



**FORTIN DE PIEDRA - CRUCE HDD - RIO NEUQUÉN
ESTUDIOS GEOTÉCNICOS**

INFORME GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

23/06/2025

CONTENIDO

1. OBJETIVO DEL INFORME.....	2
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL VALLE	2
3. INVESTIGACIONES REALIZADAS	4
3.1 Relevamiento topográfico.....	4
3.2 Relevamientos geofísicos.....	6
3.3 Calicatas.	10
3.4 Sondeos	13
3.4.1. Objetivo	13
3.4.2. Equipo y procedimientos de trabajo	14
3.4.3. Ubicación de los sondeos	16
3.4.4. Resultados de los sondeos	17
3.4.5. Ensayos sobre testigos de roca.....	18
3.5 Calidad del agua del río Neuquén.....	21
4. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO.....	21

ANEXO 1: RELEVAMIENTOS TOPOBATIMÉTRICOS

ANEXO 2: RELEVAMIENTOS GEOFÍSICOS

ANEXO 3: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO 4: SONDEOS GEOTÉCNICOS

ANEXO 5: PLANOS

1. OBJETIVO DEL INFORME

Presentar las evaluaciones de las investigaciones topográficas, geológicas y geotécnicas realizadas que permiten definir las condiciones geológicas y geotécnicas en el sector elegido para el cruce HDD.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL VALLE

Esta descripción sintética del sector del valle del río se considera suficiente a los fines de este estudio, Para mayor información se remite al lector al “*Relatorio del 18º Congreso Geológico Argentino*”.

En el sector estudiado el valle tiene aproximadamente 1.900m de ancho, labrado sobre las sedimentitas de la Formación Portezuelo del Grupo Neuquén, integrada por areniscas y fangolitas (arcilitas y limolitas), propias estas últimas de ambientes de sedimentación tranquila como lagunas o planicies de inundación. En el sector estudiado presenta una estratificación horizontal a levemente subhorizontal sin signos evidentes de diastrofismo que pudiesen indicar la presencia de plegamiento o fracturamiento del sustrato rocoso.

En las mesetas adyacentes, cubriendo a estas sedimentitas, se encuentran los Depósitos de Terrazas compuestos por gravas y arenas con ciertos niveles conglomerádicos llamados en la región lentes petrocálcicos por el tipo de su cementación.

Como se muestra esquemáticamente en la figura 2.2, el río se recuesta sobre la margen derecha al pie de una barranca o barda rocosa de aproximadamente 40 m de altura. En la margen izquierda la barda presenta importantes depósitos de fragmentos de roca creando una falda o abanico de escombros (pollera de talus) debido a que hace mucho tiempo el río no erosiona su pie.



Figura 2.1: Vista del sector del valle en el cruce estudiado

Dentro del valle se desarrolla la llanura de inundación compuesta por sedimentos aluvionales de variada granulometría y compacidad que en general puede clasificarse como grava arenosa, con espesores en general del orden de 10 metros, pudiendo alcanzar en ciertos paleocanales labrados en la roca los 15 metros. Este valle de inundación queda parcialmente sumergido con crecidas de recurrencia cercana a los 10 años.

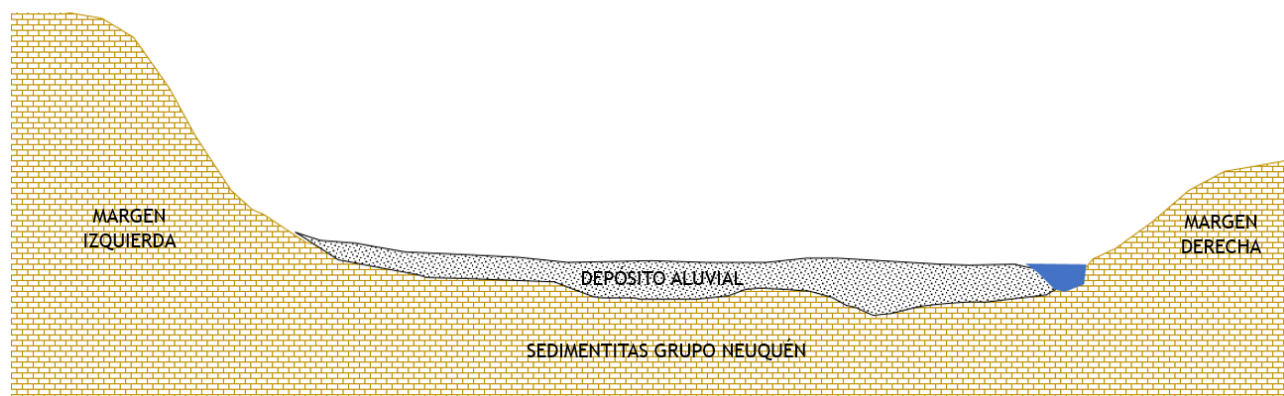


Figura 2.2: Esquema simplificado de la conformación del valle



Figura 2.3: Sedimentitas del Grupo Neuquén; en primer plano pollera de talus



Figura 2.4: Imagen de la llanura aluvial de inundación dentro del valle

3. INVESTIGACIONES REALIZADAS

3.1 Relevamiento topográfico.

Se realizó un relevamiento aerofotogramétrico sobre una superficie de 900ha y siete perfiles batimétricos (figura 3.1.1) para configurar la morfología del cauce actual, abarcando el tramo de valle necesario para determinar los parámetros hidráulicos en diferentes escenarios de crecida.

