

INFORME HÍDRICO

**PROYECTO: EJECUCIÓN SISTEMA
INTERCONECTADO ELÉCTRICO PROVINCIAL**

Ing. Guillermo Ariel Pérez Mardone
MP: 2174

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	3
II. OBJETIVOS	4
III. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
III.1. Influencia del Sistema Fluvial del Río Senguer	4
III.2. Dinámica de Bajos Endorreicos y Mallines	5
III.3. Condicionantes Geomorfologicos	5
IV. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	5
IV.1. Metodología de Trabajo	5
IV.1.1. Caracterización Morfo-Hidrológica del Terreno	5
IV.1.2. Estimación de Intensidades de Lluvia y Desarrollo de Curvas I-D-R	7
IV.1.3. Estimación de Caudales de Diseño según Método Hidrograma Unitario Sintético del SCS (Soil Conservation Service)	7
IV.2. Desarrollo	9
IV.2.1. Caracterización Morfo-Hidrológica del Terreno	9
IV.2.2. Estimación de Intensidades de Lluvia y Desarrollo de Curvas I-D-R	10
IV.2.3. Estimación de Caudales de Diseño según Método Hidrograma Unitario Sintético del SCS (Soil Conservation Service)	17
V. CONCLUSIÓN	21
VI. ANEXO I: Bibliografía y Marco Técnico de Referencia	22

INFORME HIDRICO

I. INTRODUCCIÓN

El presente informe, elaborado a nivel de anteproyecto, tiene por objeto realizar la caracterización integral de las variables territoriales que inciden en el diseño de un futuro tendido de Línea de Alta Tensión (LAT) 132 Kv, que comunicará la Estación Transformadora Cerro Negro ($45^{\circ}45'14.70"S$ $68^{\circ}56'3.82"O$) con la nueva Estación Transformadora Sarmiento, ubicada en la localidad de homónima, Provincia de Chubut. El análisis se centra específicamente en la evaluación de la configuración topográfica y el comportamiento de las redes hidrológicas, factores determinantes para garantizar la viabilidad técnica, la seguridad estructural y la optimización de costos de la infraestructura proyectada.

Metodología de Relevamiento

Para el desarrollo de este estudio, se ha optado por una metodología basada en la explotación de datos satelitales y sistemas de información geográfica (SIG). Este enfoque permite obtener una visión holística del terreno en una región caracterizada por su extensión y variabilidad geomorfológica. El relevamiento incluye:

Modelos Digitales de Elevación (MDE): Se emplearán datos provenientes de misiones como ALOS PALSAR o SRTM para generar perfiles longitudinales del terreno, identificar pendientes críticas y determinar el emplazamiento preliminar de las estructuras de soporte.

Análisis Multiespectral: Mediante el uso de imágenes de las constelaciones Sentinel-2, se realizará la detección de humedad en el suelo y la delimitación de cuencas de drenaje, permitiendo mapear paleocauces y zonas de escorrentía activa que podrían afectar la estabilidad de las fundaciones.

Procesamiento SIG: La integración de estas fuentes permitirá simular escenarios hídricos y modelar la traza con una precisión acorde a la fase de anteproyecto, minimizando la necesidad de campañas de campo extensivas en etapas preliminares.

A través de este diagnóstico geoespacial, se busca proporcionar una base técnica sólida que facilite la toma de decisiones sobre la traza definitiva, asegurando que la futura línea eléctrica responda con resiliencia a las condiciones ambientales propias del entorno de Sarmiento.

