 4.65 | 4.66 | 4.69 | 4.72 | 4.76 | 9.78 | 12.44 | 12.61 | 12.66 | 12.74 | 13.01 | 14.05 | 14.96 | 15.02 | | | |
| COTAS TN MÁRGEN DERECHA | | | 6.85 | 8.36 | 7.36 | 6.97 | 7.15 | 7.02 | 6.63 | 6.24 | 7.70 | 8.14 | 8.35 | 10.38 | | | | | | | | | 11.01 | 11.86 | 11.19 | 12.67 | 13.06 | 15.39 | 13.78 | 12.58 | 12.90 | | | |
| COTAS TN MÁRGEN IZQUIERDA | | | 3.60 | 3.85 | 3.45 | 3.60 | 3.22 | 3.20 | 3.05 | 3.98 | 3.85 | 3.55 | 3.90 | 3.59 | | | | | | | | | 12.86 | 13.57 | 13.73 | 13.77 | 14.79 | 12.22 | 11.66 | 10.46 | 10.62 | 13.59 | 10.43 | |
| COTAS FONDO | -6.88 | -1.65 | -0.55 | -0.45 | -0.20 | -0.10 | 0.00 | 0.15 | 0.15 | 0.40 | 0.50 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 0.50 | 1.63 | 1.79 | 0.17 | 0.79 | -1.71 | -7.71 | -6.17 | 9.78 | 13.57 | 9.95 | 10.03 | 10.12 | 10.28 | 10.46 | 10.62 | 10.43 | | | |

NOTA: COTAS REFERIDAS AL CERO IGN

| | | | | |
|---|-----------------------------------|--|--|--|
|  | | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | |  |
| ARROYO SECO - OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A' SECO | | | | |
| PLANO N°: 4 | PERFIL LONGITUDINAL CAUCE | | | PROYECTISTAS: BORSATO, Facundo MITCHELL, Liza NISTA, Pablo ROLANDO, Santiago |
| FECHA: 19/08/25 | ESCALA: V: 1/2.000 H: 1/20.000 | DEVOLUCIÓN: 03 | | |





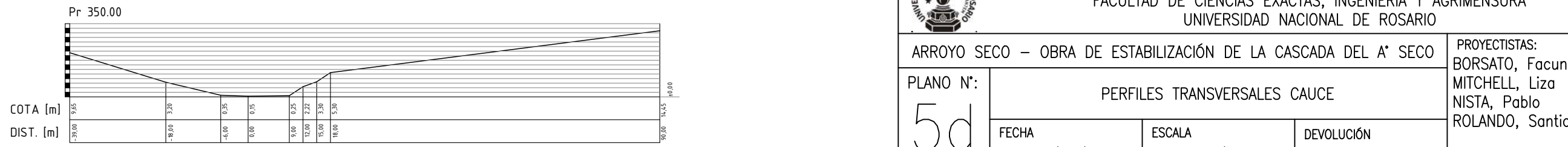
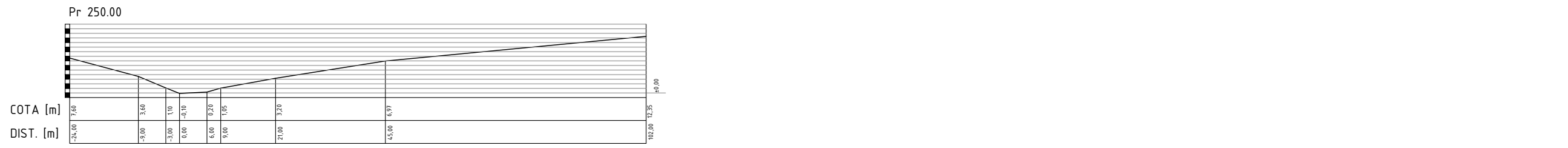
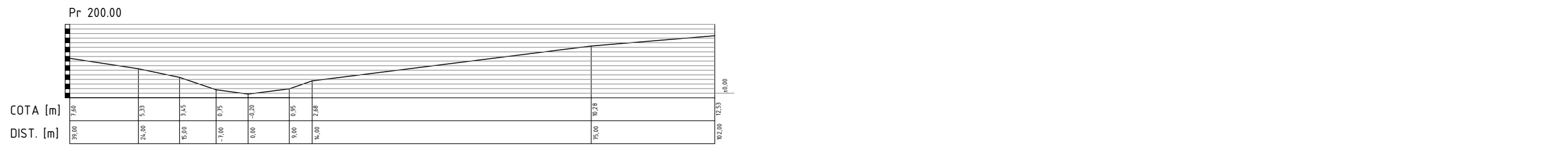
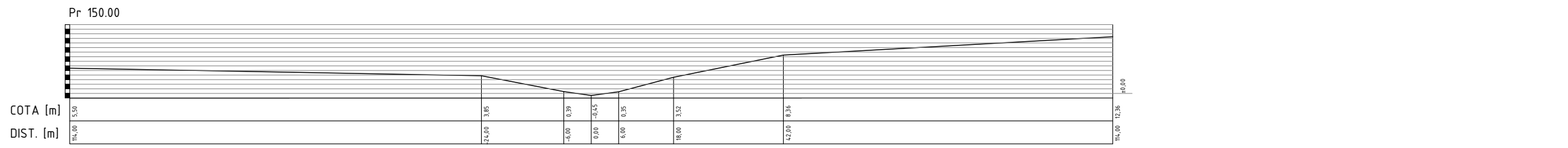
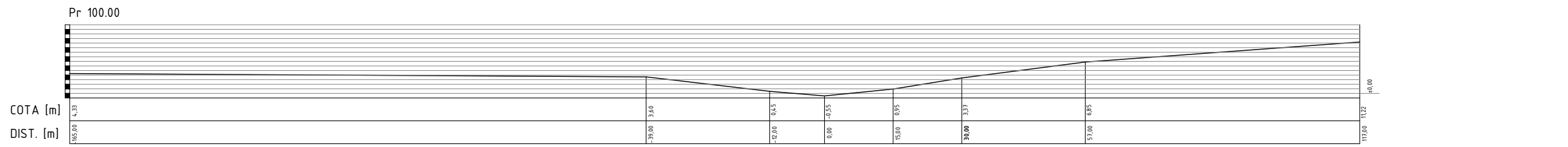
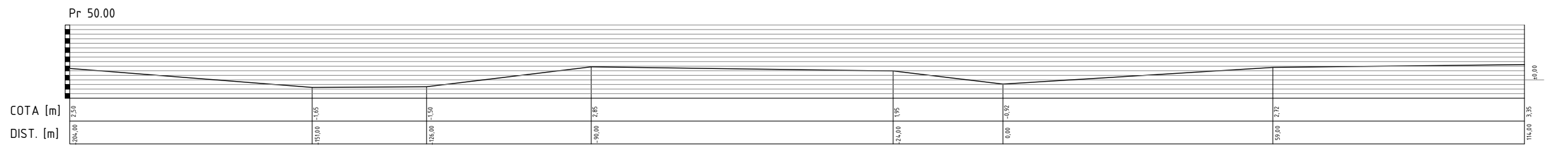
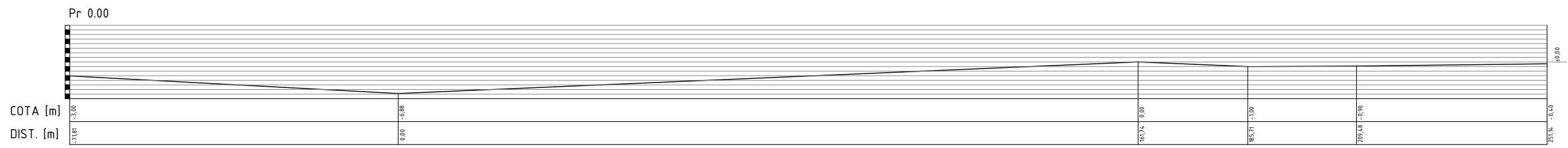
REFERENCIAS

- Valle de Inundación
- Fondo de Canal Propuesto



NOTAS:

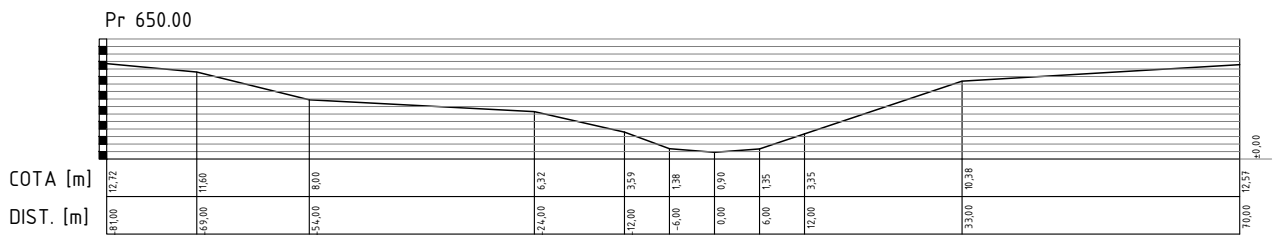
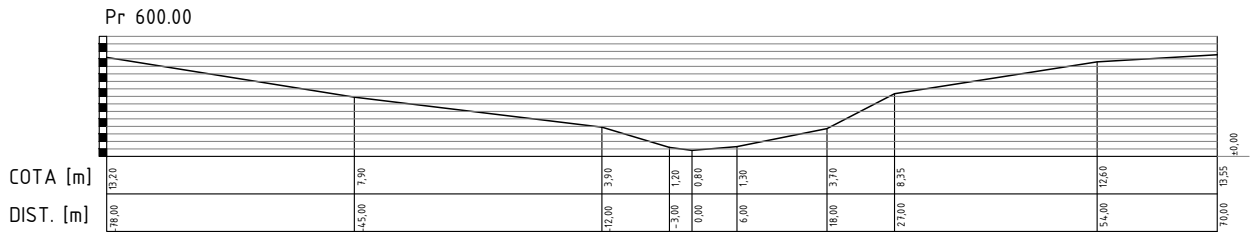
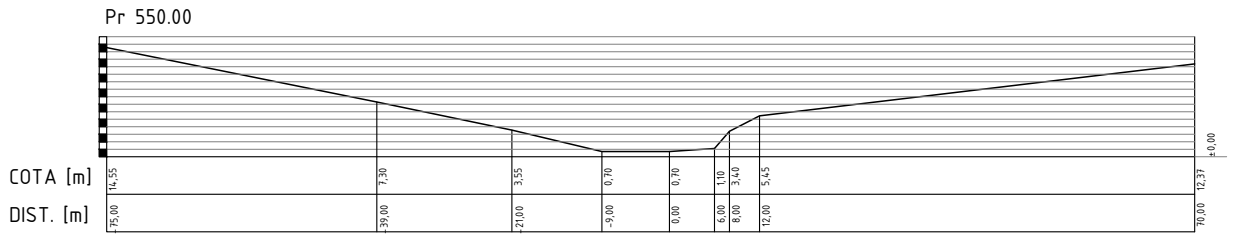
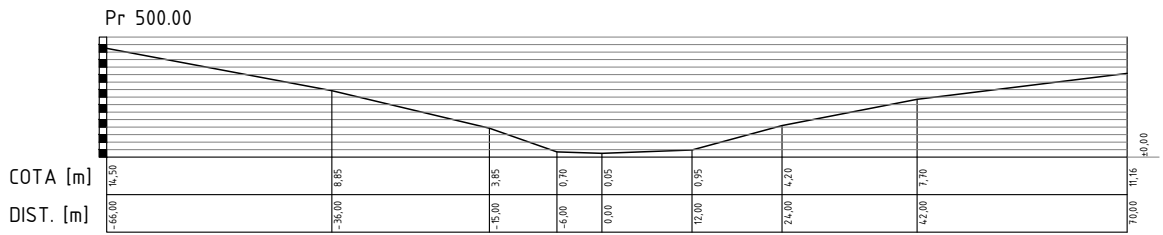
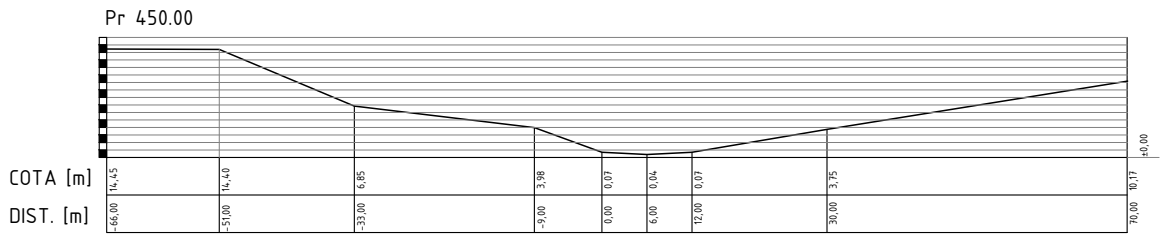
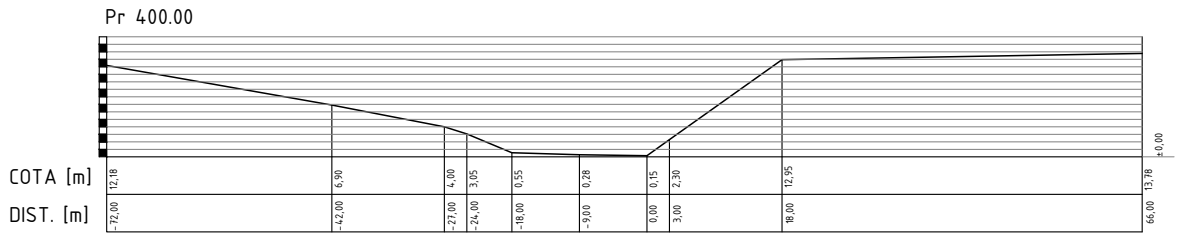
- PROGRESIVAS EN METROS
- COTAS REFERIDAS AL CERO IGN

| | | | | |
|---|--|-----------------|------------------|---|
|  | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | | |  |
| | ARROYO SECO – OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A° SECO | | | |
| PLANO N°: 5a | PERFILES TRANSVERSALES CAUCE | | | |
| | FECHA 19/08/25 | ESCALA 1:500 | DEVOLUCIÓN 03 | |



- NOTAS:
- PROGRESIVAS EN METROS
 - COTAS REFERIDAS AL CERO IGN

| | | | | |
|---|---|---------------|------------------|---|
|  | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | | |  |
| | ARROYO SECO – OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A° SECO | | | |
| PLANO N°: 5d | PERFILES TRANSVERSALES CAUCE | | | |
| | FECHA 19/08/25 | ESCALA S/E | DEVOLUCIÓN 03 | |



NOTAS:

- PROGRESIVAS EN METROS
- COTAS REFERIDAS AL CERO IGN



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



ARROYO SECO – OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A° SECO

PROYECTISTAS:
 BORSATO, Facundo
 MITCHELL, Liza
 NISTA, Pablo
 ROLANDO, Santiago

PLANO N°:

5e

PERFILES TRANSVERSALES CAUCE

FECHA

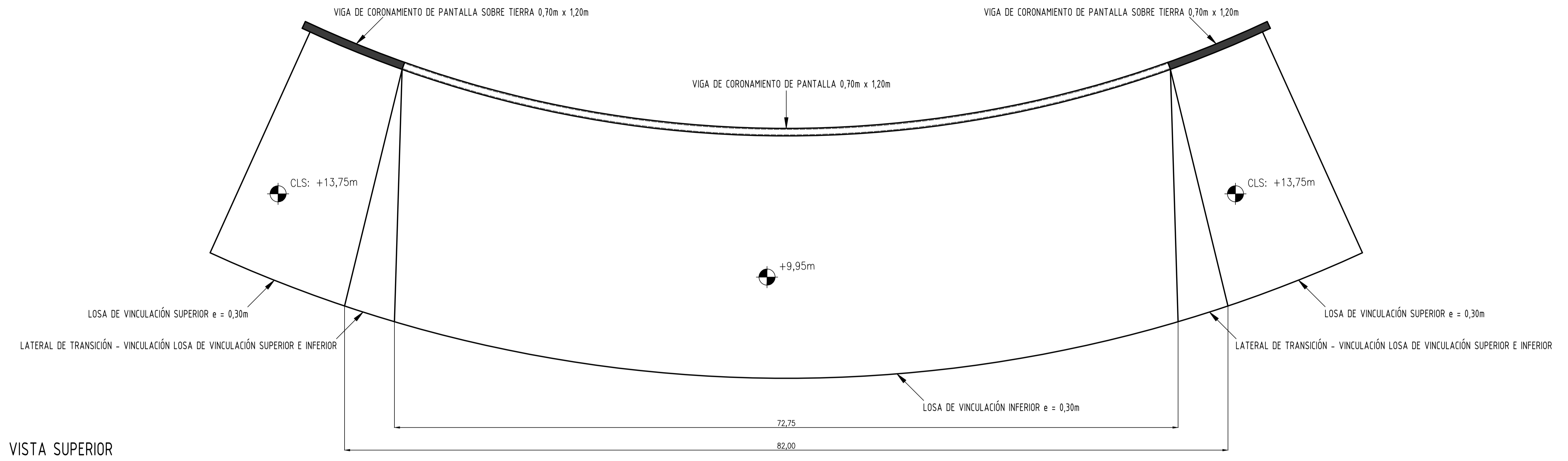
19/08/25

ESCALA

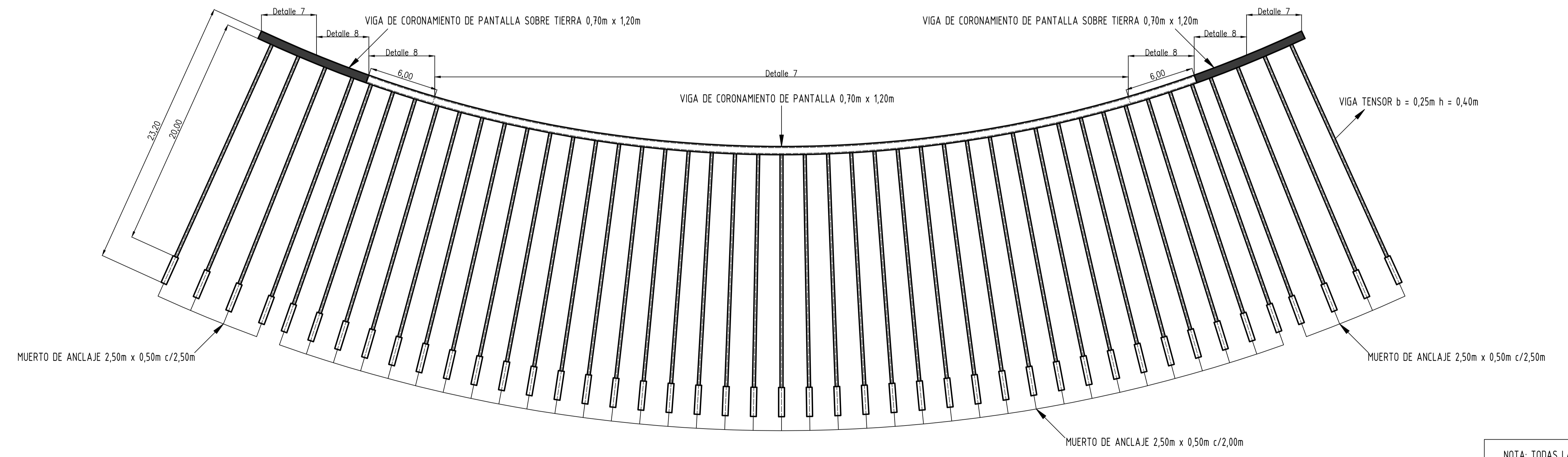
S/E

DEVOLUCIÓN

03





VISTA SUPERIOR

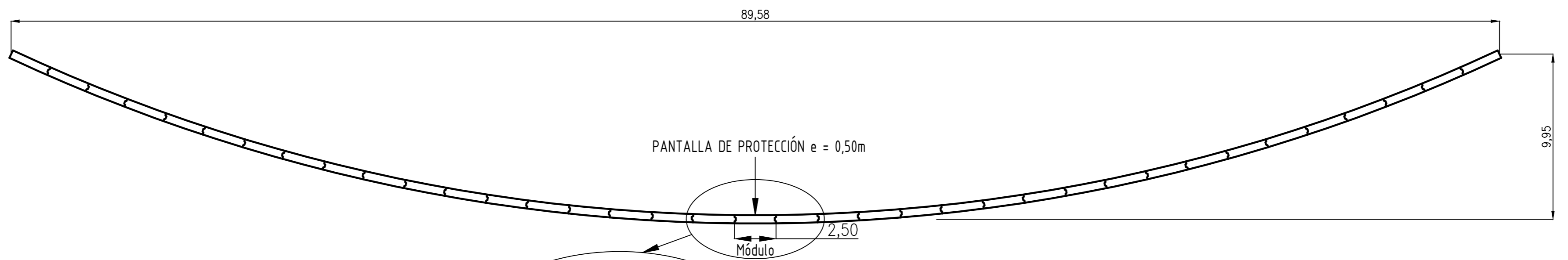
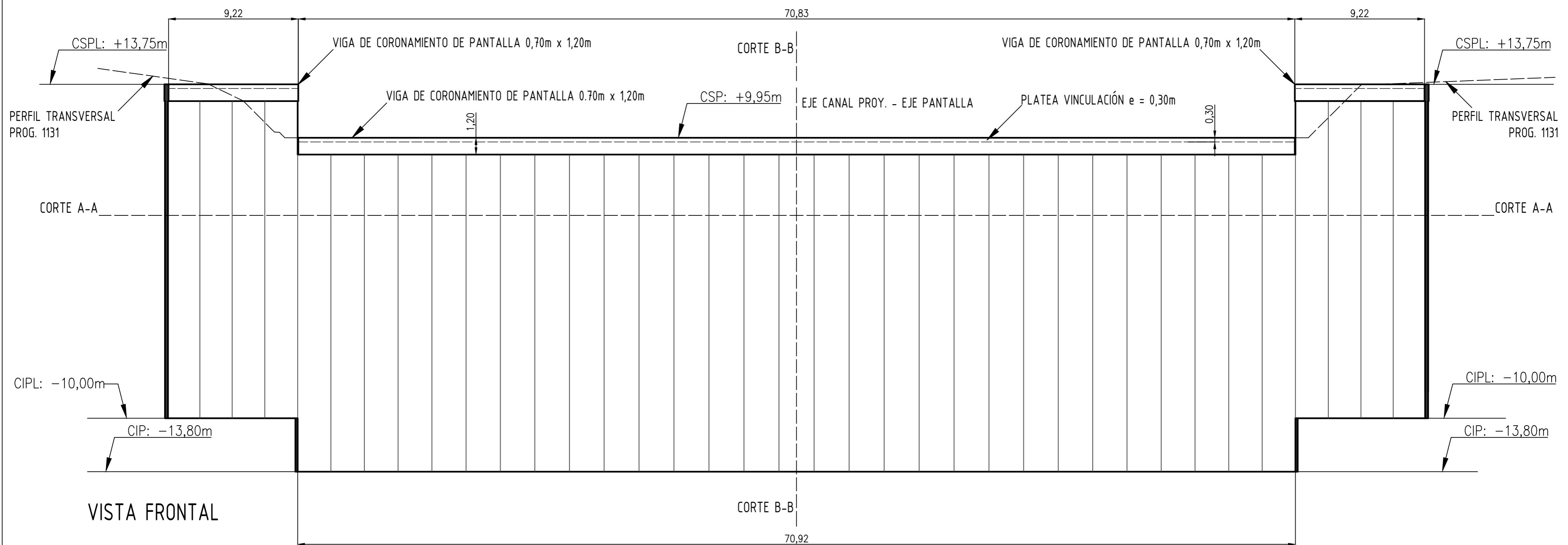