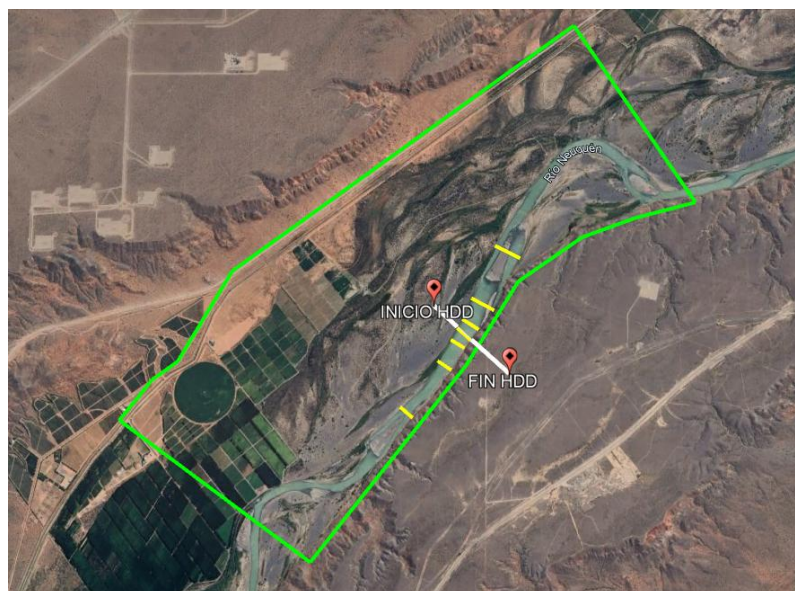


Figura 3.1.1. Ubicación del relevamiento aerofotogramétrico y batimétrico

Se emplearon vehículos aéreos no tripulados (VANT), equipos de ala fija con sistema PPK (Post Processing Kinematics), lo cual permite obtener una cartografía de alta precisión sin la necesidad de establecer puntos de control terrestres (PAF) para la corrección de mapas generados.

Igualmente, se implementó un sistema de doble validación en campo, utilizando puntos aerofotogramétricos medidos en tierra con sistema RTK y vinculados a la red geodésica nacional.

La georreferenciación de las imágenes se ajustó con una precisión de centímetros tras el vuelo, mediante la comparación relativa de las mediciones brutas de las ubicaciones de los satélites con las obtenidas a través de una estación base, que actúa como referencia.

Este sistema optimiza los tiempos de ejecución y asegura la precisión en vuelo, crucial durante el procesamiento de imágenes.

El relevamiento batimétrico se realizó sobre siete perfiles, uno de ellos en coincidencia con el eje de la traza de la HDD, con método de barrido utilizando ecosonda.

Se identificaron sobre el terreno los puntos característicos, tales como el inicio y fin de la HDD prevista, las labores geotécnicas (sondeos, calicatas y relevamientos geofísicos) y se colocaron seis puntos fijos o mojones para facilitar la georreferenciación de futuras labores.

Estos mojones se ubicaron en puntos estratégicos para facilitar la visualización entre ellos conforme a lo mostrado en la figura 3.1.2, y sus coordenadas reales se presentan en la tabla siguiente. La conformación de tales mojones se aprecia en la figura 3.1.3.



Figura 3.1.2. Croquis de ubicación de puntos fijos (PF).

PUNTO FIJO	MARGEN	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
PF-1	Izquierda	5.738.560,07	2.499.987,12	436,09
PF-2		5.738.468,09	2.499.288,59	434,98
PF-3		5.738.337,78	2.499.489,79	435,78
PF-4	Derecha	5.738.250,31	2.499.748,33	465,12
PF-5		5.737.933,99	2.499.940,03	473,19
PF-6		5.738.011,25	2.500.007,42	472,54

Tabla 3.1.1 Coordenadas de los puntos fijos (Gauss-Kruger, Posgar 94, Faja 2; Cotas IGN)



Figura 3.1.3. Conformación de puntos fijos

Para información detallada de estas labores topobatimétricas, ver el Anexo 1.

3.2 Relevamientos geofísicos

Se instalaron 10 tendidos de Tomografía Sísmica de Refracción sobre el eje de estudios de 240 m cada una y solapadas 60 m con determinación de VP y VS, a través de la emisión y recepción de ondas compresionales (P) y de corte (S) con una profundidad promedio que superó los 40 m; dos MASW de 120 metros, alcanzando aproximadamente 40 m de profundidad. Para la determinación de la traza sobre el lecho del río, se empleó el método geofísico de geo-radar GPR, Radargrama 65.dat, con una longitud total de 340 m y en el sector del río con una longitud de 140 m.

En general, en suelos no consolidados las velocidades de ondas longitudinales (V_p) se encuentran por debajo de los 1000 m/s y en rocas sedimentarias entre 1500 y 3000 m/s.

Los sondeos, si bien no están ejecutados exactamente sobre el perfil sísmico, detectaron el techo de roca en niveles con las siguientes velocidades:

SONDEO	Cota del Techo de Roca	Vp (m/s)	Vs (m/s)
S-RN1-1	465,58	1.400	600
S-RN1-6	423,58	1.950	500
S-RN1-7	427,61	1.800	750
S-RN1-8	425,56	1.950	750
S-RN1-9	428,96	1.500	550
Valor medio		1.720,00	630,00

Tabla 3.2.1: Niveles de techo de roca en los sondeos y velocidades sísmicas asociadas

Debe interpretarse que el techo de roca presenta diferentes grados de alteración y de fracturación, de un sector a otro del macizo no obstante lo cual es posible configurar, a partir de las tomografías sísmicas, la posición del techo de roca a lo largo del perfil sísmico realizado.

Al aumentar la calidad de la roca en profundidad, se alcanzan velocidades sísmicas que se acrecientan hasta el entorno de 2.800 m/s para Vp y 1.200 m/s para Vs, indicando una arenisca de buena consistencia y poco fracturada.

En las figuras 3.2.1 y 3.2.2 se muestra la traza originalmente planteada de la HDD, sobre la tomografía de ondas S, pudiéndose advertir que en gran parte de su extensión se desarrolla atravesando roca de buena calidad geotécnica, mientras que en los extremos debe atravesar material granular.