II. OBJETIVOS

- Determinar la topografía del terreno mediante modelos digitales: Generar curvas de nivel a partir de datos de Copernicus DEM para verificar la posible traza, optimizando la distribución de las estructuras de soporte y reduciendo el movimiento de suelos.
- Mapear la red hidrológica y cuencas de drenaje: Delimitar las cuencas imbríferas y los cauces (permanentes y temporales) cercanos a la zona de Sarmiento, utilizando herramientas de análisis hidrológico en SIG para evitar el emplazamiento de torres en áreas de alta susceptibilidad a la erosión hídrica.
- Identificar áreas de riesgo por inundación y anegamiento: Analizar el histórico de humedad y niveles de escorrentía mediante índices satelitales (como el NDWI) para determinar zonas de exclusión o sectores que requieran fundaciones especiales debido a la inestabilidad del terreno.
- Cuantificar los cruces críticos y servidumbres de paso: Localizar geográficamente los puntos de intersección con otras infraestructuras, cursos de agua y áreas protegidas, permitiendo una estimación preliminar de las alturas de las estructuras y las distancias de seguridad normativas.

III. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sector de emplazamiento proyectado se localiza en el departamento Río Senguer, en las proximidades de la localidad de Sarmiento, Chubut. Esta región se inserta en un contexto geográfico complejo, definido por la transición entre la meseta patagónica y el valle aluvial, cuya dinámica ambiental está regida por dos sistemas principales:

III.1. Influencia del Sistema Fluvial del Río Senguer

El área de estudio se ve afectada directamente por la llanura de inundación del Río Senguer. Este curso de agua, de régimen mixto (nival y pluvial), presenta una morfología de canales entrelazados y meandros que migran lateralmente. Para el tendido de la Línea de Alta Tensión (LAT), esto implica:

- Inestabilidad de Márgenes: El riesgo de erosión lateral en las terrazas bajas del río obliga a un retiro mínimo de las estructuras respecto al cauce activo.
- Niveles Freáticos Oscilantes: La proximidad al río genera variaciones estacionales en la napa freática, factor que fue monitoreado mediante el análisis de humedad NDMI en este informe para prever procesos de corrosión en las puestas a tierra y pérdida de cohesión en las fundaciones.

III.2. Dinámica de Bajos Endorreicos y Mallines

Fuera del cauce principal, el terreno se caracteriza por la presencia de depresiones o bajos endorreicos típicos de la estepa patagónica. Estas cuencas cerradas funcionan como receptores de la escorrentía superficial de las mesetas circundantes.

- Formación de Mallines: En los sectores de descarga de estas cuencas se desarrollan "mallines" (humedales hidromórficos). Estos suelos orgánicos presentan una bajísima capacidad de carga y alta compresibilidad, siendo zonas de exclusión absoluta para el apoyo de torres de alta tensión debido al riesgo de asentamientos diferenciales.
- Paleocauces y Salinización: El área presenta antiguos cauces ahora inactivos pero conectados hidráulicamente de forma subterránea. El análisis satelital ha permitido identificar estas "cicatrices" en el terreno, las cuales suelen presentar suelos salinos/alcalinos que resultan agresivos para el hormigón de las bases.

III.3. Condicionantes Geomorfológicos

El relieve se presenta como una sucesión de terrazas escalonadas. El diseño de la traza debe priorizar el tránsito por las cotas medias y altas para evitar las zonas de acumulación hídrica de los bajos, pero evaluando cuidadosamente la exposición a los vientos predominantes del oeste, cuya intensidad en estas pampas abiertas define las cargas de viento sobre los conductores y la geometría de las torres.

IV. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

IV.1. Metodología de Trabajo

IV.1.1. Caracterización Morfo-Hidrológica del Terreno

La presente etapa comprende el procesamiento geoespacial y la modelación digital del relieve con el objetivo de definir la configuración física de las cuencas que interceptan la traza de la línea de alta tensión. Mediante el establecimiento de un marco geodésico riguroso en POSGAR 2007 / Argentina 2 y el tratamiento de modelos digitales de elevación (DEM), se procedió a la delimitación de las unidades de aporte y la identificación de los ejes de escurrimiento concentrado.