VISTA SUPERIOR POR DEBAJO DE LAS LOSAS DE VINCULACIÓN

NOTA: TODAS LA COTAS SON REFERIDAS AL IGN

REFERENCIAS:
 - CLS: COTA DE LOSA SUPERIOR
 - CLI: COTA DE LOSA INFERIOR

| | | | | |
|---|---|--|--|---|
|  | | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | |  |
| | | ARROYO SECO - OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A° SECO | | |
| PLANO N°: 6 | PLANTAS SUPERIORES DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN | | PROYECTISTAS: BORSATO, Facundo MITCHELL, Liza NISTA, Pablo ROLANDO, Santiago | |
| FECHA: 19/08/25 | ESCALA: 1:200 | DEVOLUCIÓN: 03 | | |

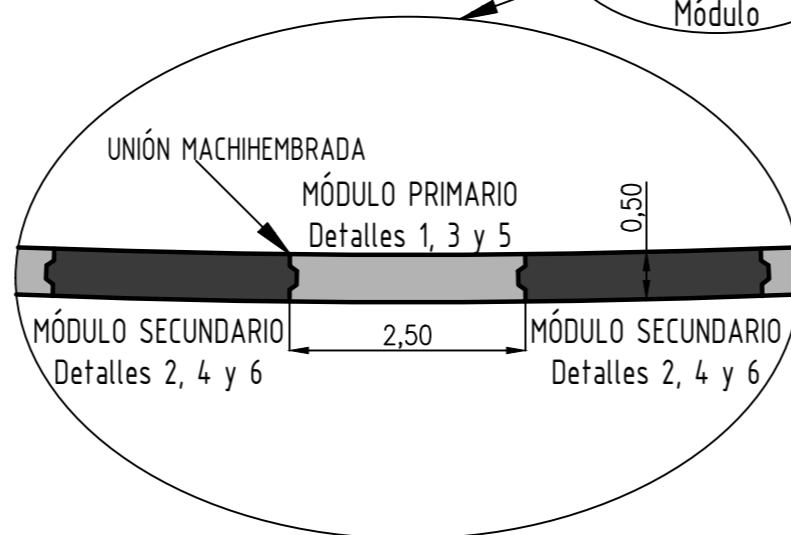


CORTE A-A



NOTA: TODAS LA COTAS SON REFERIDAS AL IGN

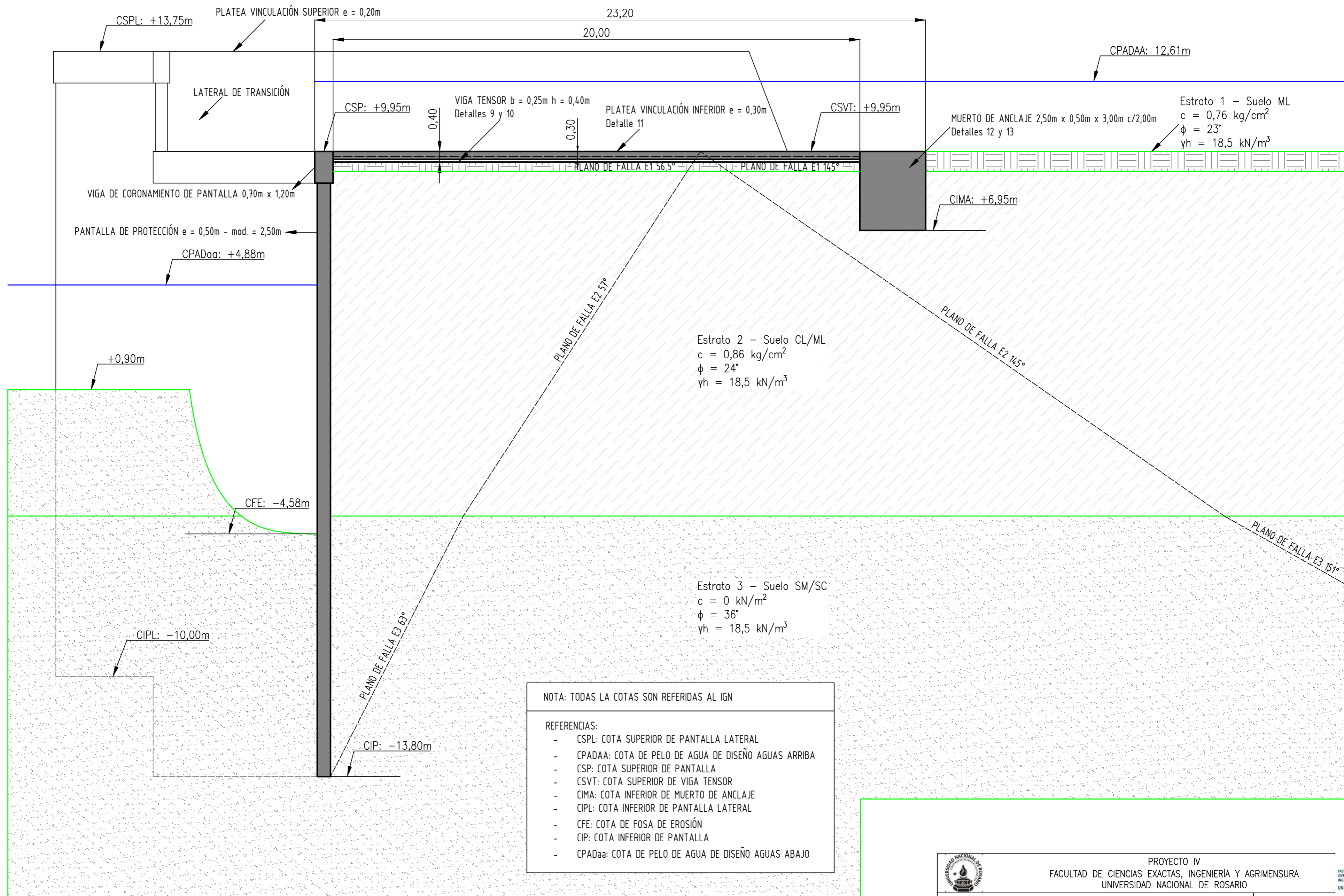
REFERENCIAS:

- CSPL: COTA SUPERIOR DE PANTALLA LATERAL
- CSP: COTA SUPERIOR DE PANTALLA
- CIPL: COTA INFERIOR DE PANTALLA LATERAL
- CIP: COTA INFERIOR DE PANTALLA



DETALLE DEL ENSAMBLE DEL MURO COLADO - ESC. 1:40

| | | | | |
|---|--|--|--|---|
|  | | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | |  |
| | | ARROYO SECO - OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A' SECO | | |
| PLANO N°: 7 | VISTA Y CORTE DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN | | | |
| FECHA 19/08/25 | ESCALA 1:200 | DEVOLUCIÓN 03 | | |



NOTA: TODAS LA COTAS SON REFERIDAS AL IGN

REFERENCIAS:

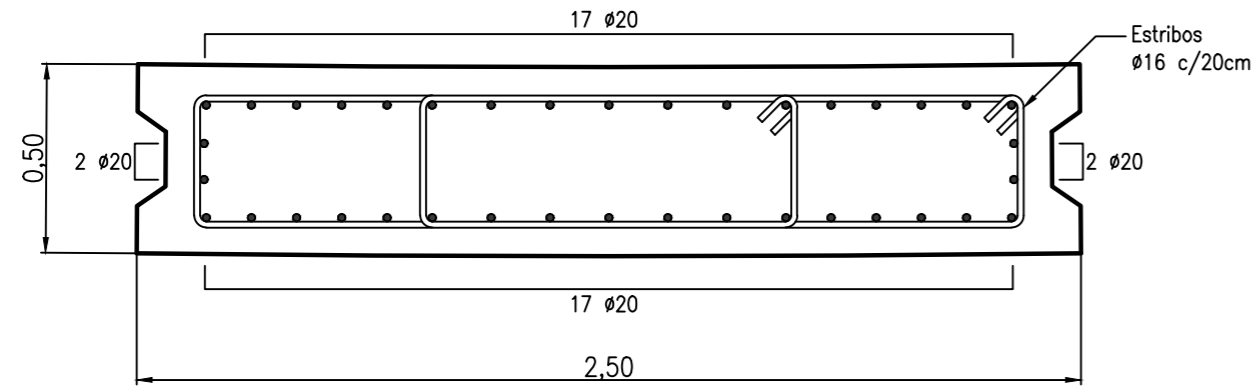
- CSPL: COTA SUPERIOR DE PANTALLA LATERAL
- CPADAA: COTA DE PELO DE AGUA DE DISEÑO AGUAS ARRIBA
- CSP: COTA SUPERIOR DE PANTALLA
- CSVT: COTA SUPERIOR DE VIGA TENSOR
- CIMA: COTA INFERIOR DE MUERTO DE ANCLAJE
- CIPL: COTA INFERIOR DE PANTALLA LATERAL
- CFE: COTA DE FOSA DE EROSIÓN
- CIP: COTA INFERIOR DE PANTALLA
- CPADaa: COTA DE PELO DE AGUA DE DISEÑO AGUAS ABAJO

CORTE B-B

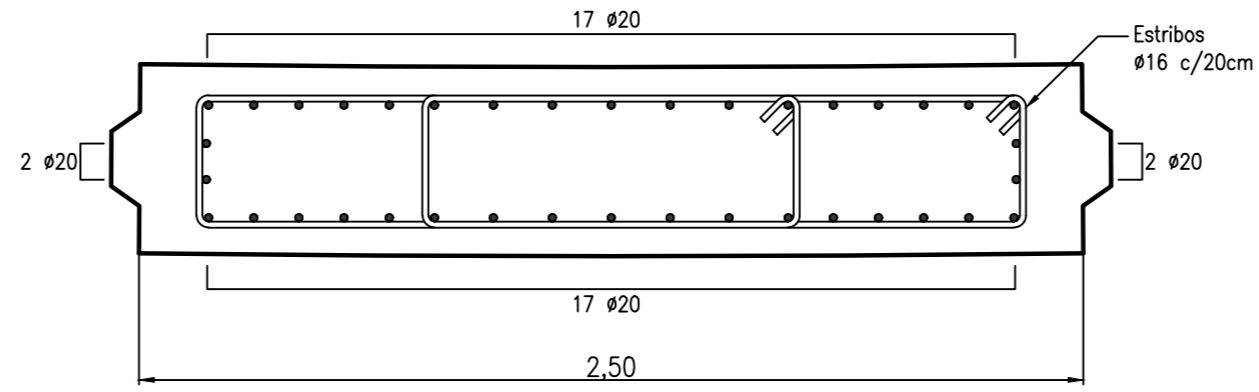
| | | | | |
|-------------------|--|------------------|--|--|
| | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | | | |
| | ARROYO SECO - OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A' SECO | | | |
| PLANO N°: 8 | CORTE DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN | | | |
| FECHA 19/08/25 | ESCALA 1:100 | DEVOLUCIÓN 03 | | |

MURO ZONA CENTRAL

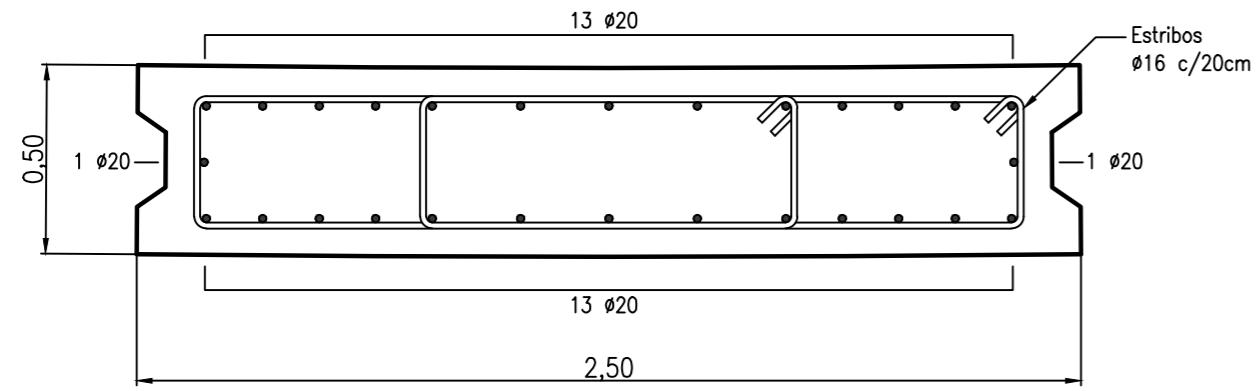
Detalle 1: Muros Colados - Módulo Primario - Zona Central entre cotas -13,80m y -2,20m Escala 1:20



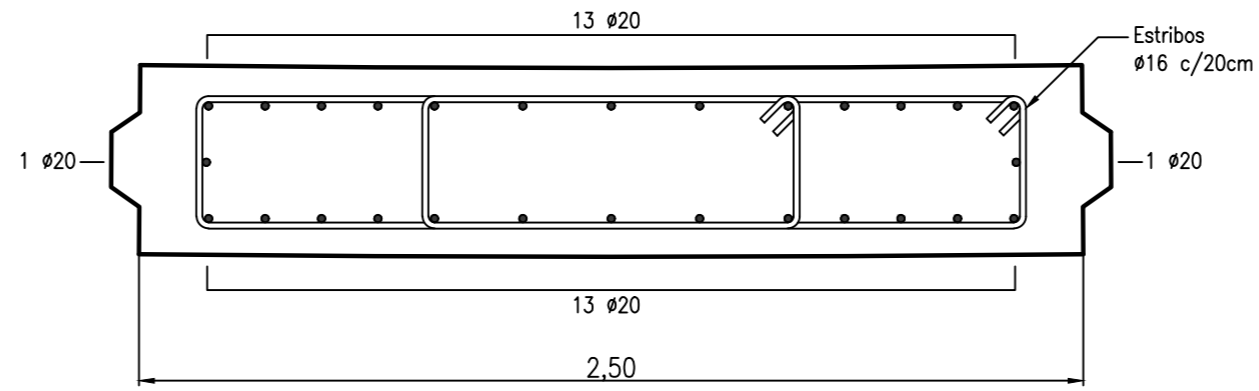
Detalle 2: Muros Colados - Módulo Secundario - Zona Central entre cotas -13,80m y -2,20m Escala 1:20



Detalle 3: Muros Colados - Módulo Primario - Zona Central entre cotas -2,20m y +9,95m Escala 1:20

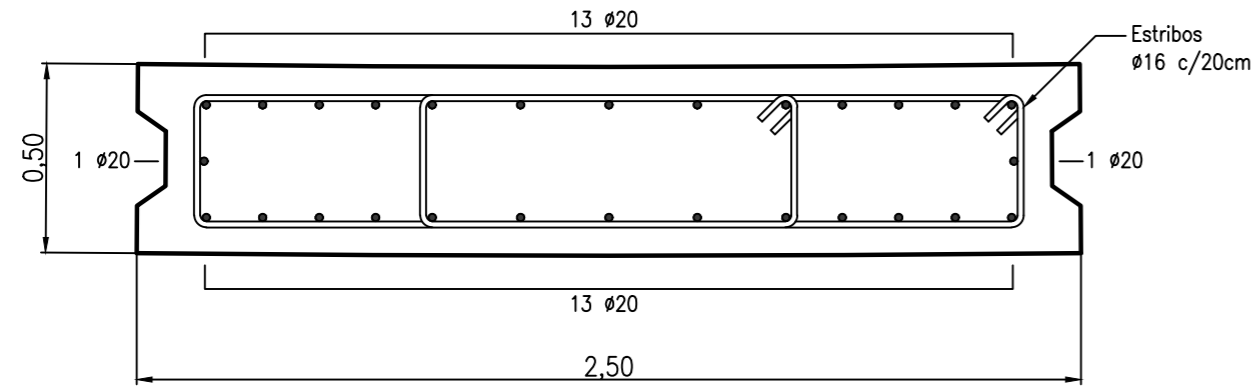


Detalle 4: Muros Colados - Módulo Secundario - Zona Central entre cotas -2,20m y +9,95m Escala 1:20

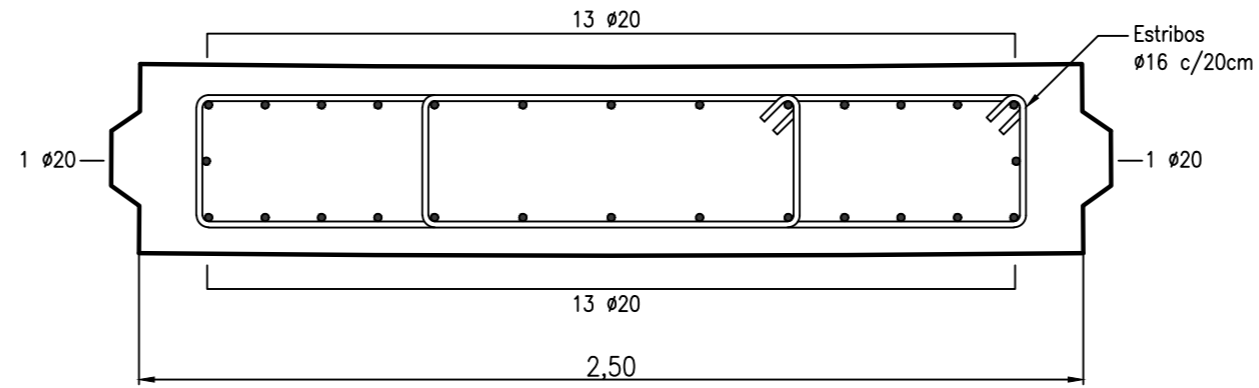


MURO ZONA LATERAL

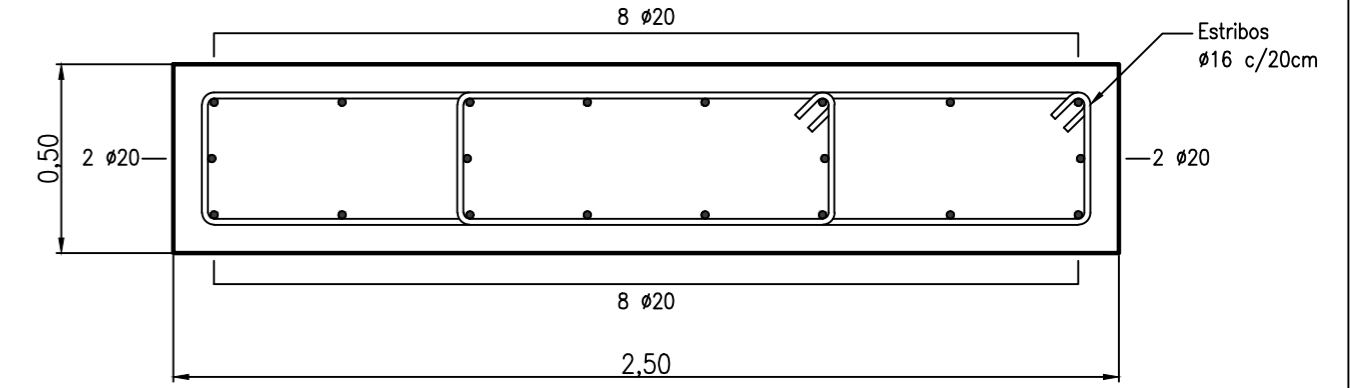
Detalle 5: Muros Colados - Módulo Primario - Zona Lateral Escala 1:20