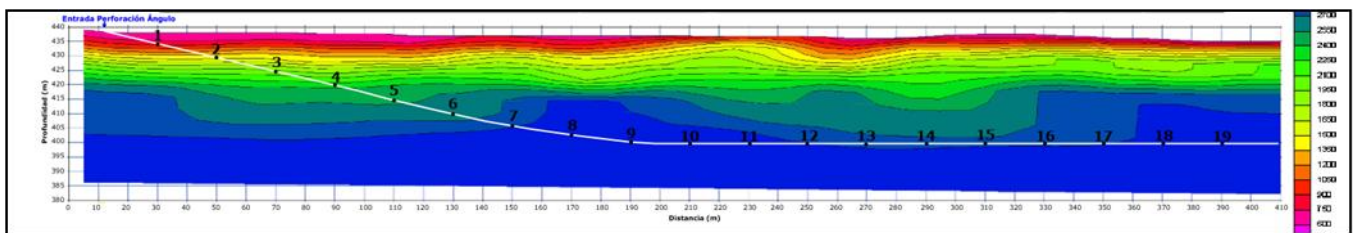


Figura 3.2.1 Interpretación sísmica en la llanura aluvial de margen izquierda

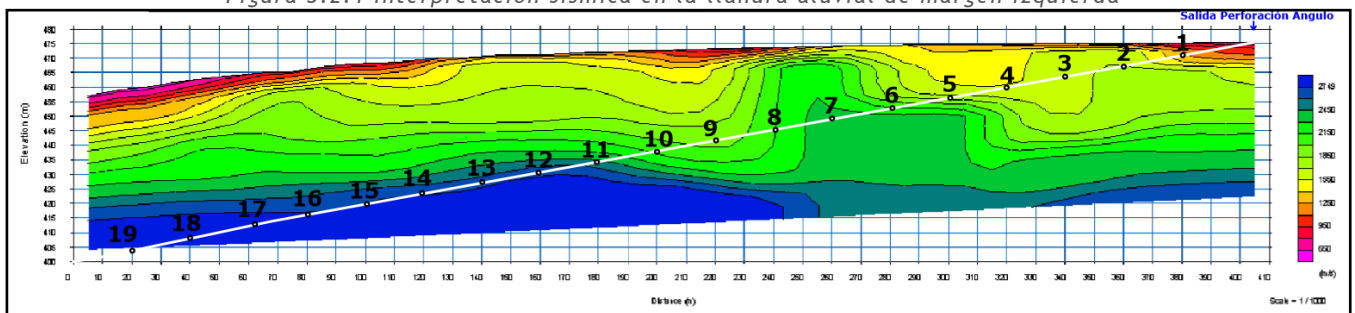


Figura 3.2.2 Interpretación sísmica en la meseta de margen derecha

A partir de los valores de velocidad de la onda S (V_s) y la onda P (V_p) obtenidos en las tomografías sísmicas, sobre puntos seleccionados aproximadamente cada 20m sobre la traza preliminar de la perforación HDD como se muestra en las figuras 3.2.1 y 3.2.2, y se calcularon las constantes elásticas dinámicas del terreno cuyos valores se muestran en las tablas 3.2.2 y 3.2.3. Se ha calculado cada constante para las diferentes profundidades investigadas y se han extrapolado las densidades de las diferentes capas de velocidad según los valores obtenidos en el MASW 3 y del MASW 4, que fueron realizados a metros de la zona de entrada y de salida respectivamente de la traza originalmente prevista del HDD

MASW N°3				
Profundidad (m)	Velocidad de onda S (m/s)	Velocidad de onda P (m/s)	Densidad (g/cc)	Numero de Golpes del Terreno (N)
0	615,13	1.972,80	1,93	20
1,43	612,57	1.969,95	1,93	20
3,08	611,34	1.968,58	1,93	20
4,95	612,40	1.969,76	1,93	20
7,03	639,95	2.000,35	1,94	22
9,34	684,29	2.049,56	1,96	25
11,87	720,15	2.089,37	1,97	28
14,62	752,14	2.124,87	1,98	31
17,58	784,12	2.160,37	1,99	34
20,77	908,73	2.298,69	2,03	46
24,18	1.017,66	2.419,60	2,06	58
27,80	1.228,74	2.653,90	2,12	86
31,65	1.289,64	2.721,50	2,14	95
35,71	1.329,63	2.765,89	2,15	101
48,57	1.332,16	2.768,70	2,15	102

Tabla 3.2.2 Constantes elásticas sobre puntos de la traza proyectada de la HDD en margen izquierda

MASW N°4				
Profundidad (m)	Velocidad de onda S (m/s)	Velocidad de onda P (m/s)	Densidad (g/cc)	Numero de Golpes del Terreno (N)
0	564,41	1.920,32	1,93	18
1,43	564,00	1.919,97	1,93	18
3,08	562,61	1.918,64	1,93	18
4,95	561,24	1.917,43	1,93	18
7,03	580,06	1.938,37	1,93	19
9,34	603,87	1.964,29	1,94	21
11,87	641,24	2.004,53	1,95	24
14,62	674,49	2.039,56	1,96	26
17,58	687,83	2.052,13	1,96	28
20,77	701,02	2.064,58	1,96	29
24,18	712,18	2.075,22	1,96	30
27,80	720,34	2.083,09	1,96	30
31,65	725,22	2.087,98	1,96	31
35,71	727,16	2.090,19	1,96	31
48,57	727,16	2.090,19	1,96	31

Tabla 3.2.3 Constantes elásticas sobre puntos de la traza proyectada de la HDD en margen derecha

La configuración estratigráfica por debajo del cauce actual del río fue determinada mediante la técnica del georadar, navegando con el equipo apropiado para obtener la imagen mostrada en la figura 3.2.3. La línea naranja ha sido interpretada como el contacto aluvial/roca, por un cambio notable en la permitividad dieléctrica. También se observa la configuración batimétrica, es decir el lecho aluvional, con dos canales de erosión; el de margen derecha con una profundidad de unos 14 metros muy próximo al techo de roca.