Esta base topográfica permite extraer los parámetros morfométricos fundamentales —tales como áreas de drenaje, pendientes medias y tiempos de concentración—, los cuales constituyen los datos de entrada indispensables para la aplicación de las curvas de Intensidad-Duración-Retorno (IDR) obtenidas por el Método de Bernard. De esta manera, se asegura una transición técnica coherente entre la realidad física del terreno y el cálculo

hidrológico mediante el Método Racional, garantizando que los caudales de diseño proyectados para la protección de las estructuras respondan con precisión a la dinámica hídrica local del área de Sarmiento.

A continuación, se enumeran los distintos procesos realizados:

1. Configuración Geodésica:

- a) Se estableció el sistema de coordenadas en Gauss-Krueger Argentina Faja 2 (POSGAR 2007 / EPSG 5344) para garantizar mediciones métricas precisas de áreas, longitudes y pendientes en la zona de Sarmiento.

2. Procesamiento del Modelo Digital de Elevación (DEM):

- a) Carga de datos de elevación de alta resolución del IGN.
- b) Llenado de depresiones para corregir imperfecciones del relieve y permitir la continuidad del flujo hídrico hacia los bajos naturales.

3. Extracción de Topografía Limpia:

- a) Generación de curvas de nivel a intervalos de 5 metros.
- b) Filtrado de "islas" mediante la eliminación de polígonos y líneas menores a un umbral de longitud determinado, optimizando la claridad del plano base.

4. Generación de la Red de Drenaje y Cuencas:

- a) Cálculo de la Red de Canales (Streams) mediante un umbral de acumulación (threshold) ajustado a la geomorfología de la estepa.
- b) Delimitación de las subcuencas hidrográficas que intersectan la traza de la línea de alta tensión.

5. Identificación de Puntos de Cruce Críticos:

- a) Determinación mediante software de los puntos exactos de contacto entre la red hídrica y la línea de alta tensión.
- b) Extracción de nodos y conversión a capa de puntos independientes para su análisis individualizado.

6. Análisis Multiespectral:

- a) Mediante el uso de imágenes de las constelaciones Sentinel-2, se realiza la detección de humedad en el suelo y la delimitación de cuencas de drenaje.
- b) Mapeo de paleocauces y zonas de escorrentía activa que podrían afectar la estabilidad de las fundaciones.

IV.1.2. Estimación de Intensidades de Lluvia y Desarrollo de Curvas I-D-R

Tras haber concluido el análisis topográfico y la delimitación de las cuencas de aporte, donde se definieron las pendientes, cauces y los tiempos de concentración del terreno, es imperativo proceder con la Modelación Hidrometeorológica para la Caracterización de Tormentas de Diseño.

Esta etapa permite transformar las características físicas del relieve en parámetros hidráulicos mediante el desarrollo de las Curvas Intensidad-Duración-Recurrencia (I-D-R), las cuales asocian la capacidad de respuesta del suelo con la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos. De este modo, se garantiza que el dimensionamiento de las obras de drenaje no solo responda a la forma del terreno, sino también a la magnitud e intensidad de las lluvias críticas proyectadas para la zona de estudio.

A continuación, se enumeran los distintos procesos realizados:

1. Análisis de Frecuencia de Lluvias Diarias

- a) Recopilación de las series de precipitaciones totales diaria de la Estacion 2269 - Senguerr - Sarmiento-Aeroclub
- b) Procesamiento estadístico mediante distribuciones de probabilidad, como Gumbel o Log-Pearson III, para obtener las profundidades de lluvia asociadas a diferentes periodos de retorno.

2. Elaboración de Curvas I-D-R (Método de Bernard)

- a) Utilización del Método de Bernard para transformar la lluvia diaria en intensidades de diseño.

IV.1.3. Estimación de Caudales de Diseño según Método Hidrograma Unitario Sintético del SCS (Soil Conservation Service)

1. Definir el Número de Curva (CN)

El CN es el factor más importante. En la zona de Sarmiento (estepa patagónica), el suelo suele tener baja capacidad de infiltración por la presencia de arbustos ralos y costras superficiales.