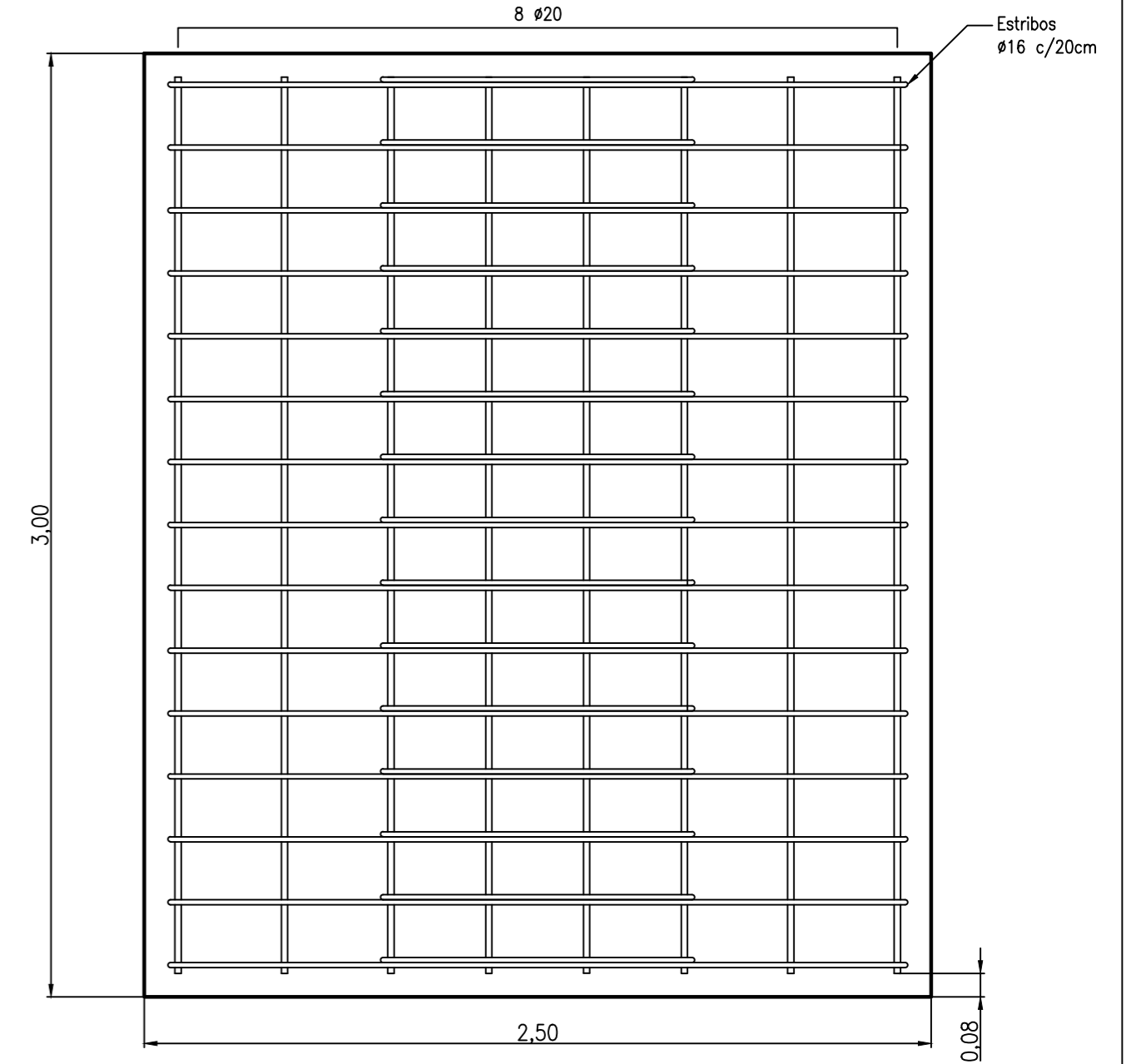
Detalle 6: Muros Colados - Módulo Secundario - Zona Lateral Escala 1:20



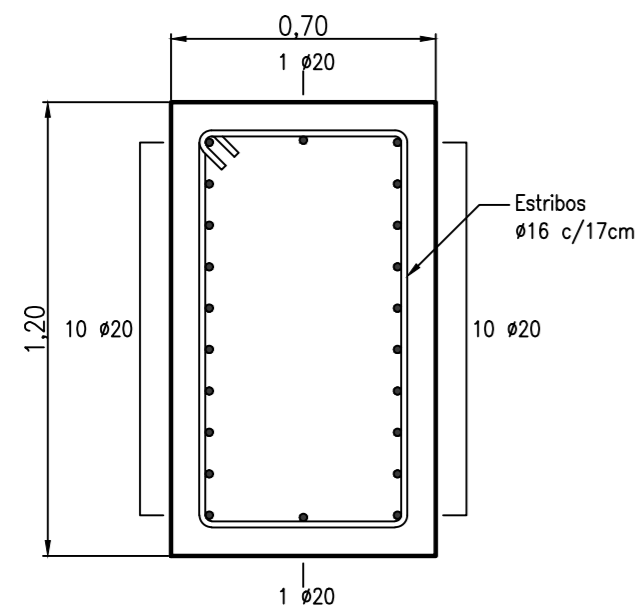
Detalle 12: Muerto de Anclaje - Sección Transversal - Planta Escala 1:20



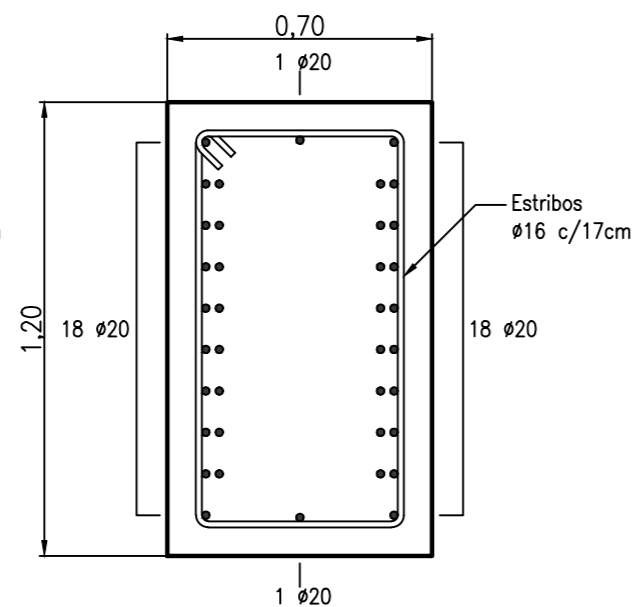
Detalle 13: Muerto de Anclaje - Sección Longitudinal - Corte Escala 1:20



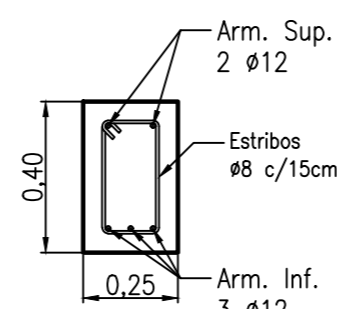
Detalle 7: Viga de Coronamiento - Zona Central (centro) y Zona Lateral (extremo externo) Escala 1:20



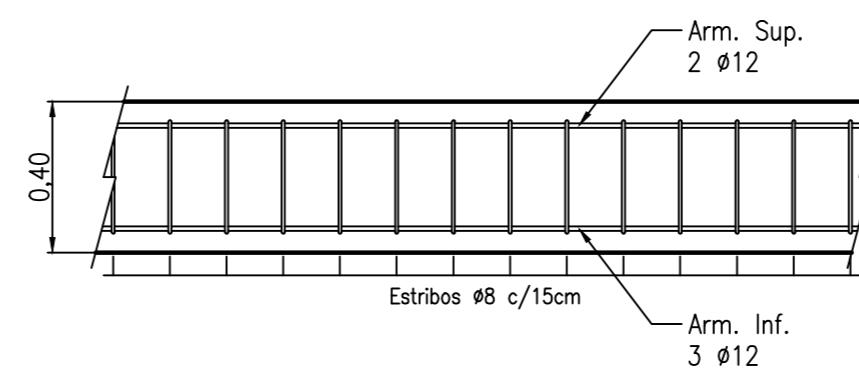
Detalle 8: Viga de Coronamiento - Zona Central (extremos) y Zona Lateral (extremo interno) Escala 1:20



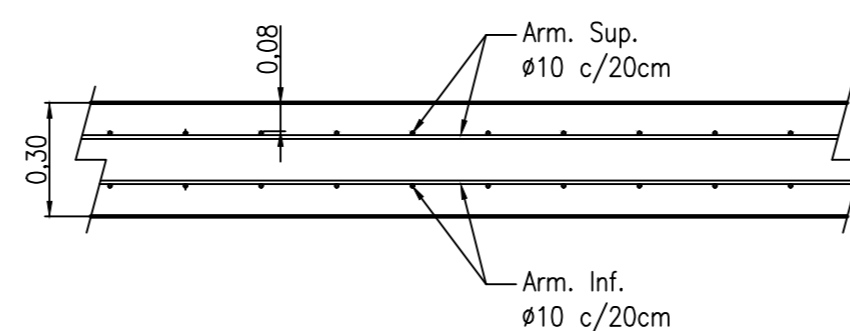
Detalle 9: Viga Tensor - Sección Transversal Escala 1:20



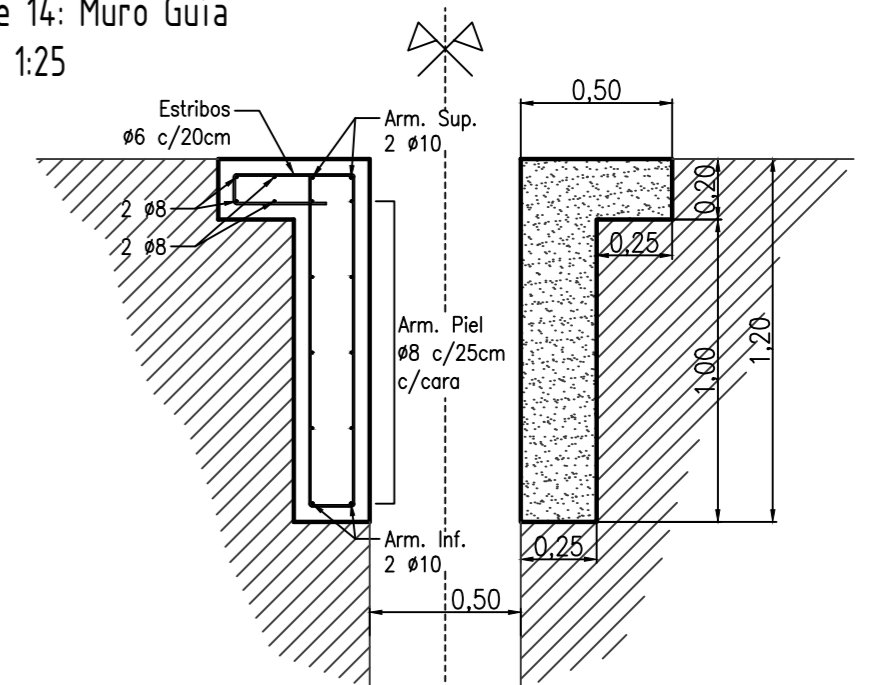
Detalle 10: Viga Tensor - Sección Longitudinal Escala 1:20





Detalle 11: Losa de Vinculación - Sección Longitudinal Escala 1:20

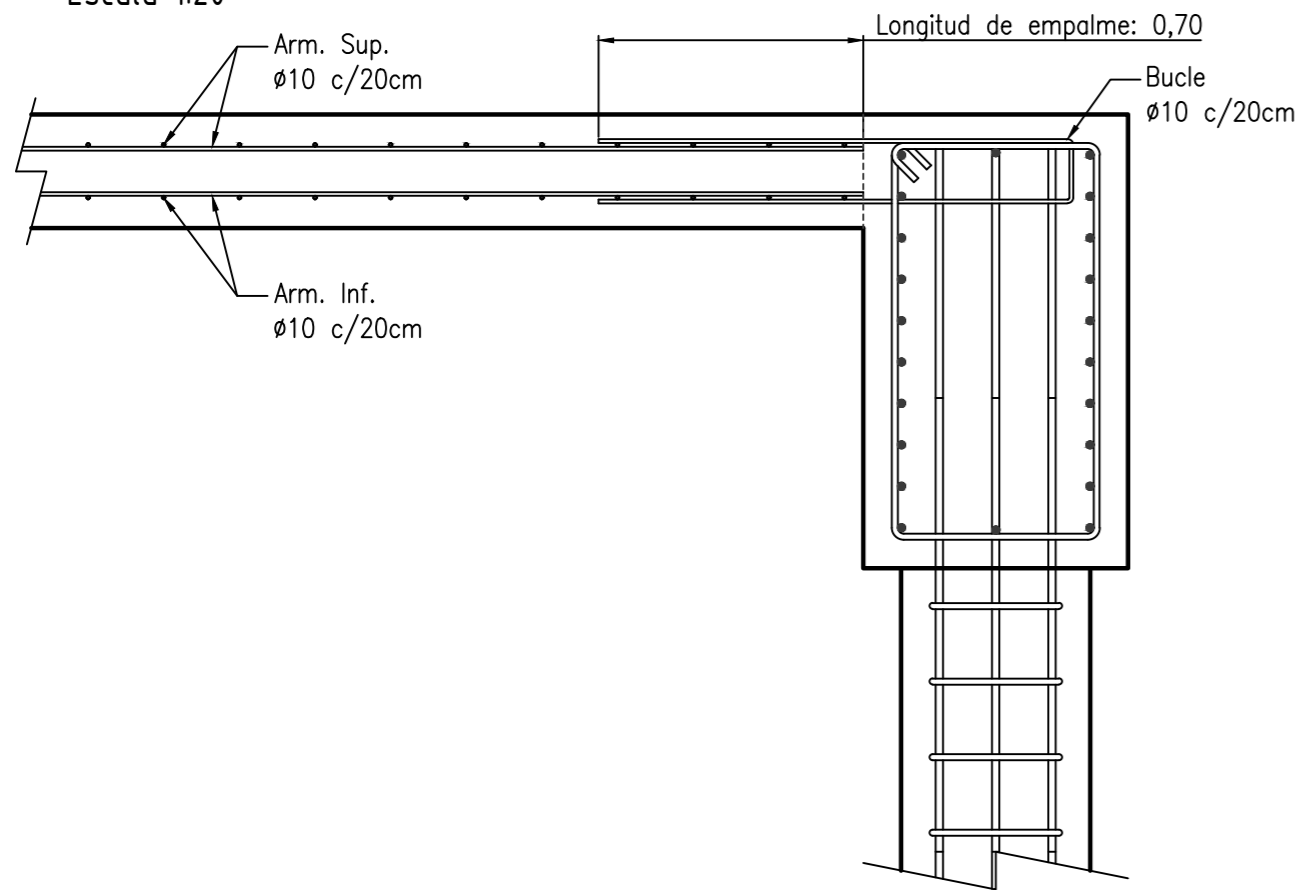


Detalle 14: Muro Guía Escala 1:25

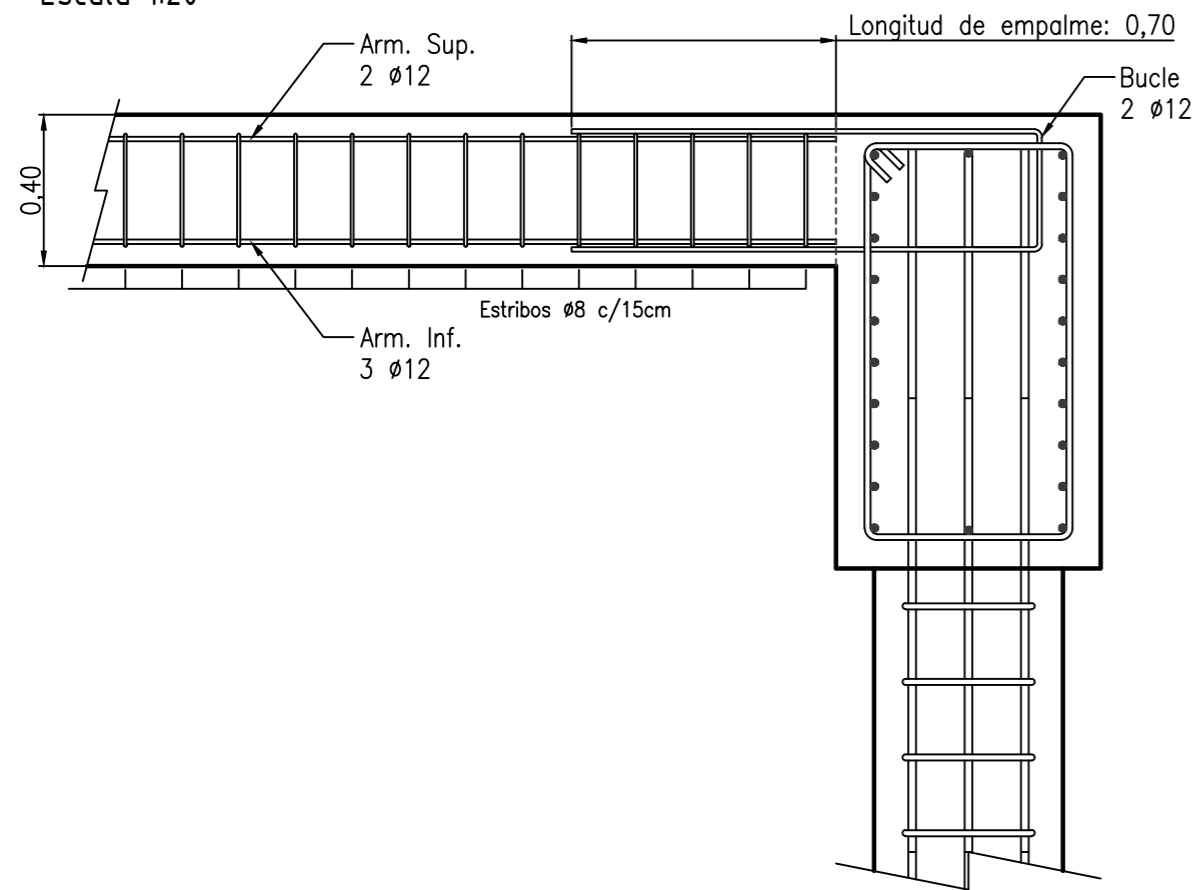


| | | | | |
|---|--|-------------------|--|---|
|  | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | | |  |
| | ARROYO SECO - OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A' SECO | | | |
| PLANO N°: 9 | PLANO DE DETALLE DE ARMADURAS | | | |
| FECHA: 19/08/25 | ESCALA: - | DEVOLUCIÓN: 02 | | |

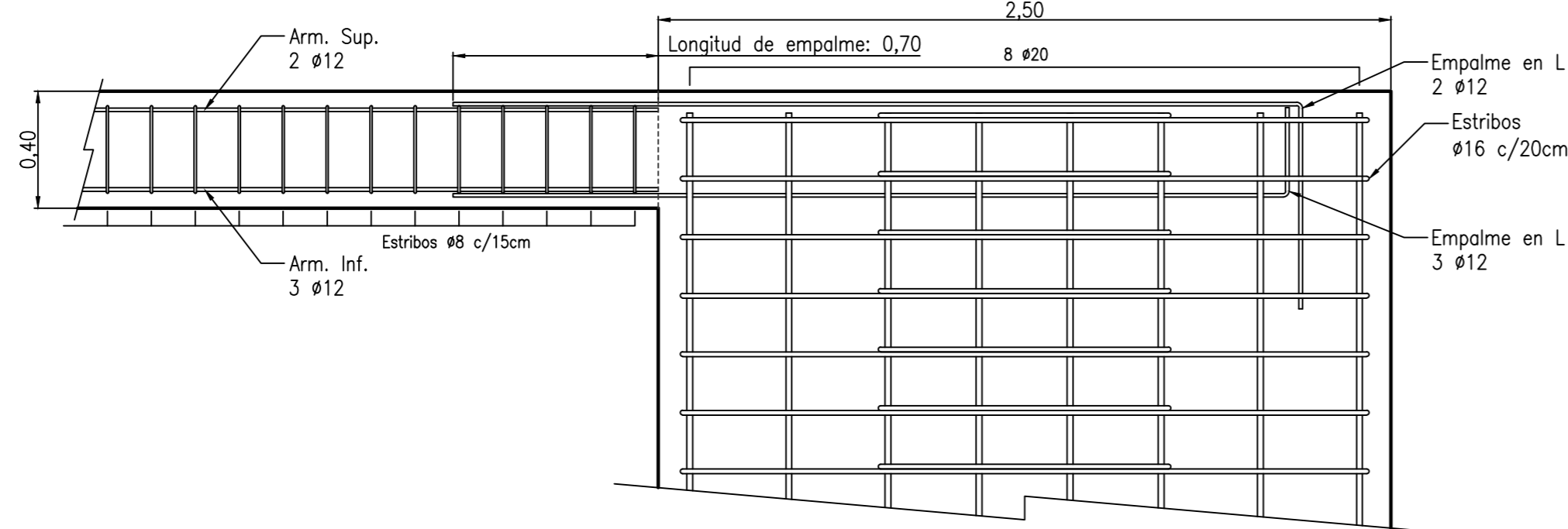
Detalle 15: Vinculación tipo Losa de Vinculación - Viga de Coronamiento
Escala 1:20