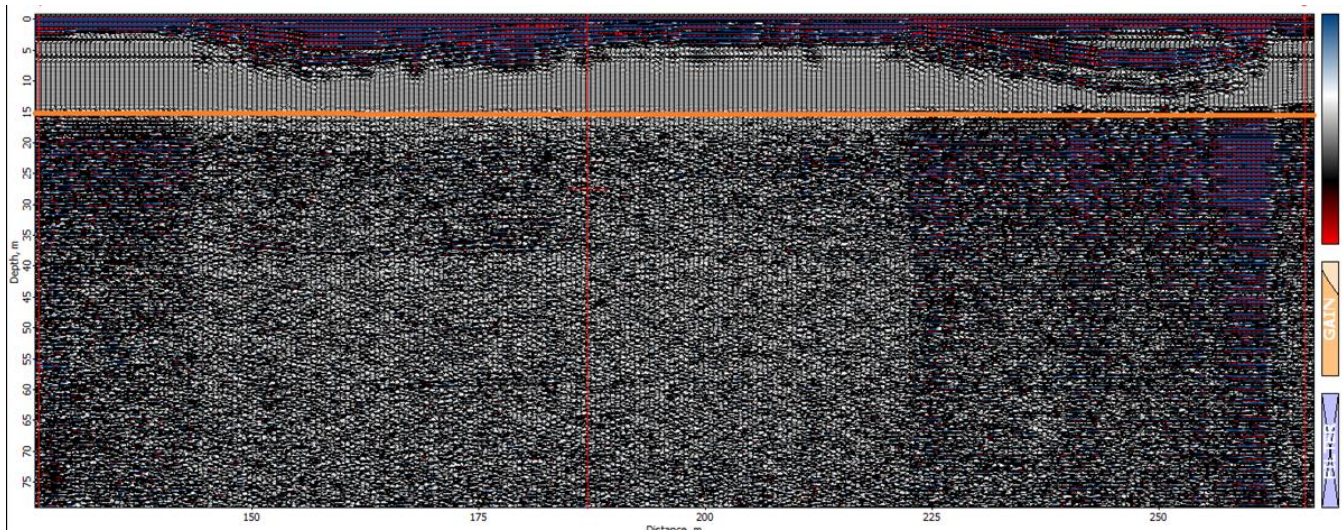


Figura 3.2.3 Interpretación debajo del cauce actual del río mediante georadar.

El procesamiento de toda esta información geofísica ha permitido configurar el espesor aluvional y su contacto con el techo de roca a lo largo de todo el eje estudiado y ello se sintetiza en lo siguiente:

1. El techo de roca se ubicaría aproximadamente en cota 424 en proximidades del río, subiendo hasta cota 429 en la zona del inicio de la HDD. Hacia la margen derecha sube abruptamente por la barranca superando la cota 472.
2. Esta superficie del techo de roca presenta ondulaciones propias de paleocanales labrados en la época erosiva de la historia fluvial.
3. La cubierta aluvional alcanza entonces espesores variables entre unos 5 a 11 m
4. Bajo el lecho del río actual, donde el techo de roca se presenta con un nivel casi uniforme, el aluvial que lo cubre presenta canales de erosión a la izquierda y a la derecha de aproximadamente 5 m el primero y 15m el segundo; este ultimo muy próximo a la roca de base por lo que no sería extraño que en este sector el río se encuentre en fase erosiva.

Toda esta información proveniente de la investigación geofísica, la cual se presenta en el Anexo 2, ha sido integrada al resto de las investigaciones permitiendo elaborar el perfil estratigráfico final mostrado en los planos que acompañan el presente informe en el Anexo 5.

3.3 Calicatas.

Se ejecutaron calicatas mediante el empleo de retroexcavadora en ambos extremos del eje estudiado, para conocer las características de la cubierta sobre la roca; llamada RN1-01 la ubicada sobre la meseta de la margen derecha y RN1-02 la ubicada sobre la llanura de inundación, como se muestra esquemáticamente en la figura 3.3.1.

En ambas se tomaron muestras para su caracterización geomecánica en laboratorio.

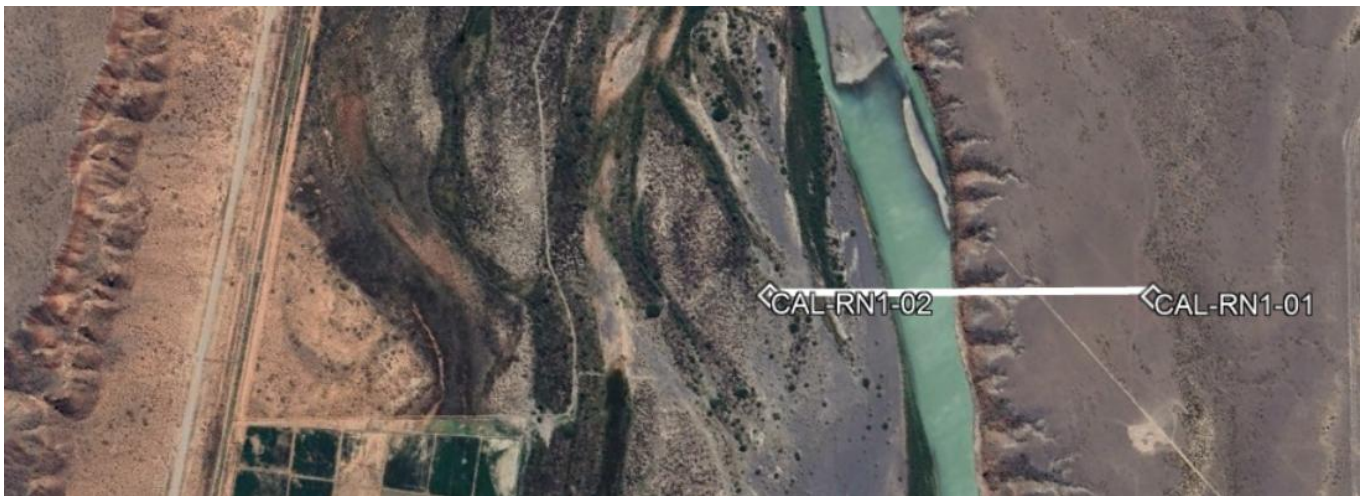


Figura 3.3.1: Ubicación esquemática de las calicatas ejecutas.

CALICATA	MARGEN	coord X	coord Y	coord Z
RN1-01	Derecha	5.737.923,60	2.499.987,13	472,41
RN1-02	Izquierda	5.738.515,97	2.499.333,05	434,34

Tabla 3.3.1: Coordenadas de las calicatas (Gauss-Kruger, Posgar 94, Faja 2; Cotas IGN)

La calicata RN1-01, ubicada en margen derecha sobre la meseta, se detuvo a los 0,5m de profundidad por la presencia de un nivel conglomerádico (petrocálcico). En el perfil descubierto se presenta un material granular suelto, predominantemente areno limoso (clasificada como SM con 49,7% pasante tamiz 200), con gravas medias a gruesas, subredondeadas; no presenta materia orgánica acumulada; es escaso el desarrollo de restos de raíces. En la figura 3.3.3 se muestra la curva granulométrica de la muestra representativa



Figura 3.3.2: Perfil de la calicata RN1-01, excavada sobre la meseta de margen derecha.