Para la zona de Sarmiento, un valor típico ronda entre 75 y 85

2. Calcular el Potencial de Retención del Suelo (S)

Con el CN definido, se calcula cuánta agua puede retener el suelo antes de que empiece a escurrir (en mm)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

3. Calcular el Tiempo de Rezago (t_p)

El SCS utiliza el t_p para definir cuándo ocurrirá el pico del caudal. Se usa la fórmula de Snyder para calcular directamente el tiempo de rezago (tiempo desde el centro de la lluvia hasta el pico del caudal).

$$t_p = C_t \cdot (L \cdot L_c)^{0,3}$$

Donde:

- L: Longitud del cauce principal en km (desde la salida hasta la divisoria).
- Lc: Distancia desde la salida hasta el punto del cauce más cercano al centroide de la cuenca en km.
- Ct: Coeficiente regional que depende de la pendiente. Para zonas de meseta y llanura como Sarmiento, se recomienda usar un valor entre 1.8 y 2.2.

4. Cálculo del Caudal Pico (q_p)

Una vez obtenido t_p , se calcula el caudal unitario (para 1 mm de lluvia neta):

$$q_p = \frac{2.75 \cdot C_p \cdot A}{t_p}$$

Donde:

- A: Área de la cuenca en km^2 .
- Cp: Coeficiente de retención (típicamente entre 0.4 y 0.8 para la zona de Chubut).

5. Determinar la Lluvia Neta o Efectiva (Pe)

No toda la lluvia calculada llega al río; mucha se infiltra.

Se toma la lluvia total (P) en mm para el periodo de retorno elegido (50 años).

Se aplica la fórmula del SCS:

$$P_e = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S}$$

6. Calcular el Caudal de Pico (Q_p)

Ahora calculamos el valor máximo del hidrograma (el "vértice" del triángulo). Usando el área (A) de la cuenca en km^2 :

$$Q_p = \frac{2,08 \cdot A}{t_p}$$

7. Dibujar el Hidrograma Unitario Sintético

El resultado es un triángulo que representa la "ola" de agua:

- Punto de Inicio: Tiempo = 0, Caudal = 0.
- Punto Máximo: Tiempo = t_p , Caudal = Q_p .
- Punto de Término t_b : El tiempo base donde el agua deja de correr. Se estima como:

$$t_b = 2,67 \cdot t_p$$

8. Integración en el Informe

Para cada cruce de la línea de alta tensión donde el área sea grande, se presentará:

- El Hidrograma: Una gráfica de Tiempo vs Caudal.
- Caudal de Diseño: El valor de (Q_p) para dimensionar las protecciones (gaviones o enrocados).

IV.2. Desarrollo

IV.2.1. Caracterización Morfo-Hidrológica del Terreno

El resultado del proceso descrito se encuentra volcado en los Planos que acompañan el presente informe.

- Plano N°1: Ubicación y Curvas de Nivel
- Plano N°2: Cuencas Hidrográficas y Cauces de Aporte
- Plano N°3: Mapa de Riesgo Hídrico y Delimitación de Paleocauces
- Plano N°4: Perfil Longitudinal y Puntos de Intersección con Cauces

IV.2.2. Estimación de Intensidades de Lluvia y Desarrollo de Curvas I-D-R

1. Análisis de Frecuencia de Lluvias Diarias

Se obtuvieron las series de precipitación diaria de la **Estación 2269 - Senguerr - Sarmiento-Aeroclub** a través del Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH)

La base de datos analizada comprende el período entre el **01/01/1979** y el **31/10/2025**, totalizando **16,890** registros. Sobre este conjunto de datos se aplicó un análisis de frecuencia de lluvia bajo la siguiente metodología:

- Obtener la serie histórica de precipitaciones máximas anuales en 24 horas de la estación meteorológica.