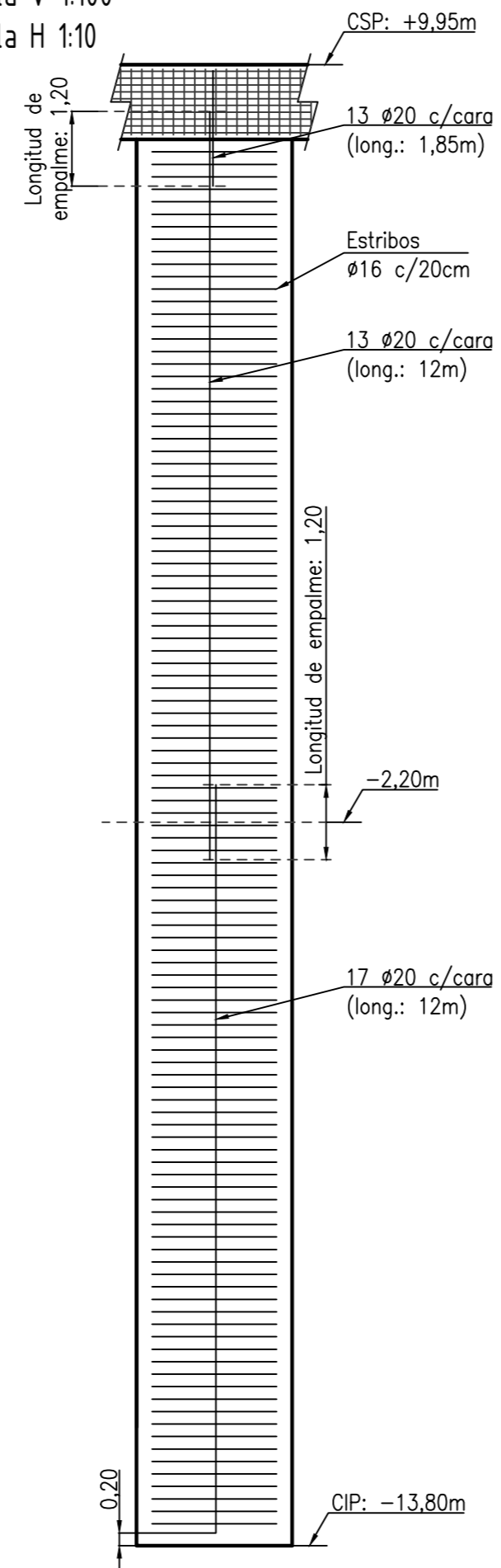
Detalle 16: Vinculación tipo Viga Tensor - Viga de Coronamiento
Escala 1:20



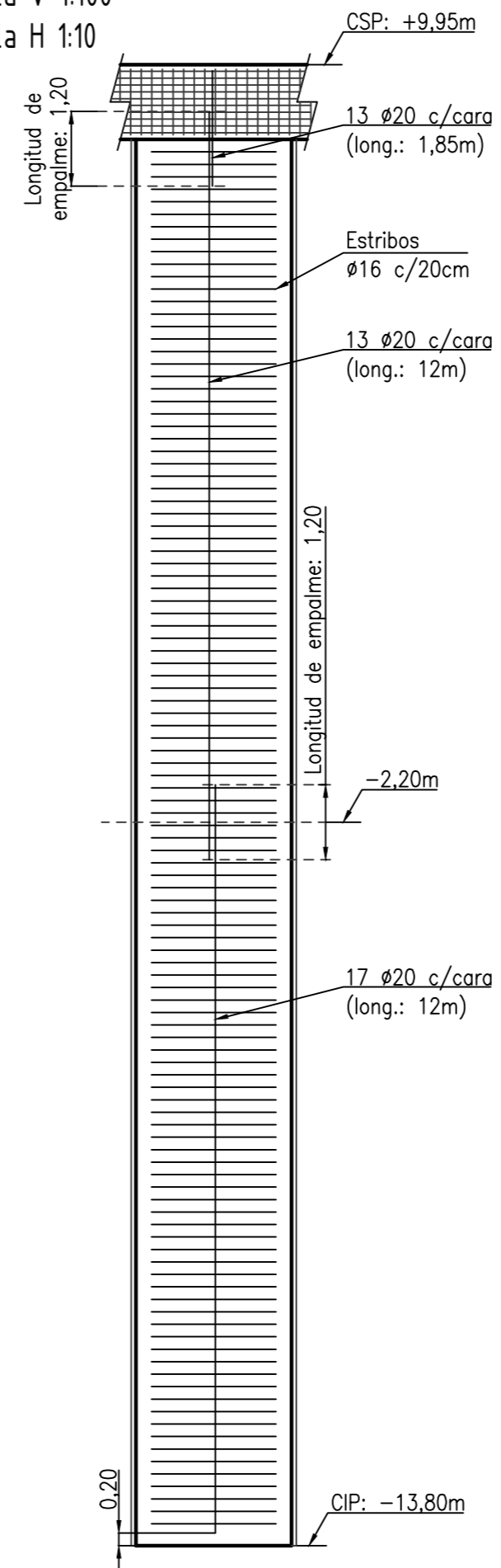
Detalle 17: Vinculación tipo Viga Tensor - Muerto de Anclaje
Escala 1:20



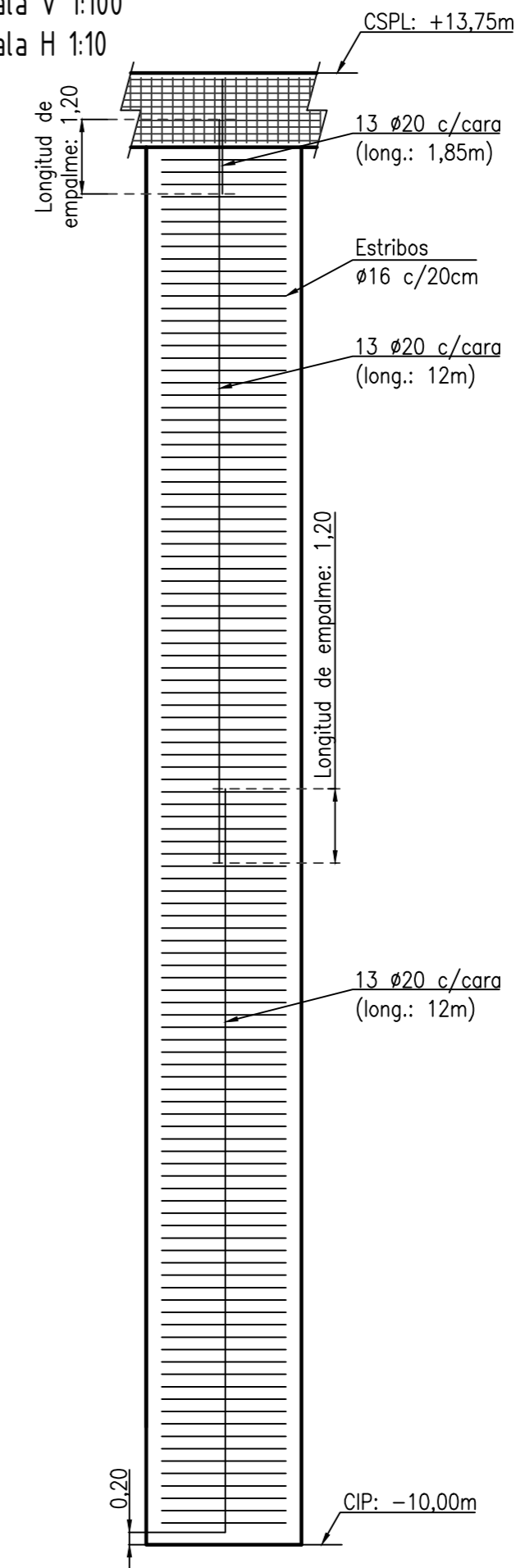
Detalle 18: Muro Central - Módulo Primario
Escala V 1:100
Escala H 1:10



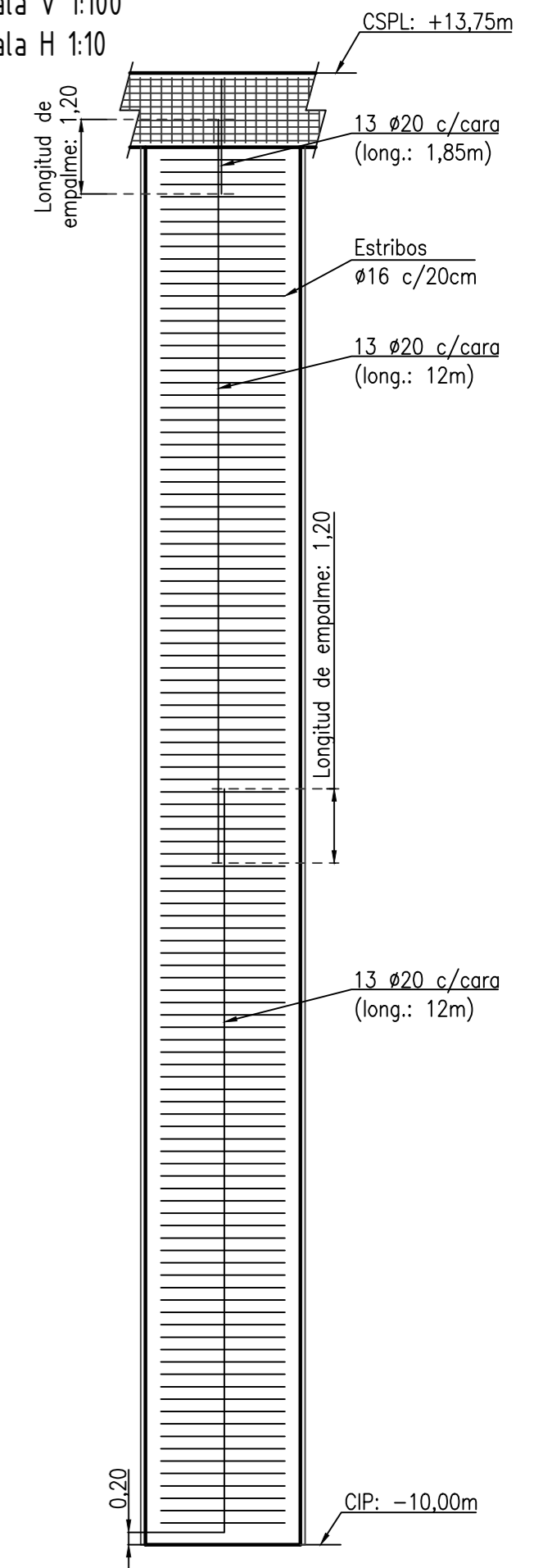
Detalle 19: Muros Central - Módulo Secundario
Escala V 1:100
Escala H 1:10



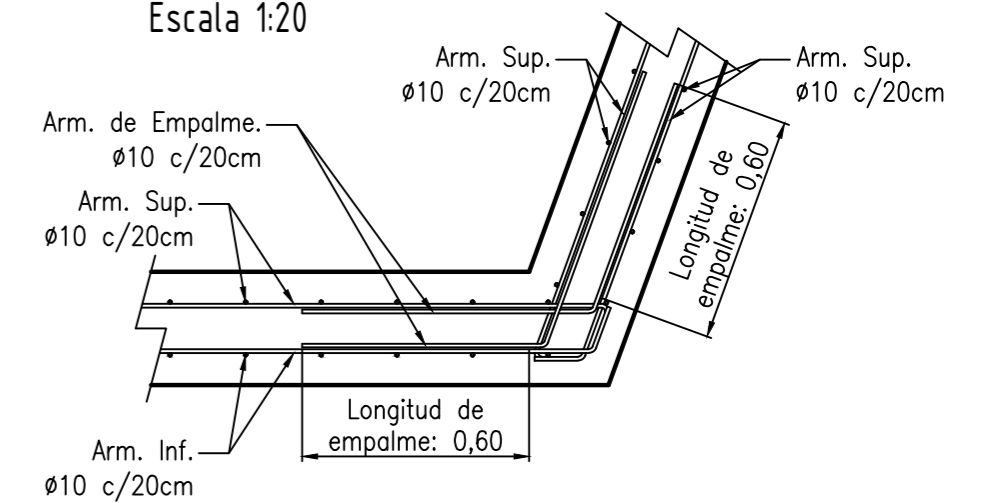
Detalle 20: Muro Lateral - Módulo Primario
Escala V 1:100
Escala H 1:10





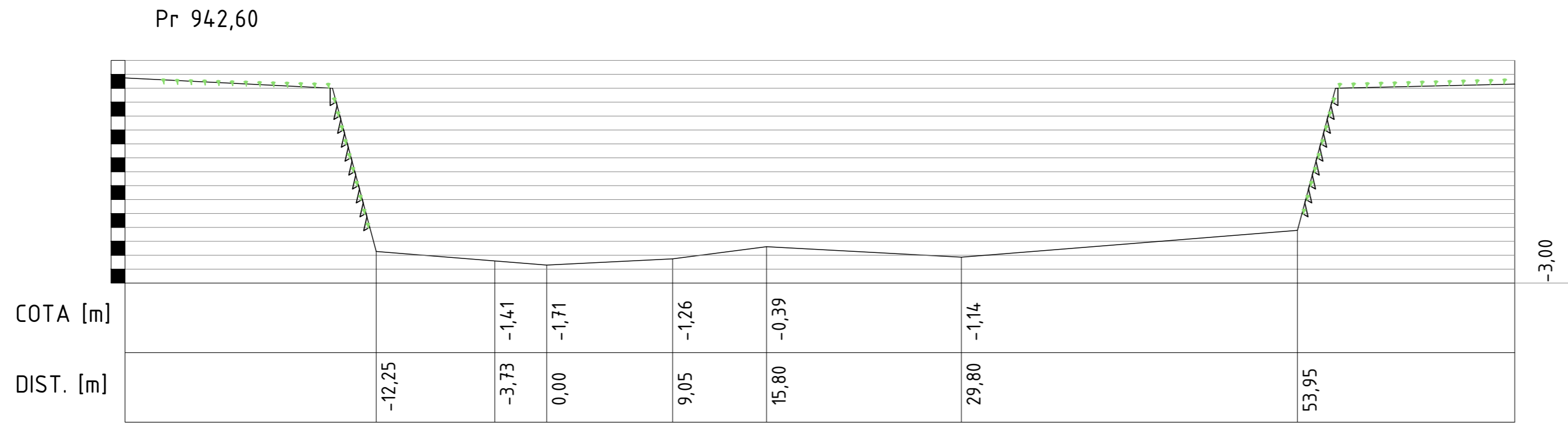
Detalle 21: Muros Lateral - Módulo Secundario
Escala V 1:100
Escala H 1:10



Detalle 22: Vinculación tipo de Losas de Vinculación con Lateral de Transición
Escala 1:20



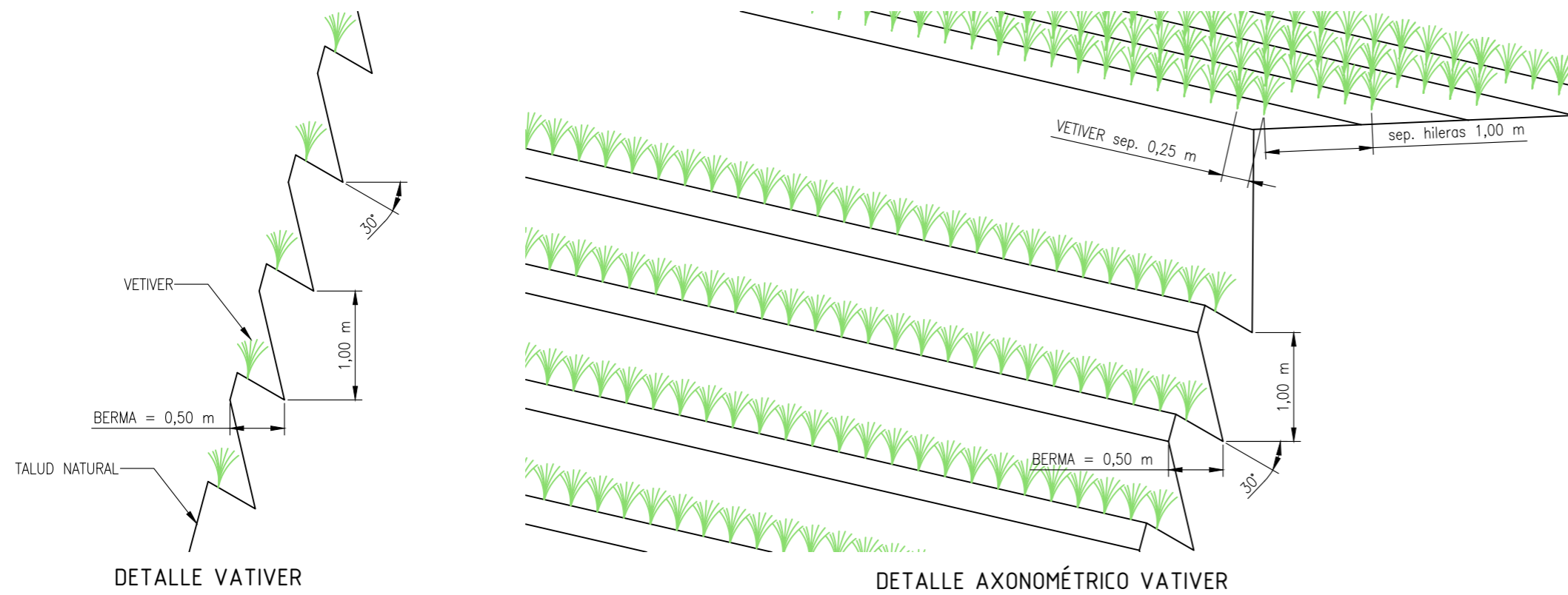
| | | | | |
|---|--------------------|--|-------------------|---|
|  | | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | |  |
| | | ARROYO SECO - OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A' SECO | | |
| PLANO N°: 10 | FECHA: 19/08/25 | ESCALA: - | DEVOLUCIÓN: 01 | |



SECCIÓN TRANSVERSAL DE PR. 942,60 CON IMPLANTACIÓN DE VETIVER



VATIVER (*Chrysopogon Zizanioides*)



PLANIMETRÍA DE ZONA DE IMPLANTACIÓN DE VATIVER

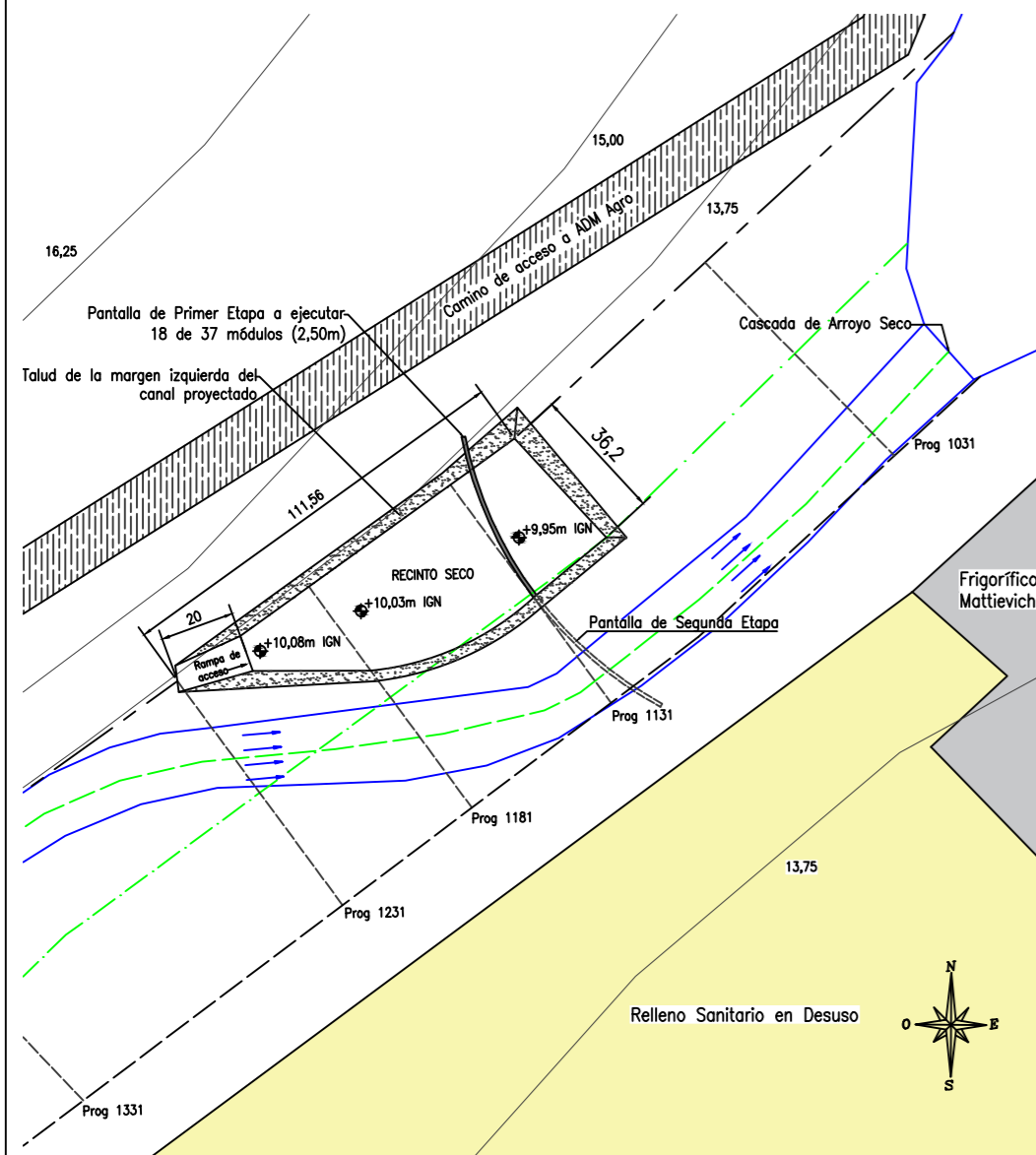
- REFERENCIAS
- Zona de implantación de Vativer
 - Fondo de Canal Propuesto
 - Curvas de Nivel