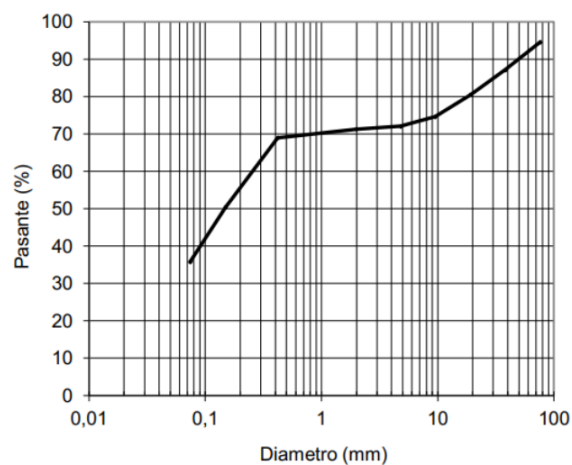


Figura 3.3.3: Curva granulométrica de la muestra tomada en la calicata RN1-01.

La calicata RN1-2, pudo excavarse hasta una profundidad de 2,7m donde se encontró el nivel freático. El perfil del suelo está conformado por material granular grueso del tipo grava arenosa (clasificada como GP), con clastos ígneos de granulometría que varía de mediana a gruesa, subredondeados. No se presenta materia orgánica. Las paredes de este horizonte son medianamente estables con cierta cohesión (8% pasante tamiz 200) y no presentan estructura.



Figura 3.3.4: Perfil de la calicata RN1-02, excavada en la llanura aluvial.

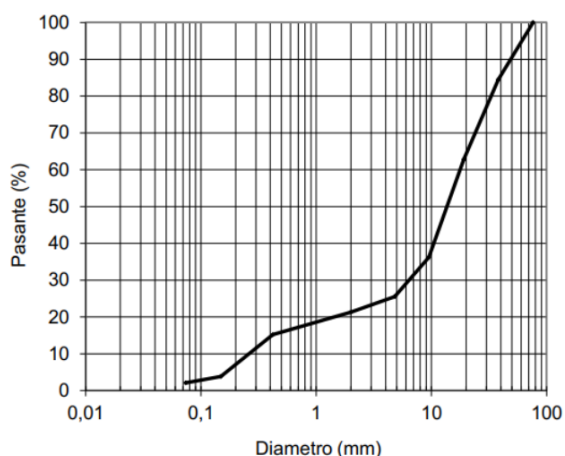


Figura 3.3.5: Curva granulométrica de la muestra tomada en la calicata RN1-02.



Figura 2.3.4: Equipo de excavación utilizado.

De estas calicatas fueron extraídas muestras en cantidad suficiente para la realización de los siguientes ensayos en laboratorio

- Valor soporte VN-E6-84
- Compactación Proctor
- Granulometría

Los resultados se incorporan en el Anexo 3

3.4 Sondeos

3.4.1. Objetivo

El objetivo de estos sondeos fue el de complementar la información obtenida mediante los estudios geofísicos, confirmando la velocidad sísmica correspondiente al nivel del contacto de la roca de base con los depósitos de cubierta, como así también describir el perfil perforado para la configuración

estratigráfica, la detección de estructuras, y los parámetros geomecánicos de las diferentes litologías mediante ensayos de laboratorio sobre los testigos de roca obtenidos.

3.4.2. Equipo y procedimientos de trabajo

Se utilizó un equipo de perforación Bort LongYear LX4, mostrado en la figura 3.4.2.1.

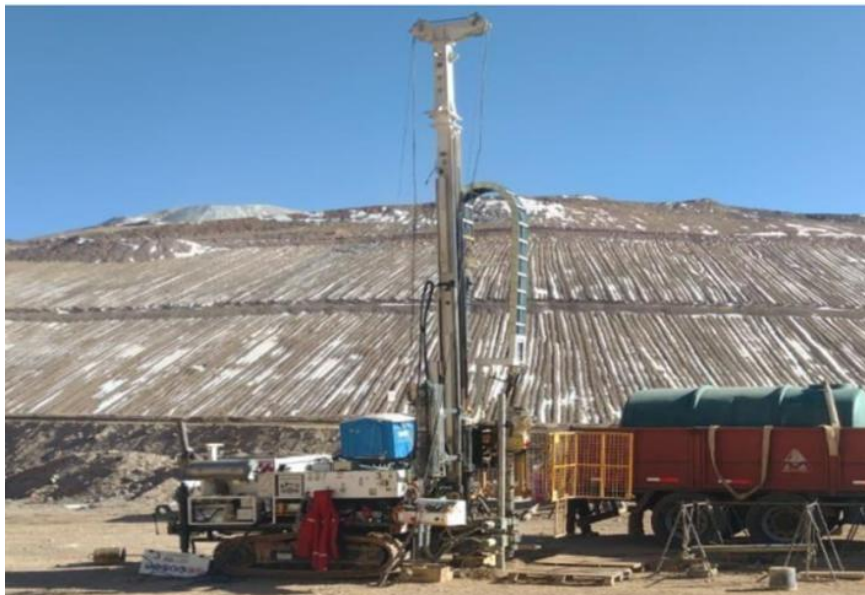


Figura 3.4.2.1: Equipo de perforación BOART LONGYEAR LX4.

Para perforar la cubierta sedimentaria se utilizó martillo neumático, con sistema de entubado continuo (ODEX), martillo de marca PUMA 4.4 y sistema ODEX marca PUMEX DTH 90, con camisa de entubado Φ 115 mm. El motocompresor empleado, mostrado en la figura 3.4.2.2, fue el “ATLAS COPCO” Modelo XRHS800 PACE, transportable con tren rodante, con 14 bares de presión normal de trabajo y 20 bares de presión máxima de trabajo, suministrando aire libre a razón de 24,5 m³/min.



Figura 3.4.2.2: Moto compresor ATLAS COPCO XRHS 800

Durante la perforación, se recuperó muestras metro a metro de la boca de la perforación (cutting) lo cual, si bien permitió identificar el material que se perforaba, no representa fielmente su granulometría real debido a la rotura de los clastos mayores. Se realizaron ensayos de penetración SPT al finalizar cada metro de avance siguiendo la normativa vigente.

Al alcanzarse el techo de roca se procedió a dejar entubada toda la perforación en suelo con casing NW, y por dentro de ésta se bajó la herramienta NQ para perforar la roca con diamantina inyectando agua limpia, recuperando testigos en forma continua.

Con el objeto de lograr la máxima recuperación no se desarrollaron carreras de longitud superior a 1,5m. Las muestras así obtenidas se alojaron en cajas de madera, como la mostrada en la figura 3.4.2.3, con capacidad para 4 metros lineales de testigos distribuidos en cuatro cunas paralelas de 1m.

Todas las cajas son propiedad del cliente y fueron entregadas en el depósito destinado a tal fin en las instalaciones de Fortín de Piedra.



Figura 3.4.2.3: Caja portatestigos

Todos los testigos obtenidos fueron cuidadosamente analizados por geólogos experimentados y entrenados en estas labores, quienes describieron su litología, su porcentaje de recuperación, su RQD, su grado de fracturamiento, alteración y consistencia, y finalmente el nivel freático.

La figura 3.4.2.4. muestra un encabezado de la plantilla de registro o Log de perforación.

REGISTRO DE SONDEOS							S-RN1-06		Hoja 1 de 4		FECHA DE EJECUCIÓN 16 Y 17 /02/2025		COORDENADAS (POSGAR 94 - Faja 2)		X: 5.738.335,46 Y: 2.499.517,63 Z: 433,98	
PROFUNDIDAD	COTA	NIVEL PRELÍTICO	MÉTODO DE PERFORACIÓN	LONG. DE CARRERA	ESTRATIGRAFÍA	DESCRIPCIÓN VISUAL	SPT (Nº de golpes cada 15cm - N6)	RECUPERACIÓN	RQD	FRACTURAMIENTO (Tabla 1)	BUZAMIENTO PREDOMINANTE	ALTERACIÓN (Tabla 2)	CONSISTENCIA (Tabla 3)			
						Perforación a rotoperCUSión sistema Odex en cubierta sedimentaria: descripción sobre muestras recuperadas en boca de pozo y por lo tanto alterada su granulometría Perforación rotativa en roca: testigos de roca NQ	0-15cm 15-30cm 30-45cm 45-60cm 60-75cm 75-90cm 90-100cm 0-10 10-20 20-30 30-40 40-50 50-60 60-70 70-80 80-90 90-100	0-10 10-20 20-30 30-40 40-50 50-60 60-70 70-80 80-90 90-100	0-10 10-20 20-30 30-40 40-50 50-60 60-70 70-80 80-90 90-100	F6 F5 F4 F3 F2 F1	0° 0°-10° 10°-25° 25°-45° 45°-75° 75°-90°	VI V IV III II I	Degradada Muy blanda Blanda Dura Muy consist.			

Figura 3.4.2.4: Encabezado de Log de perforación

El anexo 4 contiene todas estas descripciones o logs de perforación, junto a los resultados de todos los SPT realizados y las fotografías de las muestras obtenidas, tanto en la roca mediante diamantina como en la cubierta aluvional mediante rotoperCUSión.

3.4.3. Ubicación de los sondeos

Se realizaron primeramente los siguientes sondeos

- SRN1-1: Ubicado sobre la terraza de margen derecha y aproximadamente en el sitio señalado como Fin de la HDD en su trazado original.
- SRN1-6: Ubicado en la llanura de inundación, en la margen izquierda del río y en su proximidad.
- SRN1-9: También en la llanura aluvional pero aproximadamente en el sitio señalado como Inicio de la HDD en su trazado original

En una segunda etapa se consideró necesario complementar dicha información con los siguientes sondeos:

- SRN1-7: Ubicado en un sector donde la geofísica detectó una depresión importante del techo de roca bajo la llanura aluvional, como así también un aparente pliegue en las capas de diferente velocidad sísmica.
- SRN1-8: Ubicado en una posición intermedia entre este último y el punto de Inicio proyectado de la HDD, en el tramo donde ésta adopta una inclinación para emerger a superficie.

Tal como fuera solicitado, estas perforaciones no se realizaron sobre el perfil de estudio, sino desplazadas hacia aguas arriba o abajo para evitar fugas del material de perforación de la HDD. La figura 3.4.3.1 muestra esquemáticamente las posiciones y la tabla 3.4.3.1 sus coordenadas reales.



Figura 3.4.3.1: Ubicación esquemática de los sondeos realizados

SONDEO	coord x	coord y	coord z
S-RN1-1	5.737.991,86	2.499.933,21	472,28
S-RN1-6	5.738.334,82	2.499.517,41	433,98
S-RN1-7	5.738.398,43	2.499.449,20	434,11
S-RN1-8	5.738.466,83	2.499.411,75	433,96
S-RN1-9	5.738.493,55	2.499.330,72	434,57

Tabla 3.4.3.1: Coordenadas de los sondeos (Gauss-Kruger, Posgar 94, Faja 2; Cotas IGN)

3.4.4. Resultados de los sondeos

Como síntesis de lo obtenido se muestra en la tabla 3.4.4.1 los espesores de cubierta aluvional, la profundidad perforada en roca y la cantidad de ensayos SPT realizados.

SONDEO	Longitud perforada(m)			N° de ensayos SPT
	Cubierta	Roca de base	Total	
S-RN1-1	6,70	18,40	25,10	6
S-RN1-6	10,40	29,60	40,00	10
S-RN1-7	6,50	43,50	50,00	6
S-RN1-8	8,00	16,00	24,00	7
S-RN1-9	5,60	19,40	25,00	5
Total	37,20	126,90	164,10	34,0

Tabla 3.4.4.1: Longitudes perforadas y número de ensayos SPT realizados en la cubierta

Los sondeos han permitido establecer que el techo de roca se corresponde con las velocidades sísmicas del orden de 1720 m/s y 630 m/s para las ondas longitudinales (P) y de corte (S) respectivamente, y ellos se debe a las condiciones de fracturamiento, alteración y consistencia. Ver tabla 3.2.1.