NOTA: Progresivas en metros

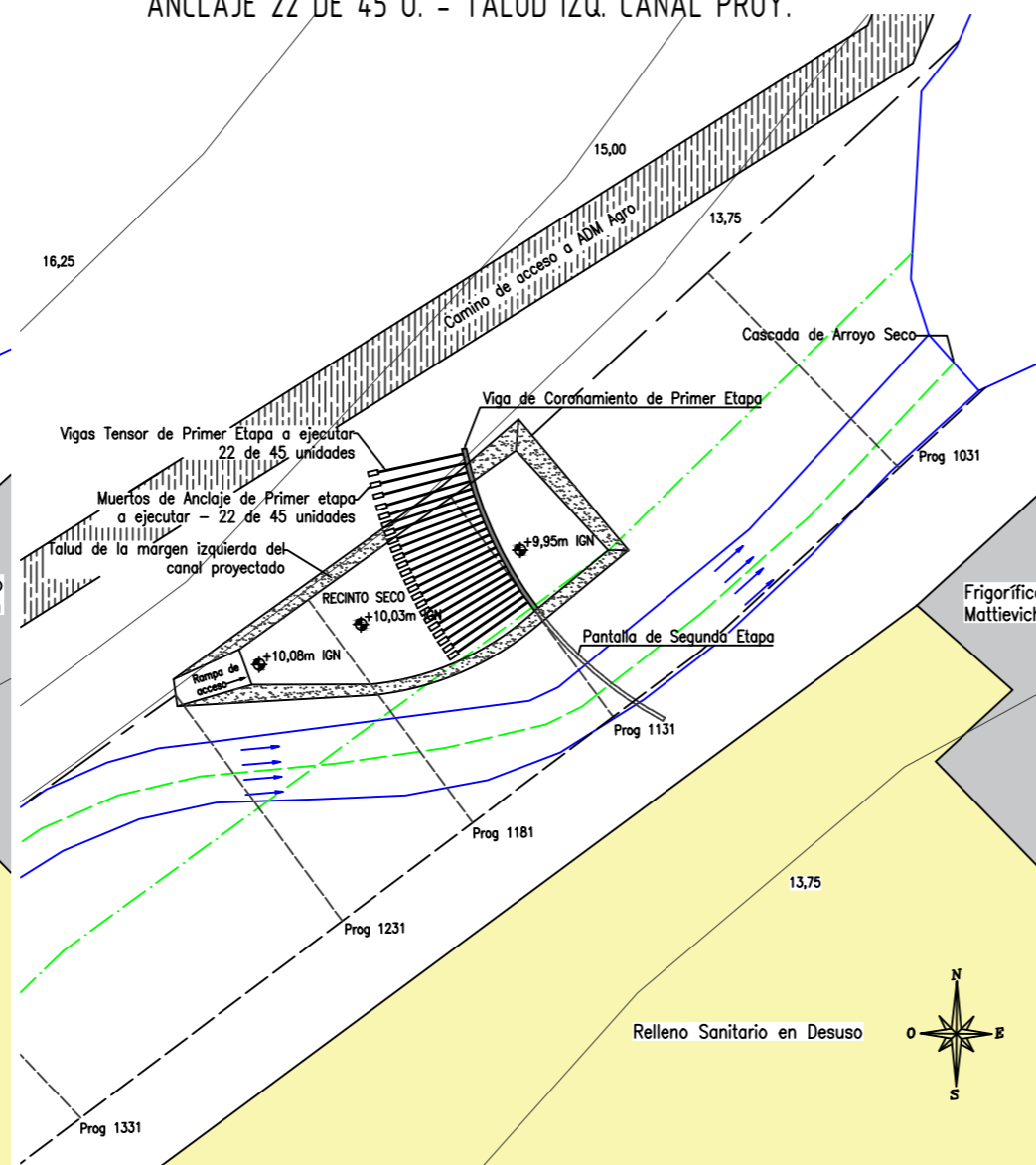
| | | | | |
|--|--|------------------|--|--|
| | PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO | | | |
| | ARROYO SECO – OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A' SECO | | | |
| PLANO N°: 11 | ZONA IMPLANTACIÓN VETIVER PROTECCIÓN BARRANCA | | PROYECTISTAS: BORSATO, Facundo MITCHELL, Liza NISTA, Pablo ROLANDO, Santiago | |
| FECHA 19/08/25 | ESCALA S/E | DEVOLUCIÓN 00 | | |

1 EJECUCIÓN POR LA MARGEN NORTE

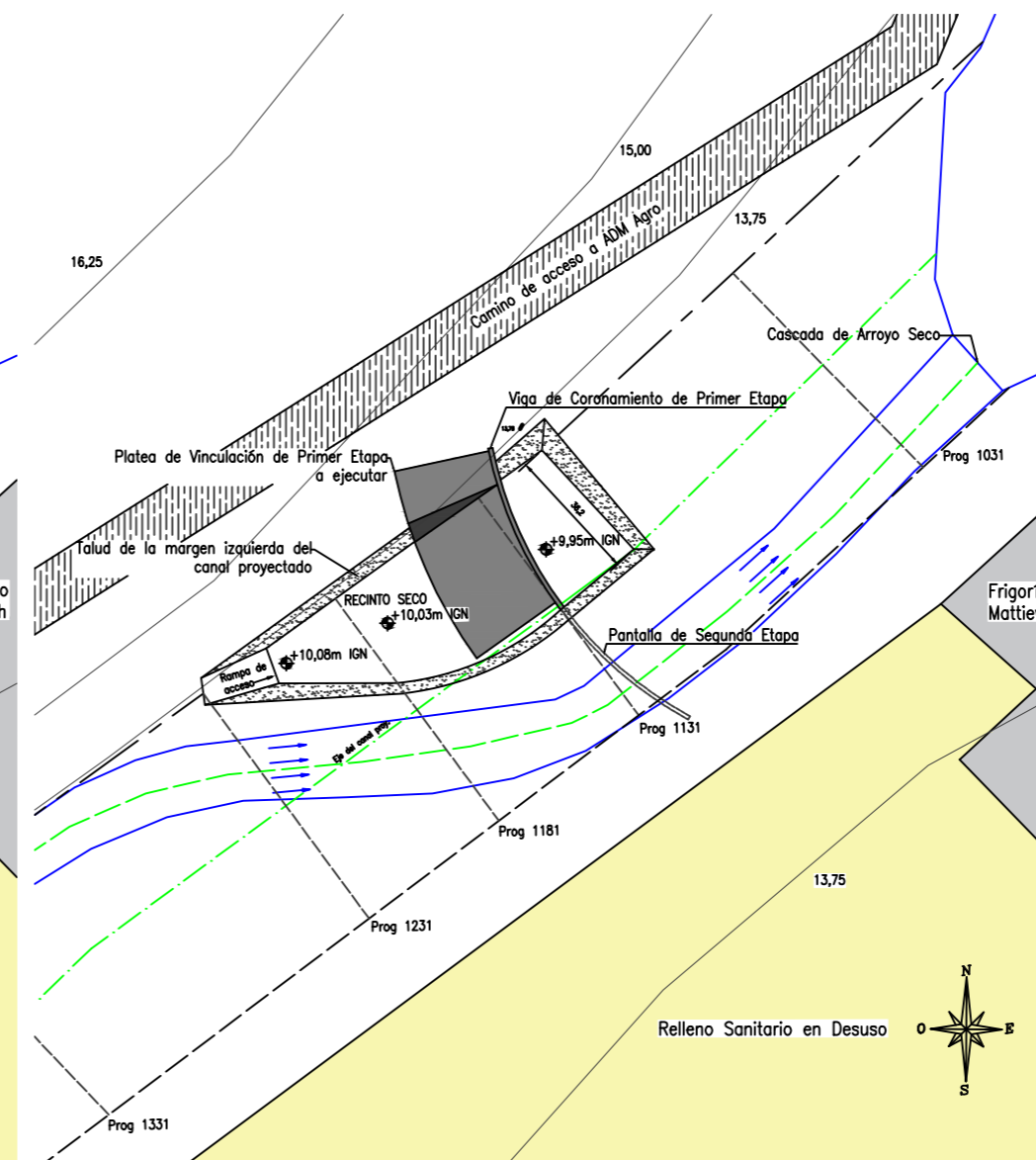
1.1. EXCAVACIÓN DE RECINTO SECO - EXCAVACIÓN Y EJECUCIÓN DEL MURO COLADO PRIMER ETAPA 18 DE 37 mód. (2,50m)



1.2. EJECUCIÓN VIGA DE CORONAMIENTO PRIMER ETAPA - EXCAVACIÓN Y EJECUCIÓN VIGAS TENSOR PRIMER ETAPA 22 DE 45 u. Y MUERTOS DE ANCLAJE 22 DE 45 U. - TALUD IZQ. CANAL PROJ.

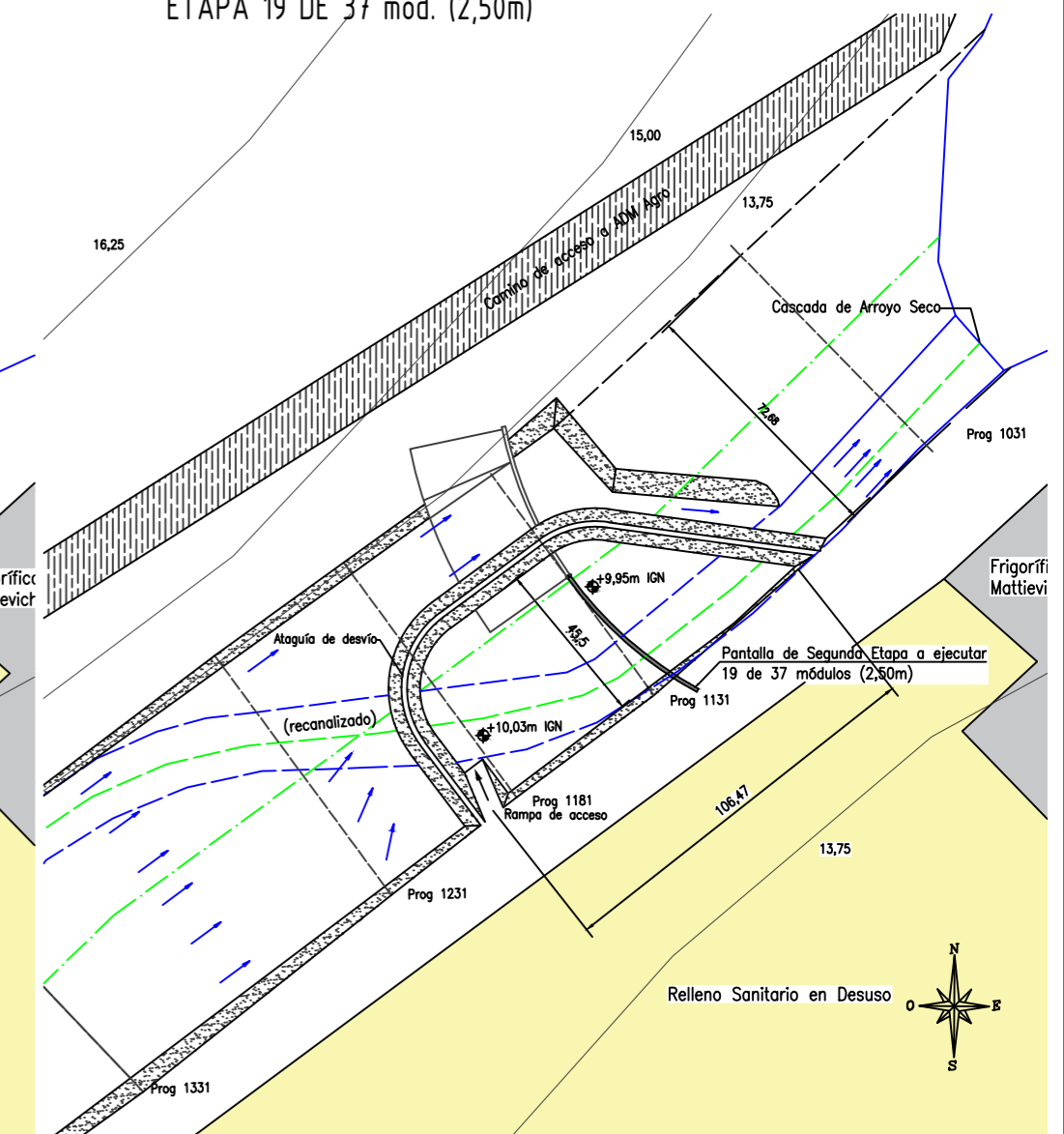


1.3. EJECUCIÓN PLATEA DE VINCULACIÓN PRIMER ETAPA



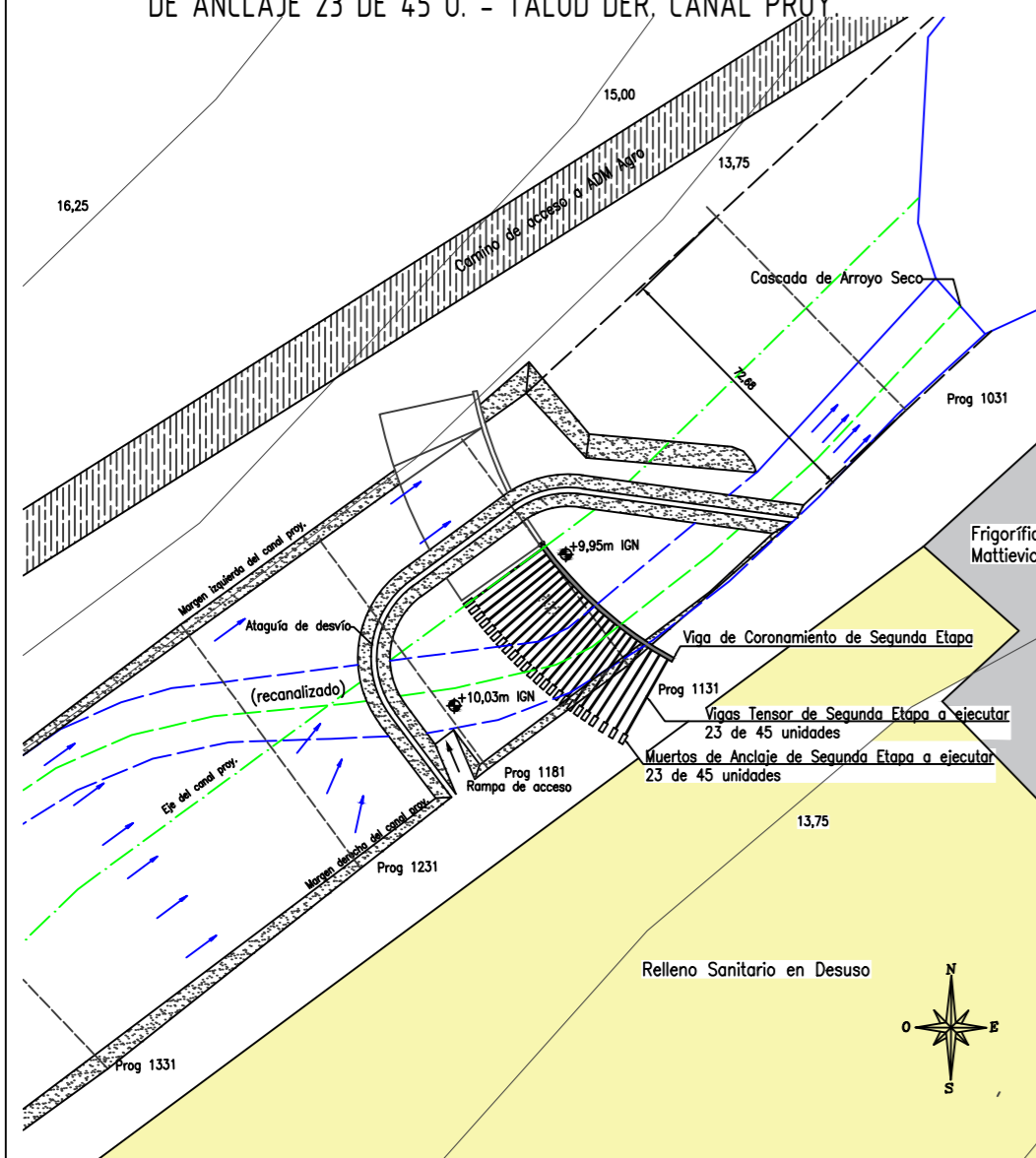
2 EJECUCIÓN POR LA MARGEN SUR

2.1. EXCAVACIÓN DE RECANALIZACIÓN DESDE AA - EJECUCIÓN DE ATAGUÍA - EXCAVACIÓN Y EJECUCIÓN DEL MURO COLADO SEGUNDA ETAPA 19 DE 37 mód. (2,50m)

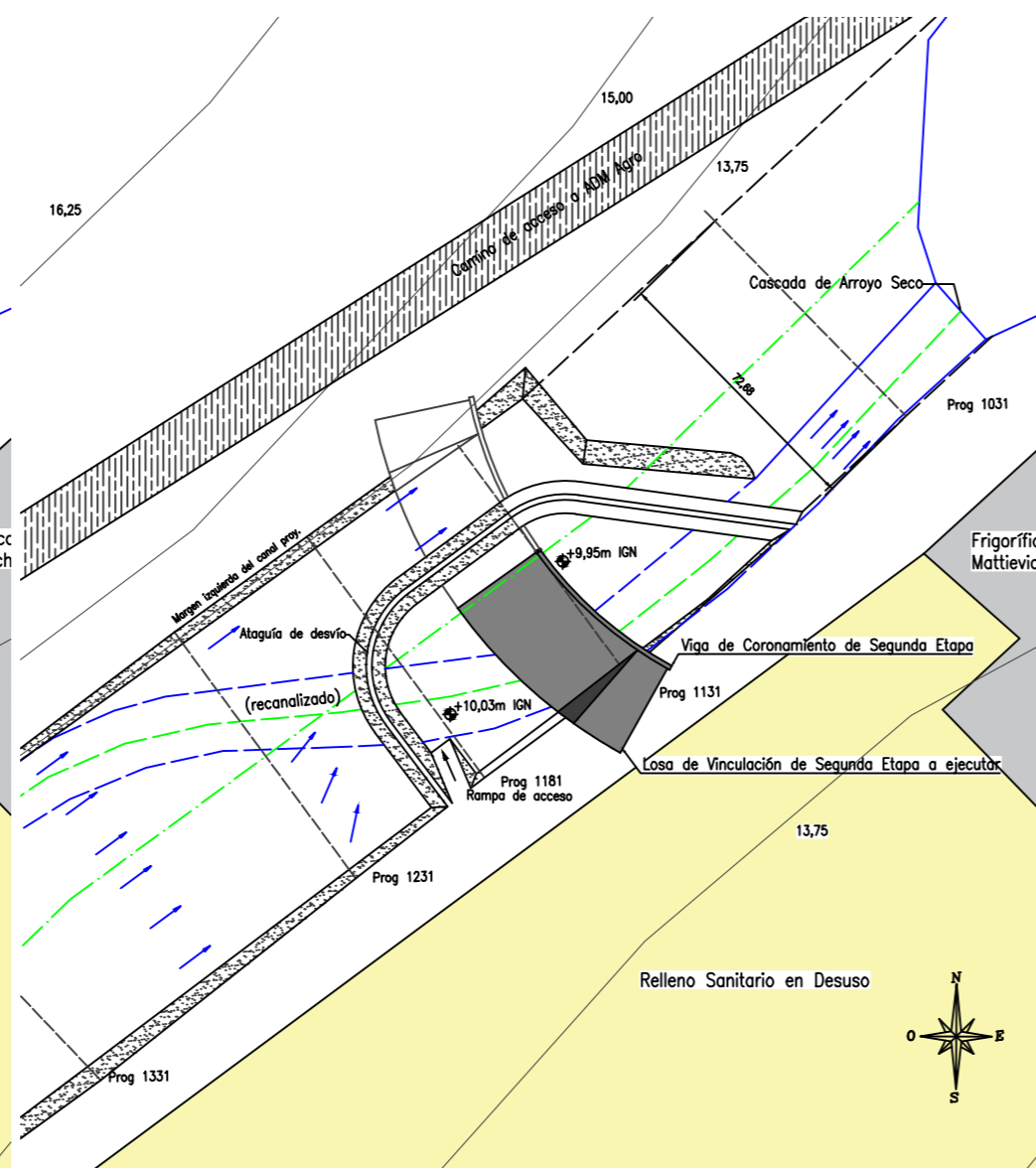


3 FINALIZACIÓN DE OBRAS

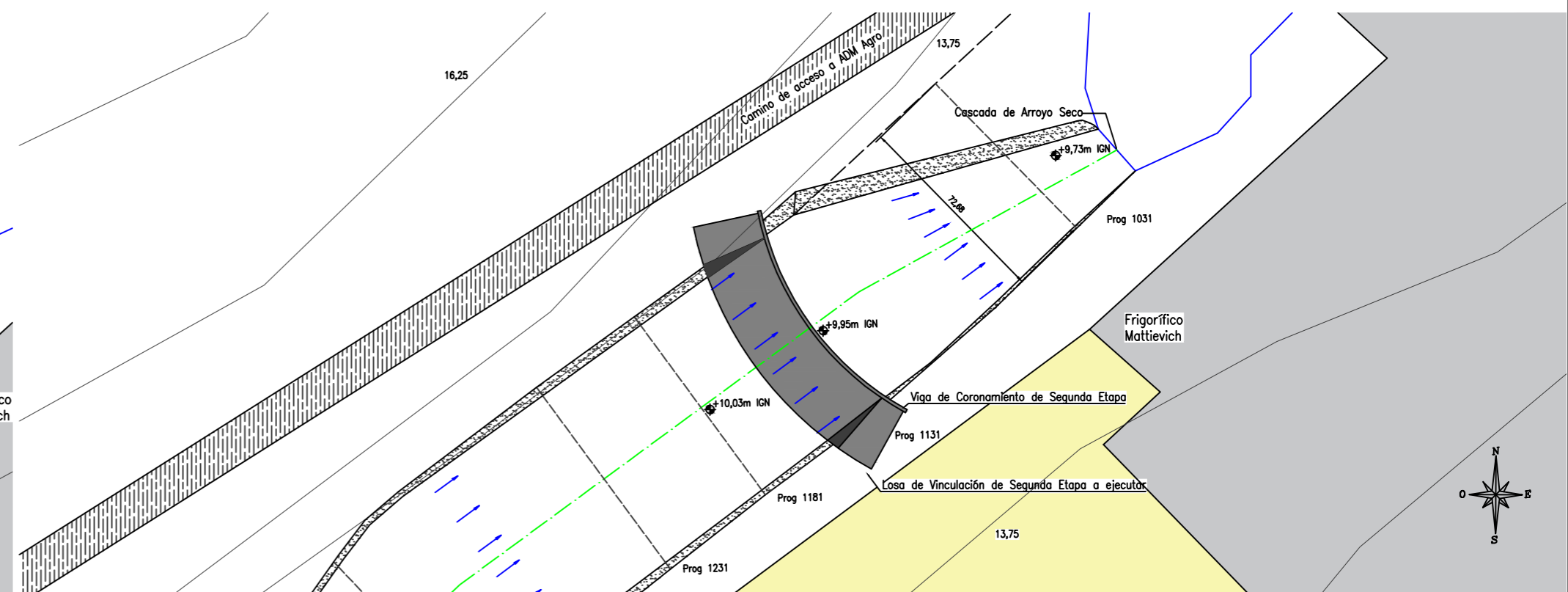
2.2. EJECUCIÓN VIGA DE CORONAMIENTO SEGUNDA ETAPA - EXCAVACIÓN Y EJECUCIÓN VIGAS TENSOR SEGUNDA ETAPA 23 DE 45 u. Y MUERTOS DE ANCLAJE 23 DE 45 U. - TALUD DER. CANAL PROJ.



2.3. EJECUCIÓN PLATEA DE VINCULACIÓN SEGUNDA ETAPA



3.1. DEMOLICIÓN DE ATAGUÍA - EXCAVACIÓN DE RECANALIZACIÓN DE TRANSICIÓN aa DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN HACIA LA CÁRCAVA NATURAL



NOTA: TODAS LA COTAS SON REFERIDAS AL IGN
 REFERENCIAS:
 - Línea azul: Margén Izquierda y Derecha del Canal Natural
 - Línea verde: Eje del Canal Natural
 - Línea roja: Margén Izquierda del Canal Projectado
 - Línea negra: Margén Derecha del Canal Projectado
 - Línea amarilla: Eje del Canal Projectado
 - Flecha azul: Flujo

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

PROYECTO IV
 ARROYO SECO - OBRA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL A' SECO

PROYECTISTAS:
 BORSATO, Facundo
 MITCHELL, Liza
 NISTA, Pablo
 ROLANDO, Santiago

PLANO N°: 12
 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN

FECHA: 19/08/25
 ESCALA: 1:2000
 DEVOLUCIÓN: 02

13. ANEXOS

ANEXO 1: RECANALIZACIÓN DEL CANAL DE ARROYO SECO

Tabla A1-1 - Cálculo del valle de inundación para el dragado propuesto. Fuente: Elaboración Propia.

| Prog. 1031,00 | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Determinación de Caudal vs Altura h | | | | | |
| Sector Canal | | | | | |
| BFc [m] | 72,68 | 72,68 | 72,68 | 72,68 | 72,68 |
| h [m] | 2,5 | 2,7 | 2,65 | 2,66 | 2,67 |
| A [m ²] | 188,01 | 203,48 | 199,59 | 200,36 | 201,14 |
| Pm [m] | 81,54 | 79,92 | 79,85 | 79,87 | 79,88 |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 |
| Rh | 2,306 | 2,546 | 2,500 | 2,509 | 2,518 |
| n | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| v [m/s] | 2,06 | 2,20 | 2,17 | 2,17 | 2,18 |
| Q [m³/s] | 386,55 | 446,95 | 433,05 | 435,76 | 438,56 |
| Sector Valle de Inundación | | | | | |
| A [m ²] | 0,00001 | 1,31 | 0,82 | 0,91 | 1 |
| Pm [m] | 0,00001 | 10,82 | 8,49 | 8,96 | 9,43 |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 |
| Rh | 1,000 | 0,121 | 0,097 | 0,102 | 0,106 |
| n | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 |
| v [m/s] | 0,412 | 0,101 | 0,087 | 0,090 | 0,092 |
| Q [m³/s] | 0,00 | 0,13 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| QTOT [m³/s] | 386,55 | 447,08 | 433,12 | 435,85 | 438,65 |
| Error | -11,35% | 2,52% | -0,68% | -0,05% | 0,59% |

| Prog. 1131,00 (Flujo encauzado, Progresiva donde se ejecutará la CONTENCIÓN) | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|--|--|
| Determinación de Caudal vs Altura h | | | | | |
| Sector Canal | | | | | |
| BFc [m] | 72,75 | 72,75 | 72,75 | | |
| h [m] | 2,7 | 2,65 | 2,66 | | |
| A [m ²] | 204,50 | 200,58 | 201,36 | | |
| Pm [m] | 80,79 | 80,61 | 80,64 | | |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | | |
| Rh | 2,531 | 2,488 | 2,497 | | |
| n | 0,035 | 0,035 | 0,035 | | |
| v [m/s] | 2,19 | 2,16 | 2,17 | | |
| Q [m³/s] | 447,45 | 433,89 | 436,59 | | |

| Prog. 1131,00 (Flujo encauzado, Progresiva donde se ejecutará la CONTENCIÓN) | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|--|--|
| Sector Valle de Inundación | | | | | |
| A [m2] | 0 | 0 | 0 | | |
| Pm [m] | 0 | 0 | 0 | | |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | | |
| Rh | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | |
| n | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | | |
| v [m/s] | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | |
| Q [m3/s] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| QTOT [m3/s] | 447,45 | 433,89 | 436,59 | | |
| Error | 2,61% | -0,50% | 0,12% | | |

| Prog. 1181,00 | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--|--|
| Determinación de Caudal vs Altura h | | | | | |
| Sector Canal | | | | | |
| BFc [m] | 73,78 | 73,78 | 73,78 | | |
| h [m] | 2,7 | 2,65 | 2,63 | | |
| A [m2] | 206,35 | 202,42 | 200,85 | | |
| Pm [m] | 80,66 | 80,58 | 80,56 | | |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | | |
| Rh | 2,558 | 2,512 | 2,493 | | |
| n | 0,035 | 0,035 | 0,035 | | |
| v [m/s] | 2,20 | 2,18 | 2,17 | | |
| Q [m3/s] | 454,70 | 440,65 | 435,04 | | |
| Sector Valle de Inundación | | | | | |
| A [m2] | 5,8 | 4,76 | 4,39 | | |
| Pm [m] | 21,51 | 19,5 | 18,72 | | |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | | |
| Rh | 0,270 | 0,244 | 0,235 | | |
| n | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | | |
| v [m/s] | 0,172 | 0,161 | 0,157 | | |
| Q [m3/s] | 1,00 | 0,77 | 0,69 | | |
| QTOT [m3/s] | 455,70 | 441,42 | 435,73 | | |
| Error | 4,50% | 1,23% | -0,08% | | |

| Prog. 1231,00 | | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--|
| Determinación de Caudal vs Altura h | | | | | |
| Sector Canal | | | | | |
| BFc [m] | 74,74 | 74,74 | 74,74 | 74,74 | |

| Prog. 1231,00 | | | | | |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| h [m] | 3 | 2,7 | 2,6 | 2,62 | |
| A [m ²] | 233,22 | 209,09 | 201,08 | 202,68 | |
| Pm [m] | 83,15 | 82,38 | 82,09 | 82,15 | |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | |
| Rh | 2,805 | 2,538 | 2,450 | 2,467 | |
| n | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | |
| v [m/s] | 2,34 | 2,19 | 2,14 | 2,15 | |
| Q [m³/s] | 546,42 | 458,31 | 430,44 | 435,95 | |
| Sector Valle de Inundación | | | | | |
| A [m ²] | 0,14 | 0 | 0 | 0 | |
| Pm [m] | 5,37 | 0 | 0 | 0 | |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | |
| Rh | 0,026 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | |
| n | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | |
| v [m/s] | 0,036 | 0,412 | 0,412 | 0,412 | |
| Q [m ³ /s] | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| QTOT [m³/s] | 546,42 | 458,31 | 430,44 | 435,95 | |
| Error | 25,31% | 5,10% | -1,29% | -0,03% | |

| Prog. 1331,00 | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|
| Determinación de Caudal vs Altura h | | | | | |
| Sector Canal | | | | | |
| BFc [m] | 70,39 | 70,39 | 70,39 | 70,39 | 70,39 |
| h [m] | 2,7 | 2,72 | 2,73 | | |
| A [m ²] | 197,47 | 199 | 199,77 | | |
| Pm [m] | 78,67 | 78,77 | 78,81 | | |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | | |
| Rh | 2,510 | 2,526 | 2,535 | | |
| n | 0,035 | 0,035 | 0,035 | | |
| v [m/s] | 2,18 | 2,19 | 2,19 | | |
| Q [m³/s] | 429,65 | 434,85 | 437,51 | | |
| Sector Valle de Inundación | | | | | |
| A [m ²] | 0 | 0 | 0 | | |
| Pm [m] | 0 | 0 | 0 | | |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | | |
| Rh | 1,000 | 1,000 | 1,000 | | |
| n | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | | |
| v [m/s] | 0,412 | 0,412 | 0,412 | | |

| Prog. 1331,00 | | | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Q [m3/s] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| QTOT [m3/s] | 429,65 | 434,85 | 437,51 | | |
| Error | -1,47% | -0,28% | 0,33% | | |

| Prog. 1431,00 | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Determinación de Caudal vs Altura h | | | | | |
| Sector Canal | | | | | |
| BFc [m] | 42,82 | 42,82 | 42,82 | 42,82 | 42,82 |
| h [m] | 2,8 | 3,5 | 3,55 | 3,58 | 3,59 |
| A [m2] | 127,85 | 161,61 | 164,03 | 165,48 | 165,97 |
| Pm [m] | 49,88 | 50,62 | 50,62 | 50,62 | 50,62 |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 |
| Rh | 2,563 | 3,193 | 3,240 | 3,269 | 3,279 |
| n | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| v [m/s] | 2,21 | 2,55 | 2,58 | 2,59 | 2,60 |
| Q [m3/s] | 282,08 | 412,78 | 423,14 | 429,39 | 431,51 |
| Sector Valle de Inundación | | | | | |
| A [m2] | 2,02 | 18,2 | 21,75 | 24,12 | 24,96 |
| Pm [m] | 4,77 | 65,86 | 51,4 | 82,56 | 84,65 |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 |
| Rh | 0,423 | 0,276 | 0,423 | 0,292 | 0,295 |
| n | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 |
| v [m/s] | 0,233 | 0,175 | 0,232 | 0,182 | 0,183 |
| Q [m3/s] | 0,47 | 3,18 | 5,05 | 4,38 | 4,56 |
| QTOT [m3/s] | 282,55 | 415,97 | 428,19 | 433,77 | 436,07 |
| Error | -35,21% | -4,61% | -1,81% | -0,53% | 0,00% |

| Prog. 1531,00 | | | | | |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Determinación de Caudal vs Altura h | | | | | |
| Sector Canal | | | | | |
| BFc [m] | 18,63 | 18,63 | 18,63 | 18,63 | 18,63 |
| h [m] | 3,7 | 4,7 | 4,42 | 4,35 | 4,34 |
| A [m2] | 80,00 | 98,69 | 96,41 | 94,82 | 94,59 |
| Pm [m] | 24,52 | 24,52 | 24,52 | 24,52 | 24,52 |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 |
| Rh | 3,263 | 4,025 | 3,932 | 3,867 | 3,858 |
| n | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| v [m/s] | 2,59 | 2,98 | 2,93 | 2,90 | 2,90 |

| Prog. 1531,00 | | | | | |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Q [m3/s] | 207,31 | 294,17 | 282,93 | 275,20 | 274,08 |
| Sector Valle de Inundación | | | | | |
| A [m2] | 59,14 | 441,73 | 398,93 | 378,68 | 375,15 |
| Pm [m] | 516,25 | 388,16 | 367,87 | 354,24 | 352,42 |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 |
| Rh | 0,115 | 1,138 | 1,084 | 1,069 | 1,064 |
| n | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 |
| v [m/s] | 0,097 | 0,449 | 0,435 | 0,431 | 0,430 |
| Q [m3/s] | 5,75 | 198,52 | 173,62 | 163,24 | 161,26 |
| QTOT [m3/s] | 213,06 | 492,69 | 456,55 | 438,43 | 435,34 |
| Error | -51,14% | 12,98% | 4,70% | 0,54% | -0,17% |

| Prog. 1631,00 | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Determinación de Caudal vs Altura h | | | | | |
| Sector Canal | | | | | |
| BFc [m] | 23,06 | 23,06 | 23,06 | 23,06 | 23,06 |
| h [m] | 4 | 4,5 | 4,55 | 4,57 | 4,59 |
| A [m2] | 106,86 | 121,25 | 122,99 | 123,27 | 123,85 |
| Pm [m] | 31,15 | 31,15 | 31,15 | 31,15 | 31,15 |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 |
| Rh | 3,430 | 3,892 | 3,948 | 3,957 | 3,976 |
| n | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| v [m/s] | 2,68 | 2,92 | 2,94 | 2,95 | 2,96 |
| Q [m3/s] | 286,34 | 353,44 | 361,94 | 363,31 | 366,17 |
| Sector Valle de Inundación | | | | | |
| A [m2] | 72,68 | 193,2 | 211,94 | 215,13 | 222,49 |
| Pm [m] | 178,81 | 304,53 | 319,64 | 322,13 | 325,82 |
| S | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 | 0,0017 |
| Rh | 0,406 | 0,634 | 0,663 | 0,668 | 0,683 |
| n | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 | 0,1000 |
| v [m/s] | 0,226 | 0,304 | 0,314 | 0,315 | 0,320 |
| Q [m3/s] | 16,44 | 58,81 | 66,45 | 67,77 | 71,14 |
| QTOT [m3/s] | 302,78 | 412,26 | 428,38 | 431,08 | 437,30 |
| Error | -30,57% | -5,46% | -1,76% | -1,14% | 0,28% |

ANEXO 2: CÁLCULO DE LA FICHA Y LOS MOMENTOS MÁXIMOS DE LA PANTALLA

Para comenzar el cálculo de la ficha necesaria para que la pantalla se encuentre en buenas condiciones para la situación presentada en la *Figura 45*, en la *Tabla A2-1* se redujeron los parámetros de corte por un factor de seguridad 1,20 puesto que si no se considera el mismo, se estaría dimensionando en falla. La reducción fue realizada de la siguiente forma:

$$\tan(\phi \text{ mod}) = \frac{\tan(\phi)}{FS}$$

$$c \text{ mod} = \frac{c}{FS}$$

Además, se calcularon en dicha tabla los coeficientes de empuje activo, pasivo y de reposo para los distintos estratos considerándose las condiciones drenadas para el análisis de cargas por ser esta la más crítica. Se obtendrán los parámetros utilizando las siguientes fórmulas:

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$$

$$K_p = \frac{1}{K_a}$$

Además, el K_0 se consideró en función de valores típicos brindados por Winterkorn & Fang, 1975.

Tabla A2-1 - Reducción de los parámetros del suelo. Fuente: Elaboración Propia.

| Reducción de parámetros | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|--------|--------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|
| Estratos | FS | ϕ | $\phi \text{ mod}$ | c [kN/m ²] | c mod [kN/m ²] | Prof. [m] | K _o | K _a | K _p |
| ML | 1.20 | 23 | 19.48 | 76 | 63.33 | 0.00 | 0.50 | 0.50 | 2.00 |
| | | | | | | 0.75 | | | |
| CL | 1.20 | 24 | 20.36 | 86 | 71.67 | 0.75 | 0.66 | 0.48 | 2.07 |
| | | | | | | 13.85 | | | |
| SC | 1.20 | 36 | 31.19 | 0 | 0.00 | 13.85 | 0.41 | 0.32 | 3.15 |
| | | | | | | 23.00 | | | |

Luego, se calculan las tensiones horizontales sobre la tablestaca en la *Tabla A2-2* utilizando la teoría de Rankine. Se considera la presencia de agua únicamente a partir de la cota 4,88 m debido al análisis del caso B mencionado en el presente informe, donde el agua aguas arriba de la cascada no ejerce una presión hidrostática sobre la pantalla y solo lo hace únicamente al nivel del agua aguas abajo de la misma. A esta profundidad, el agua se encuentra equilibrada ya que la presión es la misma del lado interno y externo. De esta manera, sólo estará presente la tensión horizontal que el suelo ejercerá sobre el muro, obtenido a partir de las tensiones efectivas verticales. Para ello, se utilizará el peso específico saturado para el suelo por encima de la cota 4,88 m y el peso específico sumergido por debajo de este nivel. Se presentan a continuación las tensiones para los diferentes puntos considerados, esquematizados en la *Figura A2-1*. Se destaca que las tensiones en

los estratos cohesivos dan tensiones de tracción, por lo que no son consideradas en el momento de dimensionar la pantalla.

Tabla A2-2 - Cálculo de las tensiones horizontales sobre la pantalla. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de Presiones verticales desestabilizantes (lado derecho) | | | | | | |
|--|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Punto | γ_{sat} [kN/m ³] | γ_w [kN/m ³] | h [m] | σ_v [kN/m ²] | μ [kN/m ²] | $\sigma'v$ [kN/m ²] |
| A | - | 0.00 | 2.66 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| B | 18.50 | 0.00 | 0.75 | 13.88 | 0.00 | 13.88 |
| C | 18.50 | 0.00 | 4.32 | 93.80 | 0.00 | 93.80 |
| D | 18.50 | 9.81 | 8.78 | 256.23 | 86.13 | 170.09 |
| E | 18.50 | 9.81 | 0.68 | 268.81 | 92.80 | 176.00 |
| x | 18.50 | 9.81 | 0.90 | 285.39 | 101.60 | 183.79 |
| F | 18.50 | 9.81 | 6.77 | 410.59 | 167.99 | 242.60 |
| Cálculo de Presiones Horizontales Activas desestabilizantes (lado derecho) | | | | | | |
| Punto | $\sigma'v$ [kN/m ²] | Ka | c [kN/m ²] | $\sigma'ha$ [kN/m ²] | μ [kN/m ²] | HT [kN/m ²] |
| A | 0.00 | 0.50 | 63.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bsup | 13.88 | 0.50 | 63.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Binf | 13.88 | 0.48 | 71.67 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| C | 93.80 | 0.48 | 71.67 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Dsup | 170.09 | 0.48 | 71.67 | 0.00 | 86.13 | 86.13 |
| Dinf | 170.09 | 0.32 | 0.00 | 54.02 | 86.13 | 140.15 |
| E | 176.00 | 0.32 | 0.00 | 55.90 | 92.80 | 148.70 |
| x | 183.79 | 0.32 | 0.00 | 58.37 | 101.60 | 159.97 |
| F | 242.60 | 0.32 | 0.00 | 77.05 | 167.99 | 245.04 |
| Cálculo de Presiones verticales estabilizantes (lado izquierdo) | | | | | | |
| Punto | γ_{sat} [kN/m ³] | γ_w [kN/m ³] | h [m] | σ_v [kN/m ²] | μ [kN/m ²] | $\sigma'v$ [kN/m ²] |
| C | - | 9.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| D | - | 9.81 | 8.78 | 86.13 | 86.13 | 0.00 |
| E | 0.00 | 9.81 | 0.68 | 92.80 | 92.80 | 0.00 |
| x | 18.50 | 9.81 | 0.90 | 109.39 | 101.60 | 7.79 |
| F | 18.50 | 9.81 | 6.77 | 234.59 | 167.987 | 66.60 |
| Cálculo de Presiones Horizontales Pasivas estabilizantes (lado izquierdo) | | | | | | |
| Punto | $\sigma'v$ [kN/m ²] | Kp | c [kN/m ²] | $\sigma'hp$ [kN/m ²] | μ [kN/m ²] | HT [kN/m ²] |
| E | 0.00 | 3.15 | 0.00 | 0.00 | 92.80 | 92.80 |
| x | 7.79 | 3.15 | 0.00 | 24.53 | 101.60 | 126.13 |
| F | 66.60 | 3.15 | 0.00 | 209.70 | 167.99 | 377.69 |

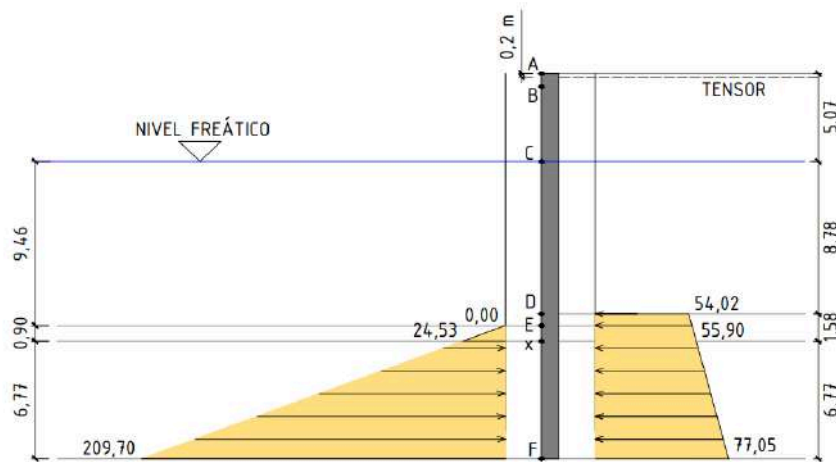


Figura A2-1 - Distribución de tensiones horizontales sobre la pantalla. Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de tierra firme se debe estimar aquella distancia donde ocurre el punto de inflexión de los momentos flectores de la tablestaca. Para ello se hace uso de la tabla brindada por la bibliografía “Fundamentos de la Mecánica de Suelos” de Roy Whitlow (Figura A2-2) donde se realiza una interpolación lineal del ángulo de fricción del estrato arenoso, donde se cree que se ubicará el punto de inflexión, y se obtendrá a cambio la relación entre x y H , siendo x la profundidad a partir del punto D y H el desnivel salvado por la pantalla.

| | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|-------|-------|
| ϕ' (grados) | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| x/H | 0.37 | 0.25 | 0.15 | 0.08 | 0.033 | -0.01 |

Figura A2-2 - Tabla para determinar relación x/H . Fuente: Fundamentos de la Mecánica de Suelos (Whitlow, R. 1999)

Considerando un desnivel $H=14,53$ m y un ángulo de fricción minorado $\phi=31,19^\circ$, se obtiene un x igual a 0,90 m.