En la tabla 3.4.4.2 se muestra el nivel de la boca de pozo, del techo de roca determinado por los sondeos, del fondo del pozo y los espesores de la cubierta aluvional.

SONDEO	Cota			Espesor de la cubierta (m)
	Boca de pozo	Techo de Roca	Fin del sondeo	
S-RN1-1	472,28	465,58	447,18	6,70
S-RN1-6	433,98	423,58	393,98	10,40
S-RN1-7	434,11	427,61	384,11	6,50
S-RN1-8	433,96	425,56	409,96	8,40
S-RN1-9	434,56	428,96	409,56	5,60

Tabla 3.4.4.2: Niveles de boca de pozo, techo de roca, fin del sondeo y espesor de la cubierta aluvional

Se logró entonces establecer el perfil de techo de roca que se muestra en los planos insertos en el Anexo 5.

3.4.5. Ensayos sobre testigos de roca

Testigos de roca de longitud apropiada y diferente clases litológicas fueron seleccionados y enviados al laboratorio geotécnico para obtener parámetros útiles a la hora de evaluar sus características geotécnicas. En muchas capas litológicas fue dificultoso obtener muestras apropiadas por la fragmentación causada por la fisilidad, es decir la división en capas delgadas a lo largo de planos paralelos. Entre ellos, los testigos identificados como 6-5 y 6-7, arcilita de grano fino, no presentaron condiciones aptas y se rompían por los planos de fisilidad al intentar prepararlos para el ensayo. En la tabla 3.4.5.1 se presenta el listado de muestras ensayadas y sus resultados.

Por otra parte, se enviaron dos cajas completas de testigos de roca, una con muestras de fangolitas (arcilitas y limolitas) y la otra con muestras de areniscas, para obtener el valor de su resistencia al desgaste ejecutando sobre ellas el ensayo Los Ángeles. Previo al ensayo de desgaste se seleccionaron testigos para realizar sobre ellos la determinación de densidad como así también resistencia a la compresión simple, complementando los ensayos mencionados anteriormente.

En las figuras 3.4.5.1 y 3.4.5.2 se muestran las mencionadas cajas mientras que en la tabla 3.4.5.2 se muestran los resultados obtenidos.

ENSAYOS SOBRE MUESTRAS DE ROCA						
TESTIGO	PROFUNDIDAD		DESCRIPCIÓN	Peso Unit	Resist. Comp. (qu)	
	DESDE	HASTA		(g/cm ³)	kg/cm ²	(MPa)
6-1	27,10	27,40	ARENISCA de grano fino, aislada mediana, castaño gris claro a blanco pálido, cuarzosa, clastos son de color blancos, aislados anaranjados y verde claro, subredondeados, consolidada, abundante presencia de mica biotita y muscovita, no presenta equistosidad, no se identificaron diaclasas.	2,171	266,3	26,1
6-2 (1)	29,30	29,75	LIMOLITA ARENOSA grano muy fino, blanco grisáceo a verde oliva claro, compacta (levemente se raya con el dedo), moderada presencia de mica biotita, no presenta equistosidad, no se identificaron diaclasas. Presenta estratificación paralela y entrecruzada.	2,289	224,6	22
6-2 (2)				2,253	291,1	28,6
6-3	30,15	30,50	ARENISCA de grano muy fino, gris claro a verde oliva claro, cuarzosa, los clastos son de color blanco y aislado anaranjados, subredondeados a redondeados, consolidada, moderada presencia de mica, no presenta equistosidad, no se identificaron diaclasas. Presenta estratificación angular.	2,145	289,9	28,4
6-4	31,00	31,28		2,304	217,9	21,4
6-6	35,90	36,20	ARCILITA de grano muy fino, castaño rojizo oscuro a castaño oscuro, presenta venillas de yeso fibroso, no presenta equistosidad, no se identificaron diaclasas. Poco compacta (se raya con el dedo). Se identificaron aislados nodulos de limolita verde oliva claro de 4 mm de diámetro. Presenta fracturas horizontales.	2,27	100,3	9,8
7-5	19,52	19,87	Arenisca muy gruesa con clastos de arcilla de hasta 0.02m, parda-rojiza clara, blanda.	1,893	152,6	15
7-6	20,20	20,40	Arenisca gruesa, cuarzosa, con clastos de arcilla e interestratificación de finas capas de arcilla. de color parda-rojiza clara y tonos blanquecinos, blanda.	2,013	170,8	16,7
7-7	20,60	20,90	Arenisca cuarzosa de color parda-rojiza clara, muy blanda. Con interestratificación de arcillas.	1,971	189,9	18,6
7-8 A	27,87	28,01	Arenisca muy fina con limo, presenta cuarzo y laminas de biotita, color pardo rojizo. Muy blanda	2,376	184,5	18,1
7-8 B	28,08	28,29		2,372	202,6	19,9
7-9	28,29	28,49		2,032	161,7	15,9

Tabla 3.4.5.1: Peso unitario y Resistencia a la Compresión Simple



Figura 3.4.5.1: Caja de testigos para ensayos de resistencia al desgaste. FANGOLITAS



Figura 3.4.5.2: Caja de testigos para ensayos de resistencia al desgaste. ARENISCAS

ENSAYOS SOBRE MUESTRAS DE ROCA	MUESTRA	
	SRN1-06	SRN1-07
PROFUNDIDAD DE LAS MUESTRAS (m)	33,70 - 37,14	23,92 - 27,87
COTA DE LAS MUESTRAS (m)	400,28 - 396,84	23,92 - 27,87
DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS	FANGOLITAS: Limolitas y Arcilitas	ARENISCAS
DENSIDAD APARENTE (g)		
TN1	2,349	2,190
TN2	2,271	2,215
Valor medio	2,310	2,203
PÉRDIDA POR ABRASIÓN - Resistencia al desgaste; ensayo Los Ángeles (%)		
Todos los testigos de la caja (Secos)	53,3	96,4
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)		
TN1 - (Húmedo)	8,30	
TN2 - (Húmedo)	6,90	
Valor medio (Húmedo)	7,60	
TN3 - (Seco)	19,10	6,90
TN3 - (Seco)	12,30	4,70
Valor medio (Seco)	15,70	5,80

Tabla 3.4.5.2: Peso unitario y Resistencia al Desgaste y Resistencia a la Compresión Simple

Todo esto se describe en el Anexo 3

3.5 Calidad del agua del río Neuquén.

Se tomaron muestra de agua en el río para determinar sus características, las que son mostradas en la tabla 3.5.1 indican que cumple con los requisitos establecidos para agua de mezclado de hormigones por la Norma IRAM 1601:12 y por el Reglamento CIRSOC 201-05. Ver Anexo 3.

Requisitos según IRAM 1601:12	Unidad	Máximo Admisible (agua no recuperada)	Agua TECNORED Río Neuquén Marzo 2025
Residuo Sólido (para agua no recuperada)	mg / dm ³	5000	226
Materia orgánica, como oxígeno consumido	mg / dm ³	3	< 0,1
pH	-	> 4,0	7,2
Sulfato, expresado como SO ₄ ⁻²	mg / dm ³	2000	70
Cloruro, expresado como Cl ⁻	mg / dm ³	1000 – 500 (H°A° – H°P°)	32
Álcalis, como (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)	mg / dm ³	1500	46

Tabla 3.5.1: Características del agua del río Neuquén, muestreada en marzo 2025 -

4. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO

La integración de los estudios arriba mencionados nos permite elaborar el perfil estratigráfico esquemático a lo ancho del valle el cual se muestra la lámina 1 del Anexo 5.

Se trata de un valle de aproximadamente 2 mil metros de ancho y sus características generales han sido descriptas en el apartado 2 de este informe.

Las labores geotécnicas se desarrollaron sobre el sector indicado en la requisitoria, es decir sobre la llanura de inundación abarcando aproximadamente 270m desde el río hacia margen izquierda, sobre el mismo río con georadar y extendiéndose hacia la terraza de margen derecha o sureste, unos 370m. Esto es a lo largo de la traza proyectada de la HDD

Entre el valle de inundación y esta terraza hay una diferencia en altitud de unos 40m. La lámina 2 del Anexo 5 muestra dicho perfil.

El análisis de los tendidos sísmicos y del georadar permiten inferir el espesor de la cubierta sedimentaria a lo largo de todo el perfil, lo cual se ha calibrado con los sondeos.

La cubierta aluvional así determinada presenta espesores, en general, del orden de 5 a 11m; en algunos sectores aparecen profundidades mayores que pueden interpretarse como paleocauces labrados en la roca por el río en diferentes fases de su historia geológica, pudiendo alcanzar en algunos sectores los 15m. Especialmente bajo el actual cauce, el georadar ha detectado la presencia de dos canales, alcanzando probablemente la roca de base el de margen derecha; esto indicaría que en este sector el río se encuentra en fase erosiva.

Los ensayos SPT ejecutados en esta cubierta indican en general rechazo, incluso a partir del primer metro de profundidad, lo cual interpretamos que responde más a la presencia de gravas que a suelos consolidados. Esto podría interpretarse como que en profundidad se encuentran gravas tal como las descubiertas con la calicata RN1-02.

En la terraza, el espesor de la cubierta alcanzaría los 6,5m determinado por la perforación SRN1-01 y confirmado por las velocidades sísmicas, aunque no pudo profundizarse la calicata más allá de los 50cm por la presencia del nivel cementado (petrocálcico).

El análisis de los testigos de perforación, incluido en el Anexo 4, evidencia que la roca de base está constituida básicamente por capas de arenisca, con intercalaciones delgadas de lentes fangolíticos, tal como arcilitas y en menor medida limolitas.

Las capas de areniscas son de delgado espesor y presentan entre si pequeñas variaciones de color, tamaño de grano y, en menor medida, consistencia. Su recuperación ha sido muy buena, normalmente 100%, aunque la fisilidad reduce el RQD. No se han encontrado signos de deformación que pudiesen indicar la ocurrencia de episodios diastróficos. Los ensayos de resistencia a la compresión simple muestran valores variables de 5 a 28 MPa, dispersión que se explica por la variabilidad en el tamaño y en el grado de cementación y consistencia. De hecho, las muestras de arenisca que fueron sometidas al ensayo de desgaste arrojaron una pérdida por abrasión del 96.4%

Las capas de fangolita son de menor espesor que las de arenisca y se presentan en mucha menor medida que éstas. También, en ciertos sectores elevada fisilidad. Los ensayos de resistencia a la compresión simple muestran valores variables de 12 a 28,6 MPa, dispersión que también se explica por la variabilidad en sus características. En este caso y por nuestras experiencias en otras investigaciones con este tipo de material, solicitamos la ejecución de ensayos sobre muestras humedecidas lo cual demostró una notable pérdida de resistencia y del orden del 50%. El ensayo de desgaste arrojó una pérdida por abrasión del 53,3%

La disposición estratigráfica de todo el conjunto es horizontal a levemente subhorizontal.

Claramente y como es normal en este tipo de laboreo y sobre todo en rocas débiles como las aquí presentes, hay tramos de perforación donde la recuperación no es completa, sino que se pierden muestras. Los logs de perforación incluidos en el Anexo 4 dan cuenta de estas pequeñas pérdidas que pueden atribuirse a una disminución en la calidad de la cementación de las areniscas, pero más probablemente a la presencia de delgadas capas intercaladas de fangolitas de baja consistencia que no pudieron ser recuperadas.

En el perfil estratigráfico mostrado en la lámina 2 del Anexo 5 hemos indicado esquemáticamente las capas fangolíticas recuperadas. No se las indica en las perforaciones donde probablemente se hayan perdido por su baja consistencia, como es el caso de las perforaciones 6 y 7 donde entre cotas 410 y 425 podrían existir tales capas. Podría admitirse que las delgadas fangolitas encontradas en las perforaciones 9 y 8 se continúan lateralmente hacia las perforaciones 7 y 6, pero al no tener la certeza optamos por no dibujarlas en el perfil. Diferente es la situación de las capas de limolita y arcilita encontradas en las perforaciones 7 y 6, que por su mayor potencia puede interpretarse con mayor grado de certidumbre que se extienden lateralmente atravesando todo el perfil, aunque las perforaciones 8 y 9 no hayan alcanzado esa profundidad.