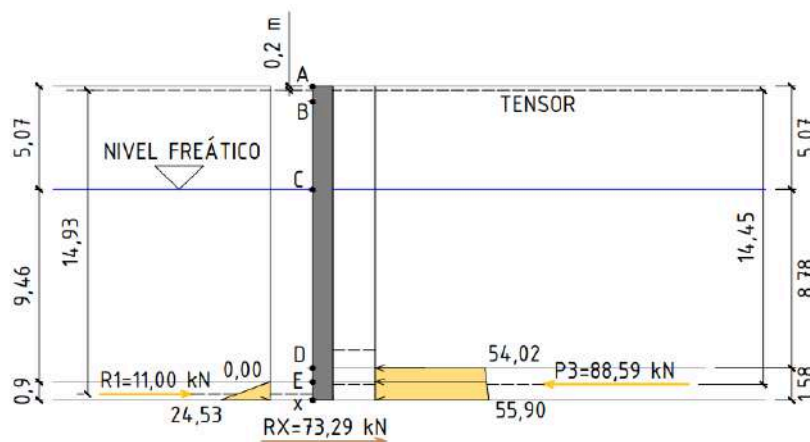


Figura A2-3 - Distribución de tensiones horizontales sobre viga equivalente superior. Fuente: Elaboración propia

Se procede a calcular las tensiones y fuerzas actuantes sobre la viga equivalente superior, por encima del punto X. Las mismas se indican en la siguiente Figura A2-3.

El cálculo de las tensiones horizontales se realizó en la *Tabla A2-2*. Las presiones horizontales se calculan con las siguiente fórmulas para las presiones activas y pasivas correspondientemente:

$$\sigma_{ha} = K_a \cdot \sigma'v - 2 \cdot c \sqrt{K_a}$$

$$\sigma_{hp} = K_p \cdot \sigma'v + 2 \cdot c \sqrt{K_p}$$

A partir de las presiones obtenidas, se obtienen las fuerzas actuantes sobre la viga equivalente superior, observadas en la *Tabla A2-3*.

Tabla A2-3 - Cálculo de fuerzas horizontales sobre viga equivalente superior. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de Fuerzas Viga A - x | |
|--------------------------------------|--------|
| Activas | |
| P1 (ML) [kN/m] | 0.00 |
| P2 (CL) [kN/m] | 0.00 |
| P3 (SC) [kN/m] | 88.59 |
| EP1 (agua) [kN/m] | 526.10 |
| Pasivas | |
| R1 (SC) [kN/m] | 11.00 |
| ER1 (agua) [kN/m] | 526.10 |

Luego, se obtiene la resultante Rx actuante en el punto X que permite equilibrar el sistema y obtener un momento nulo en el lugar donde se plantea el eje del tensor, es decir, a 0,20 m con respecto al nivel superior de la pantalla. Además, planteando el equilibrio de fuerzas horizontales, es posible obtener la tensión a la cual estará actuando el tensor. Se aumenta en un 15 % al valor obtenido de este último, para tener en cuenta la concentración de carga en el punto de anclaje debido a la flexibilidad de la pantalla. Esto puede observarse en la *Tabla A2-4*

Tabla A2-4 - Cálculo de reacción Rx y tensión de tensor T. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de la reacción Rx, planteando $\Sigma MT=0$ y cálculo de la tensión T con $\Sigma Fx=0$ | | | | |
|--|-----------------|-----------------------------|--|------------------|
| Fuerza | F [kN/m] | cg respecto a Bmayor | h (brazo de palanca) | M [kNm/m] |
| P3 | 88.59 | 0.78 | 14.45 | -1280.03 |
| R1 | 11.00 | 0.30 | 14.93 | 164.15 |
| Rx | 73.29 | - | 15.23 | 1115.89 |
| | | | ΣMT [kNm/m] = | 0.00 |
| | | | ΣFx [kN/m] = T | 4.31 |
| | | | T [kN/m] | 4.958 |

Se procede a calcular las tensiones y fuerzas actuantes sobre la viga equivalente inferior, por debajo del punto X. Las mismas se indican en la siguiente *Figura A2-4*.

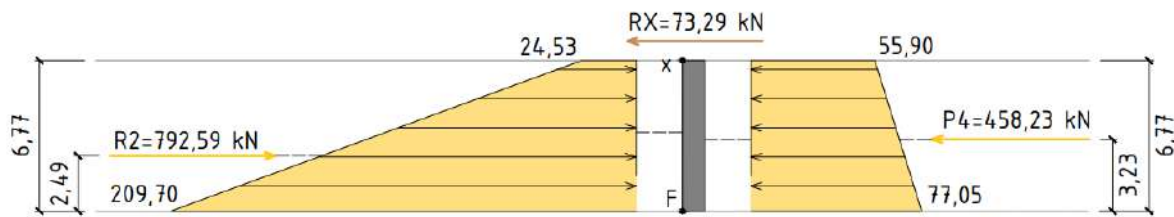


Figura A2-4 - Distribución de tensiones horizontales sobre viga equivalente inferior.
Fuente: Elaboración propia

A partir de las presiones obtenidas, se obtienen las fuerzas actuantes sobre la viga equivalente superior, observadas en la *Tabla A2-5*.

Tabla A2-5 - Cálculo de fuerzas horizontales sobre viga equivalente inferior.
Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de Fuerzas Viga x - F | |
|-------------------------------|--------|
| Activas | |
| Rx [kN/m] | 73.29 |
| P4 [kN/m] | 458.23 |
| EP2 (agua) [kN/m] | 912.21 |
| Pasivas | |
| R2 [kN/m] | 792.59 |
| ER2 (agua) [kN/m] | 912.21 |

Cabe destacar que las tensiones de la *Tabla A2-5* de la viga equivalente inferior, dependen de la ficha "d", la cuál en un principio es desconocida, por lo que para obtenerla se plantea el equilibrio de momentos con respecto al borde inferior de la pantalla. Esto se observa en la *Tabla A2-6*. Se realiza un proceso iterativo variando el valor de la ficha "d" hasta que se dé el equilibrio. Los resultados anteriormente expuestos, están determinados con la ficha "d" ya obtenida.

Tabla A2-6 - Determinación de ficha de empotramiento d. Fuente: Elaboración Propia.

| Calculo ficha d, planteando $\Sigma MF=0$ | | | |
|---|----------|----------------------|-----------|
| Fuerza | F [kN/m] | h (brazo de palanca) | M [kNm/m] |
| Rx | 73.29 | 6.77 | 495.96 |
| P4 | 458.23 | 3.23 | 1479.24 |
| R2 | 792.59 | 2.49 | -1975.20 |
| ΣMF [kNm/m] = | | | 0.00 |

A partir del proceso iterativo se obtuvo un valor de ficha de 7,66 metros calculada en la falla. A este valor, se lo incrementa un 20% para agregar el tramo inferior faltante por debajo del punto de giro F que no fue tenido en cuenta al momento del cálculo como para simplificar el procedimiento, obteniendo una **ficha de cálculo de 9,20 metros**. De esta manera, se redondea el valor propuesto para la pantalla, para estar dentro de las dimensiones factibles de ejecutar para elementos de hormigón, dando una altura total de **23,75 metros**.

A partir de estos resultados, se determina la distancia Z_s con respecto al punto C' sobre el cuál el corte se anula, en la *Tabla A2-7*. Esto se realiza para así determinar cuánto vale el momento flector máximo.

Tabla A2-7 - Determinación del punto donde el corte es nulo. Fuente: Elaboración Propia.

| Determinación de la posición del M_{max} , planteando $\Sigma V=0$ | |
|--|-------|
| Z_s [m] | 0.08 |
| T [kN] | -4.31 |
| P _{zs} [kN] | 4.31 |
| ΣV [kN/m] | 0.00 |

Consecuentemente, se calcula en la *Tabla A2-8* el valor del momento máximo considerando todas las tensiones que se encuentran por encima de este punto.

Tabla A2-8 - Cálculo de momento máximo. Fuente: Elaboración Propia.

| Determinación momento máximo | | | |
|------------------------------|--------|--------------------------|-----------|
| Fuerza | F [kN] | h (brazo de palanca) [m] | M [kNm/m] |
| T | -4.31 | 13.73 | -59.19 |
| P _{zs} | 4.31 | 0.04 | 0.17 |
| ΣM [kNm/m] | | | -59.02 |

Para el cálculo de la armadura necesaria para resistir los esfuerzos internos, se propone que el muro colado con una sección de 0,50 m de espesor en función del mínimo espesor de un muro colado factible de ejecutar. A partir del predimensionamiento de la estructura, se procede a realizar el modelado en software según muestra el apartado "7. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA OBRA DE ESTABILIZACIÓN" del presente informe. De aquí se obtienen los esfuerzos que serán utilizados para el dimensionamiento en ELU.

La calidad de hormigón a utilizar para todos los elementos constructivos es de 40 MPa (H-40).

A continuación, en la *Tabla A2-9*, se determina la armadura necesaria a flexión de la pantalla por ancho unitario. Teniendo en cuenta que existe una inversión de signos en torno al 40% de la longitud del elemento (*Figura 53*) considerado desde el extremo inferior, se decide adoptar armadura diferenciada entre los dos tramos dados debido a la diferencia en magnitud de los momentos. Por lo tanto, el **primer tramo** se define entre la **cota -13,80 m y -2,20 m** con un momento correspondiente de **336,30 kNm**, mientras que el **segundo tramo** se lo define entre la **cota -2,20 m y +9,95 m** con un momento máximo de 166,19 kNm. En la *Tabla A2-9* y *A2-10* se indica el cálculo realizado para cada tramo.

Tabla A2-9 - Determinación de armadura a flexión. Tramo inferior. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a flexión Tramo Inferior: -13,80 a -2,20 | |
|--|------|
| H-40 | |
| f'c [kN/cm ²] | 4.00 |

| Cálculo de armadura a flexión Tramo Inferior: -13,80 a -2,20 | | |
|--|----------|-----------------|
| β_1 | 0.78 | |
| ADN420 | | |
| f_y [kN/cm ²] | 42 | |
| E [kN/cm ²] | 20000 | |
| Se supone sección controlada por tracción | | |
| Determinación de la armadura | | |
| Mu [kNcm] | 33630 | tracción arriba |
| b [cm] | 100 | |
| h [cm] | 50 | |
| d [cm] | 43.00 | |
| ω | 0.0521 | |
| As [cm ²] | 21.34 | |
| Asmin [cm ²] | 16.19 | |
| \emptyset [mm] | Cantidad | en 2,50m |
| 20 | 6.80 | 16.99 |
| Verificación sección controlada por tracción | | |
| a [cm] | 2.64 | |
| c [cm] | 3.39 | |
| ϕ | 8.86E-04 | |
| ϵ_{te} | 0.035 | |

Tabla A2-10 - Determinación de armadura a flexión. Tramo superior. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a flexión Tramo Superior: -2,20 a +9,95 | | |
|---|--------|-----------------|
| H-40 | | |
| f'_c [kN/cm ²] | 4.00 | |
| β_1 | 0.78 | |
| ADN420 | | |
| f_y [kN/cm ²] | 42 | |
| E [kN/cm ²] | 20000 | |
| Se supone sección controlada por tracción | | |
| Determinación de la armadura | | |
| Mu [kNcm] | 16619 | tracción arriba |
| b [cm] | 100 | |
| h [cm] | 50 | |
| d [cm] | 43.00 | |
| ω | 0.0253 | |

| Cálculo de armadura a flexión Tramo Superior: -2,20 a +9,95 | | |
|---|----------|----------|
| As [cm ²] | 10.38 | |
| Asmin [cm ²] | 16.19 | |
| Ø [mm] | Cantidad | en 2,50m |
| 20 | 5.16 | 12.89 |
| Verificación sección controlada por tracción | | |
| a [cm] | 1.28 | |
| c [cm] | 1.65 | |
| φ | 1.82E-03 | |
| εte | 0.075 | |
| | | |

Como se observa en las tablas, se proponen barras de 20 mm de diámetro y se obtiene la cantidad necesaria para un ancho de 1,00 metro, en cada tramo. Luego, esta cantidad dada se multiplica por el ancho de cada módulo de 2,50m, resultando en 17 barras de 20 mm en el primer tramo y 13 barras de 20 mm para el segundo. Esto obedece a un lado del módulo, es decir, a una de sus dos fibras extremos de la sección transversal. Por lo tanto, se adopta la misma armadura para el lado restante debido a la posibilidad de inversión de signos de tensiones por flexión y por simplicidad constructiva.

Luego, a partir del corte máximo de 196,39 kN (Figura 53) correspondiente con el tramo inferior mencionado precedentemente, se determina la armadura transversal de corte. Además, si bien no se considera para en el modelo, se incluye el posible efecto de torsión en función de la armadura mínima transversal y longitudinal. En ambos casos de corte y torsión, resulta determinante la armadura mínima reglamentaria dada por el CIRSOC 201 - 2005. El desarrollo se detalla en la en la siguiente *Tabla A2-11*.

Tabla A2-11 - Determinación de armadura a corte y torsión. Tramo inferior. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a corte y torsión | | |
|---------------------------------------|-----------|--|
| H-40 | | |
| f'c [kN/cm ²] | 4.00 | |
| β1 | 0.78 | |
| ADN420 | | |
| fy [kN/cm ²] | 42 | |
| E [kN/cm ²] | 20000 | |
| Determinación de la armadura a corte | | |
| Vu [kN] | 196.39 | |
| bw [cm] | 100.00 | |
| h [cm] | 50.00 | |
| d [cm] | 43.00 | |
| Vs=Vn-Vc | -191.4065 | |

| Cálculo de armadura a corte y torsión | | |
|--|-------------|--|
| Vs,máx | 1813.039192 | |
| Vs,máx > Vs? | Si | |
| Av/s [cm2/m] | -10.598 | |
| Determinación de la armadura a torsión | | |
| Tu [kNcm] | 0.00 | |
| Acp [cm2] | 5000.00 | |
| pcp [cm] | 300.00 | |
| Aoh [cm2] | 3731.00 | |
| ph [cm] | 264.00 | |
| Es necesario? | No | |
| Sección transversal suficiente? | Si | |
| At/s | 0.00 | |
| As/s (cuatro ramas) | -2.65 | |
| Avmin/s [cm2/m] | 9.41 | |
| smax [cm] | 21.50 | |
| Armadura transversal | | |
| Ø arm trans [mm] | s [cm] | |
| 16.00 | 21.36 | |
| Armadura longitudinal | | |
| Al | 24.85 | |
| Cuántas capas? | 4.00 | |
| Al (por capa) | 6.21 | |
| Almin [cm2] | 130.23 | |
| Ø. arm long [mm] | Cantidad | |
| 20.00 | 41.47 | |

En base a esta última tabla, se realiza la compatibilización de armaduras, definiendo un total de 42 barras de 20 mm longitudinales para el tramo inferior, de las cuales 34 barras son por flexión (17 en cada cara), y estribos de 16 mm cada 20 cm. Para el tramo superior se adoptan 30 barras de 20 mm longitudinales (26 por flexión, 13 por cara) e iguales estribos. Para finalizar, se establece utilizar las mismas armaduras del tramo superior para las zonas laterales del muro, es decir, las zonas elevadas en los extremos, debido a que los esfuerzos dados aquí resultan menores y por lo tanto siendo determinantes las armaduras mínimas.

Por otra parte, se obtiene la armadura necesaria para el tensor, el cuál tiene un esfuerzo de tracción de 57 kN/m aproximadamente. A partir de definir una separación entre tensores de 2,00 m, el esfuerzo de tracción en cada tensor será de 114 kN. A continuación se muestra el cálculo de la armadura en la *Tabla A2-12 y A2-13*.

Tabla A2-12 - Determinación de armadura de la Viga Tensor. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de Viga de Tensor | |
|-----------------------------------|----------|
| ADN420 | |
| f_y [kN/cm ²] | 42 |
| E [kN/cm ²] | 20000 |
| T [kN] | 114.00 |
| A [cm ²] | 2.71 |
| Separación [m] | 2.00 |
| A por tensor [cm ²] | 5.43 |
| \varnothing . arm long [mm] | Cantidad |
| 12 | 4.80 |

Tabla A2-13 - Determinación de armadura transversal de la Viga Tensor. Tramo. Fuente: Elaboración Propia.

| Estribos de Viga de Tensor | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| A_v min / s [cm ² /m] | 6.27 |
| s max [cm] | 16.80 |
| \varnothing arm trans [mm] | s [cm] |
| 8 | 15.94 |
| A_v adoptada | $\varnothing 8$ c/15 cm |

Se aclara que la armadura de los estribos fue determinada por la mínima reglamentaria por cuestiones constructivas y de fisuración y no por cálculo ya que el elemento no se encuentra sometido a corte.

Entonces, se adopta una armadura longitudinal de 5 barras de 12 mm y estribos de barras de 8 mm cada 15 cm de separación.

Luego, para determinar las dimensiones del muerto de anclaje se tienen los parámetros de suelo para calcular su resistencia neta según la resistencia pasiva y las acciones activas del mismo. En el caso de estudio se descarta el primer estrato de limo debido a escasa potencia (altura de 0,75 m) y a la posibilidad de erosión del mismo a lo largo de la vida útil de la obra. En la *Tabla A2-14* se muestra el cálculo de la profundidad mínima necesaria.

Tabla A2-14 - Determinación de la profundidad del Muerto de Anclaje. Fuente: Elaboración Propia.

| Estrato 2 | | |
|-----------|---------------------------------|-------|
| CL | γ_h [kN/m ³] | 18.5 |
| | ϕ mod | 20.36 |
| | K_o | 0.66 |
| | K_a | 0.48 |
| | K_p | 2.07 |
| | L | 1.00 |

| Estrato 2 | | |
|-----------------|----|--------------|
| | d1 | 0.75 |
| Ecuación cúbica | a | 0.2448757769 |
| | b | 1.399295678 |
| | c | 0 |
| | d | -12.32432432 |
| d2 | | 2.48 |

La ecuación a partir de la cual se despeja la profundidad del muerto fue extraída del libro en la bibliografía "Fundamentos de la Mecánica de Suelos" de Roy Whitlow que se muestra en la *Figura A2-5*.

$$\text{Bloque separado: } T_A = \frac{1}{2} \gamma d_2^2 [L(K_p - K_a) + K_0(d_2 - d_1) \tan \varphi'_{mob.}]$$

Siendo T_A = tirón permisible (siempre que $d_1 \leq \frac{1}{2}d_2$)

L = longitud del muerto por tirante de anclaje

d_1 = profundidad a la superficie superior del muerto

d_2 = profundidad a la superficie inferior del muerto

γ = peso unitario del suelo

K_a, K_p, K_0 = coeficientes de presión de tierra basados en $\varphi'_{mob.}$

$\varphi'_{mob.}$ = ángulo de fricción factorizado

Figura A2-5 - Cálculo de tirón admisible del muerto de anclaje. Fuente: Fundamentos de la Mecánica de Suelos (Whitlow, R. 1999).

Se define utilizar unas dimensiones del muerto en planta igual al módulo de la pantalla (0,50 m x 2,50 m) debido a la disponibilidad del mismo equipo para ambos elementos, adoptando la dimensión L de la ecuación anterior como el espesor del muerto en 0,50 m, quedando como incógnita la profundidad d_2 desde la superficie.

Finalmente, se establece la altura total del muerto en 3,00 m. La armadura vertical se adopta a partir del mínimo por fluencia lenta para columnas considerando como el caso en el cual el área de la sección transversal supera a la necesaria por compresión, resultando ser de 0,50 % de la sección real (0,50 m x 2,50 m). Esto se justifica en función de que las cargas verticales sobre el muerto (peso propio y flujo de agua) sobre sensiblemente menores que el esfuerzo introducido por el tensor. Además se adoptan estribos mínimo reglamentarios como elemento a flexión. Ambos cálculos se muestran en las *Tabla A2-15* y *A2-16*.

Tabla A2-15 - Determinación de la armadura vertical del Muerto de Anclaje. Fuente: Elaboración Propia.

| Armadura vertical Muerto de Anclaje | |
|---------------------------------------|---------------------|
| Área mínima (0,5%) [cm ²] | 62.50 |
| Ø. propuesto [mm] | 20.00 |
| Cantidad de barras Ø propuesto | 19.89 |
| As adoptada | 20 de Ø20 perímetro |

Tabla A2-16 - Determinación de la armadura transversal del Muerto de Anclaje. Fuente: Elaboración Propia.

| Estribos del Muerto de Anclaje | |
|---------------------------------|-------------|
| Av min / s [cm ² /m] | 12.55 |
| s max [cm] | 21.60 |
| Ø arm trans [mm] | s [cm] |
| 16 | 32.04 |
| Av adoptada | Ø16 c/20 cm |

Continuando con el dimensionamiento de las armaduras, para el caso de la viga de coronamiento se decide dividir a la misma en tramos con el fin de optimizarlas. De esta manera, se diferencian dos zonas, la zona central (viga del tramo vertiente) y la zona de los laterales (viga en los tramos no vertientes). A su vez cada zona se subdividen en dos más, resultando un total de cuatro zonas. Esto se muestra en la *Figura A2-6*.

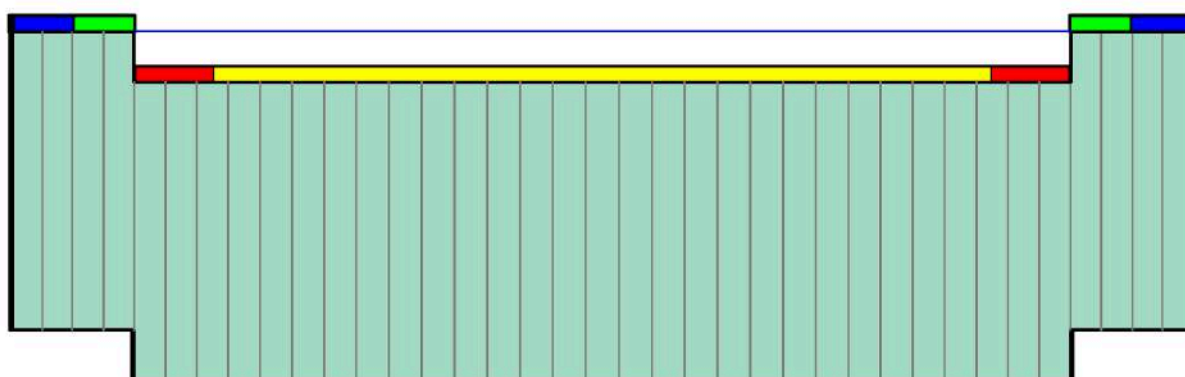


Figura A2-6 - Zonas de división de la viga de coronamiento para determinación de armaduras. Fuente: Elaboración propia.

Las zonas en rojo, extremos de la zona central vertiente, se plantea de unos 6,00 m de longitud para contemplar los esfuerzos locales que se desarrollen en torno al quiebre en altura de la pantalla. Luego, la zona de los laterales se divide a la mitad (magenta y verde).

Para calcular la armadura se establece una modelización de las vigas de coronamiento como vigas simplemente apoyadas en dos tensores sucesivos y calculando una carga uniformemente repartida equivalente a los esfuerzos en los tensores como si fuesen los apoyos. Esto se muestra en la siguiente *Tabla A2-17*.

Tabla A2-17 - Determinación de cargas uniformes equivalentes sobre Vigas de Coronamiento. Fuente: Elaboración Propia.

| Esfuerzos en la Viga de Coronamiento (entre tensores) | | | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------------|-------|----------------------|
| Tramo | Tu (robot) [kN] | Coefficiente | Tu de cálculo [kN] | L [m] | q equivalente [kN/m] |
| Viga Central - Centro (amarillo) | 57.00 | 1.00 | 57.00 | 2.00 | 57.00 |
| Viga Central - Extremo (rojo) | - | 1.60 | 91.20 | 2.00 | 91.20 |
| Viga Lateral - Extremo Int. (verde) | - | 1.20 | 68.40 | 2.50 | 54.72 |
| Viga Lateral - Extremo Ext. (magenta) | - | 0.90 | 51.30 | 2.50 | 41.04 |

Para el cálculo de los esfuerzos T_u para cada zona se tienen en cuenta en forma aproximada ciertos coeficientes para contemplar las variación del esfuerzo respecto al calculado para la zona central (amarilla). Luego, se calculan los esfuerzos de momento y corte para cada caso en la *Tabla A2-18*.

Tabla A2-18 - Determinación de esfuerzos sobre Vigas de Coronamiento. Fuente: Elaboración Propia.

| Tramo | Mu [kNm] | Vu [kN] |
|-----------------------------|----------|---------|
| Viga Central - Centro | 28.50 | 57.00 |
| Viga Central - Extremo | 45.60 | 91.20 |
| Viga Lateral - Extremo Int. | 42.75 | 68.40 |
| Viga Lateral - Extremo Ext. | 32.06 | 51.30 |

Como se mencionó anteriormente, las vigas se consideran como simplemente apoyadas. Si bien el caso más representativo de la situación real es el de vigas continuas, la armadura necesaria resulta ser menor a la mínima reglamentaria. Esto ocurre igualmente en el caso como apoyada-apoyada, donde si bien los momentos de tramo son mayores a los momentos de tramo y apoyo del caso continuo, la armadura requerida es sensiblemente menor a la mínima. Por lo tanto resulta indistinto el caso que se elija para determinar el área de acero longitudinal a flexión.

Una situación similar ocurre con el cálculo del corte, donde la armadura mínima reglamentaria es determinante.

A continuación se indican en las *Tabla A2-19 a A2-26* los cálculos para las cuatro zonas de la viga de coronamiento tanto a flexión, corte y torsión.

Tabla A2-19 - Cálculo de la armadura de las Vigas de Coronamiento. Flexión. Zona Central-Centro. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a Flexión - Viga Central - Centro | | |
|---|---------|-----------------|
| H-40 | | |
| $f'c$ [kN/cm ²] | 4.00 | |
| β_1 | 0.78 | |
| ADN420 | | |
| f_y [kN/cm ²] | 42 | |
| E [kN/cm ²] | 20000 | |
| Se supone sección controlada por tracción | | |
| Determinación de la armadura | | |
| Mu [kNcm] | 2850.00 | tracción afuera |
| b [cm] | 120.00 | |
| h [cm] | 70.00 | |
| d [cm] | 63.00 | |
| ω | 0.00 | |
| As [cm ²] | 1.20 | |
| Asmin [cm ²] | 28.46 | |

| Cálculo de armadura a Flexión - Viga Central - Centro | | |
|---|----------|--|
| Ø [mm] | Cantidad | |
| 20.00 | 9.06 | |
| Verificación sección controlada por tracción | | |
| a [cm] | 0.12 | |
| c [cm] | 0.16 | |
| φ | 1.89E-02 | |
| εte | 1.190 | |
| | | |

Tabla A2-20 - Cálculo de la armadura de las Vigas de Coronamiento. Corte y torsión. Zona Central-Centro. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a Corte y Torsión - Viga Central - Centro | | |
|---|-------------|--|
| H-40 | | |
| f'c [kN/cm ²] | 4.00 | |
| β1 | 0.78 | |
| ADN420 | | |
| fy [kN/cm ²] | 42 | |
| E [kN/cm ²] | 20000 | |
| Determinación de la armadura a corte | | |
| Vu [kN] | 57.00 | |
| bw [cm] | 120.00 | |
| h [cm] | 70.00 | |
| d [cm] | 63.00 | |
| Vs=Vn-Vc | -720.89 | |
| Vs,máx | 3187.58 | |
| Vs,máx > Vs? | Si | |
| Av/s [cm ² /m] | -27.24 | |
| Determinación de la armadura a torsión | | |
| Tu [kNcm] | 0.00 | |
| Acp [cm ²] | 8400.00 | |
| pcp [cm] | 380.00 | |
| Aoh [cm ²] | 6771.00 | |
| ph [cm] | 344.00 | |
| Es necesario? | No | |
| Sección transversal suficiente? | Si | |
| At/s | 0.00 | |
| As/s (2 ramas) | 0.0000 | |
| Avmin/s [cm ² /m] | 11.29384879 | |

| Cálculo de armadura a Corte y Torsión - Viga Central - Centro | | |
|---|----------|-------|
| smax [cm] | | 31.5 |
| Armadura transversal | | |
| Ø arm trans [mm] | s [cm] | |
| 16 | 17.80 | |
| Armadura longitudinal | | |
| Al | | 38.85 |
| Cuántas capas? | 4.00 | |
| Al (por capa) | | 9.71 |
| Almin [cm ²] | | 52.70 |
| Ø. arm long [mm] | Cantidad | |
| 20 | 16.78 | |

Tabla A2-21 - Cálculo de la armadura de las Vigas de Coronamiento. Flexión. Zona Central-Extremo. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a Flexión - Viga Central - Extremo | | |
|--|----------|-----------------|
| H-40 | | |
| f'c [kN/cm ²] | 4.00 | |
| β1 | 0.78 | |
| ADN420 | | |
| fy [kN/cm ²] | 42 | |
| E [kN/cm ²] | 20000 | |
| Se supone sección controlada por tracción | | |
| Determinación de la armadura | | |
| Mu [kNcm] | 4560.00 | tracción afuera |
| b [cm] | 120.00 | |
| h [cm] | 70.00 | |
| d [cm] | 63.00 | |
| ω | 0.00 | |
| As [cm ²] | 1.92 | |
| Asmin [cm ²] | 28.46 | |
| Ø [mm] | Cantidad | |
| 20.00 | 9.06 | |
| Verificación sección controlada por tracción | | |
| a [cm] | 0.20 | |
| c [cm] | 0.25 | |
| φ | 1.18E-02 | |
| ete | 0.742 | |
| | | |

Tabla A2-22 - Cálculo de la armadura de las Vigas de Coronamiento. Corte y torsión. Zona Central-Extremo. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a Corte y Torsión - Viga Central - Extremo | | |
|--|-------------|--|
| H-40 | | |
| f'c [kN/cm ²] | 4.00 | |
| β1 | 0.78 | |
| ADN420 | | |
| fy [kN/cm ²] | 42 | |
| E [kN/cm ²] | 20000 | |
| Determinación de la armadura a corte | | |
| Vu [kN] | 91.20 | |
| bw [cm] | 120.00 | |
| h [cm] | 70.00 | |
| d [cm] | 63.00 | |
| Vs=Vn-Vc | -675.29 | |
| Vs,máx | 3187.58 | |
| Vs,máx > Vs? | Si | |
| Av/s [cm ² /m] | -25.52 | |
| Determinación de la armadura a torsión | | |
| Tu [kNcm] | 0.00 | |
| Acp [cm ²] | 8400.00 | |
| pcp [cm] | 380.00 | |
| Aoh [cm ²] | 6771.00 | |
| ph [cm] | 344.00 | |
| Es necesario? | No | |
| Sección transversal suficiente? | Si | |
| At/s | 0.00 | |
| As/s (2 ramas) | 0.0000 | |
| Avmin/s [cm ² /m] | 11.29384879 | |
| smax [cm] | 31.5 | |
| Armadura transversal | | |
| Ø arm trans [mm] | s [cm] | |
| 16 | 17.80 | |
| Armadura longitudinal | | |
| Al | 38.85 | |
| Cuántas capas? | 4.00 | |
| Al (por capa) | 9.71 | |
| Almin [cm ²] | 52.70 | |

| Cálculo de armadura a Corte y Torsión - Viga Central - Extremo | | |
|--|----------|--|
| H-40 | | |
| f'c [kN/cm ²] | 4.00 | |
| β1 | 0.78 | |
| ADN420 | | |
| fy [kN/cm ²] | 42 | |
| E [kN/cm ²] | 20000 | |
| Determinación de la armadura a corte | | |
| Vu [kN] | 91.20 | |
| Ø. arm long [mm] | Cantidad | |
| 20 | 16.78 | |

Tabla A2-23 - Cálculo de la armadura de las Vigas de Coronamiento. Flexión. Zona Lateral-Extremo Interno. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a Flexión - Viga Lateral - Ext. Int. | | |
|--|----------|-----------------|
| H-40 | | |
| f'c [kN/cm ²] | 4.00 | |
| β1 | 0.78 | |
| ADN420 | | |
| fy [kN/cm ²] | 42 | |
| E [kN/cm ²] | 20000 | |
| Se supone sección controlada por tracción | | |
| Determinación de la armadura | | |
| Mu [kNcm] | 4275.00 | tracción afuera |
| b [cm] | 120.00 | |
| h [cm] | 70.00 | |
| d [cm] | 63.00 | |
| ω | 0.00 | |
| As [cm ²] | 1.80 | |
| Asmin [cm ²] | 28.46 | |
| Ø [mm] | Cantidad | |
| 20.00 | 9.06 | |
| Verificación sección controlada por tracción | | |
| a [cm] | 0.19 | |
| c [cm] | 0.24 | |
| φ | 1.26E-02 | |
| ete | 0.792 | |
| | | |

Tabla A2-24 - Cálculo de la armadura de las Vigas de Coronamiento. Corte y torsión. Zona Lateral-Extremo Interno. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a Corte y Torsión - Viga Lateral - Ext. Int. | | |
|--|--------|-------------|
| H-40 | | |
| f'c [kN/cm ²] | | 4.00 |
| β1 | | 0.78 |
| ADN420 | | |
| fy [kN/cm ²] | | 42 |
| E [kN/cm ²] | | 20000 |
| Determinación de la armadura a corte | | |
| Vu [kN] | | 68.40 |
| bw [cm] | | 120.00 |
| h [cm] | | 70.00 |
| d [cm] | | 63.00 |
| Vs=Vn-Vc | | -705.69 |
| Vs,máx | | 3187.58 |
| Vs,máx > Vs? | Si | |
| Av/s [cm ² /m] | | -26.67 |
| Determinación de la armadura a torsión | | |
| Tu [kNcm] | | 0.00 |
| Acp [cm ²] | | 8400.00 |
| pcp [cm] | | 380.00 |
| Aoh [cm ²] | | 6771.00 |
| ph [cm] | | 344.00 |
| Es necesario? | No | |
| Sección transversal suficiente? | Si | |
| At/s | | 0.00 |
| As/s (2 ramas) | 0.0000 | |
| Avmin/s [cm ² /m] | | 11.29384879 |
| smax [cm] | | 31.5 |
| Armadura transversal | | |
| Ø arm trans [mm] | s [cm] | |
| 16 | 17.80 | |
| Armadura longitudinal | | |
| Al | | 38.85 |
| Cuántas capas? | | 4.00 |
| Al (por capa) | | 9.71 |
| Almin [cm ²] | | 52.70 |

| Cálculo de armadura a Corte y Torsión - Viga Lateral - Ext. Int. | | |
|--|----------|-------|
| H-40 | | |
| f'c [kN/cm ²] | | 4.00 |
| Ø. arm long [mm] | Cantidad | |
| 20 | | 16.78 |

Tabla A2-25 - Cálculo de la armadura de las Vigas de Coronamiento. Flexión. Zona Lateral-Extremo Externo. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a Flexión - Viga Lateral - Ext. Ext. | | |
|--|----------|-----------------|
| H-40 | | |
| f'c [kN/cm ²] | | 4.00 |
| β1 | | 0.78 |
| ADN420 | | |
| fy [kN/cm ²] | | 42 |
| E [kN/cm ²] | | 20000 |
| Se supone sección controlada por tracción | | |
| Determinación de la armadura | | |
| Mu [kNcm] | 3206.25 | tracción afuera |
| b [cm] | 120.00 | |
| h [cm] | 70.00 | |
| d [cm] | 63.00 | |
| ω | 0.00 | |
| As [cm ²] | 1.35 | |
| Asmin [cm ²] | 28.46 | |
| Ø [mm] | Cantidad | |
| 20.00 | | 9.06 |
| Verificación sección controlada por tracción | | |
| a [cm] | | 0.14 |
| c [cm] | | 0.18 |
| φ | | 1.68E-02 |
| ete | | 1.058 |

Tabla A2-26 - Cálculo de la armadura de las Vigas de Coronamiento. Corte y torsión. Zona Lateral-Extremo Externo. Fuente: Elaboración Propia.

| Cálculo de armadura a Corte y Torsión - Viga Lateral - Ext. Ext. | | |
|--|--|------|
| H-40 | | |
| f'c [kN/cm ²] | | 4.00 |
| β1 | | 0.78 |
| ADN420 | | |

| Cálculo de armadura a Corte y Torsión - Viga Lateral - Ext. Ext. | | |
|--|-------------|--|
| H-40 | | |
| fy [kN/cm ²] | 42 | |
| E [kN/cm ²] | 20000 | |
| Determinación de la armadura a corte | | |
| Vu [kN] | 51.30 | |
| bw [cm] | 120.00 | |
| h [cm] | 70.00 | |
| d [cm] | 63.00 | |
| Vs=Vn-Vc | -728.49 | |
| Vs,máx | 3187.58 | |
| Vs,máx > Vs? | Si | |
| Av/s [cm ² /m] | -27.53 | |
| Determinación de la armadura a torsión | | |
| Tu [kNcm] | 0.00 | |
| Acp [cm ²] | 8400.00 | |
| pcp [cm] | 380.00 | |
| Aoh [cm ²] | 6771.00 | |
| ph [cm] | 344.00 | |
| Es necesario? | No | |
| Sección transversal suficiente? | Si | |
| At/s | 0.00 | |
| As/s (2 ramas) | 0.0000 | |
| Avmin/s [cm ² /m] | 11.29384879 | |
| smax [cm] | 31.5 | |
| Armadura transversal | | |
| Ø arm trans [mm] | s [cm] | |
| 16 | 17.80 | |
| Armadura longitudinal | | |
| Al | 38.85 | |
| Cuántas capas? | 4.00 | |
| Al (por capa) | 9.71 | |
| Almin [cm ²] | 52.70 | |
| Ø. arm long [mm] | Cantidad | |
| 20 | 16.78 | |

Además, se tiene en cuenta una armadura lateral de piel para vigas mayores a 90 cm de altura para controlar la fisuración según recomienda el reglamento

CIRSOC 201 - 2005. Para su adaptación se toma el criterio de armadura típica de 2,10 cm²/m dado en el libro “Hormigón Estructural. Conceptos básicos, comportamiento y diseño unificado de elementos típicos para edificios. Segunda edición” del Ing. Oscar Moller. Luego, la adopción de esta armadura se indica en la *Tabla A2-27*.

Tabla A2-27 - Determinación de armadura de piel. Fuente: Elaboración Propia.

| | |
|--|------|
| arm. long de piel [cm ² /m] | 2.10 |
| Ø. long de piel [mm] | 20 |
| Cantidad de barras por m | 0.67 |

Luego, se adoptan las armaduras finales para cada zona definida en la *Tabla A2-28* y *A2-29*.

Tabla A2-28 - Determinación de armadura de Viga de Coronamiento Central-Centro y Lateral-Extremo Externo. Fuente: Elaboración Propia.

| Armadura Adoptada | |
|-------------------|------------|
| Longitudinal | 22 Ø20 |
| Transversal | Ø16 c/17cm |

Tabla A2-29 - Determinación de armadura de Viga de Coronamiento Central-Extremo y Lateral-Extremo Interno. Fuente: Elaboración Propia.

| Armadura Adoptada | |
|-------------------|------------|
| Longitudinal | 38 Ø20 |
| Transversal | Ø16 c/17cm |

Finalmente, el último elemento a considerar es la losa de vinculación y las transiciones. Las mismas no presentan estados de carga dado que se apoyan en su totalidad sobre el suelo o demás elementos estructurales ya tratados, resultando ser un cierre de la obra hidráulica evitando la erosión de suelos en su entorno. De esta manera, se fija una armadura mínima reglamentaria por retracción y fluencia para losas desarrollado en el CIRSOC 201 - 2005. Así se indica la armadura adoptada en la *Tabla A2-30*.

Tabla A2-30 - Determinación de armadura de Losa de Vinculación y Transiciones. Fuente: Elaboración Propia.

| Losa de vinculación | |
|---------------------|------------|
| Cuantía mínima | 0.0018 |
| b [cm] | 100 |
| h [cm] | 30 |
| Ø min [mm] | 10 |
| s max [cm] | 25 |
| As adoptada | Ø10 c/20cm |