Nº	AÑO	Pmax [mm]	Nº	AÑO	Pmax [mm]	Nº	AÑO	Pmax [mm]
1	1979	27,0	17	1995	42,0	33	2011	18,0
2	1980	19,8	18	1996	13,5	34	2012	17,5
3	1981	18,2	19	1997	51,5	35	2013	40,0
4	1982	16,8	20	1998	35,3	36	2014	14,0
5	1983	23,0	21	1999	23,5	37	2015	15,0
6	1984	10,2	22	2000	20,5	38	2016	16,0
7	1985	16,0	23	2001	14,5	39	2017	120,0
8	1986	54,0	24	2002	25,2	40	2018	15,0
9	1987	49,5	25	2003	24,2	41	2019	22,0
10	1988	35,0	26	2004	15,8	42	2020	15,8
11	1989	12,5	27	2005	24,4	43	2021	20,0
12	1990	30,0	28	2006	11,6	44	2022	26,5
13	1991	57,0	29	2007	19,6	45	2023	13,0
14	1992	38,0	30	2008	37,8	46	2024	14,0
15	1993	17,4	31	2009	22,6	47	2025	10,0
16	1994	20,0	32	2010	17,6			

Tabla Nº1 - Precipitaciones diarias máximas anuales (1979 – 2025)

- b) Corrección OMM: Multiplicar cada máximo anual por 1.13 para estimar la lluvia máxima real de 24 horas.

Nº	AÑO	Pmax [mm]	Nº	AÑO	Pmax [mm]	Nº	AÑO	Pmax [mm]
1	1979	30,5	17	1995	47,5	33	2011	20,3
2	1980	22,4	18	1996	15,3	34	2012	19,8
3	1981	20,6	19	1997	58,2	35	2013	45,2
4	1982	19,0	20	1998	39,9	36	2014	15,8
5	1983	26,0	21	1999	26,6	37	2015	17,0
6	1984	11,5	22	2000	23,2	38	2016	18,1
7	1985	18,1	23	2001	16,4	39	2017	135,6
8	1986	61,0	24	2002	28,5	40	2018	17,0
9	1987	55,9	25	2003	27,3	41	2019	24,9
10	1988	39,6	26	2004	17,9	42	2020	17,9
11	1989	14,1	27	2005	27,6	43	2021	22,6
12	1990	33,9	28	2006	13,1	44	2022	29,9
13	1991	64,4	29	2007	22,1	45	2023	14,7
14	1992	42,9	30	2008	42,7	46	2024	15,8
15	1993	19,7	31	2009	25,5	47	2025	11,3
16	1994	22,6	32	2010	19,9			

Tabla N°2 - *Precipitaciones diarias máximas anuales corregidas según ONM (1979 – 2025)*

- c) Ajuste Estadístico (Gumbel): Calcular la Media (\bar{X}) y la Desviación Estándar (S)
- Media (\bar{X}) = 29,4 mm
 - Desviación Estándar (S) = 20,83916

Para una muestra de ($n = 47$) datos, no se utilizan los valores ideales de una serie infinita. Se deben usar los valores específicos de la tabla de Gumbel para ese tamaño de muestra.

Según las tablas estadísticas de la distribución Gumbel, los valores para una muestra de 47 son:

- Media reducida (\bar{Y}) = 0,5471
- Desviación estándar reducida (S_n) = 1,1557

Ahora se debe calcular la Variable Reducida (Y_T), el cual depende únicamente del Periodo de Retorno (T), con la fórmula:

$$Y_T = -\ln \left(\ln \left(\frac{50}{50-1} \right) \right)$$

Finalmente, se calcula el Factor de Frecuencia (K_T) utilizando para ello la fórmula de Chow:

$$K_T = \frac{Y_T - \bar{Y}}{S_n}$$

d) Cálculo de Lluvia por Recurrencia: Utilizar la fórmula de Gumbel

$$P_T = \bar{X} + K_T \cdot S$$

para obtener la lámina de lluvia para cada periodo de retorno ($T_r = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ y 500 años).

AÑOS (T)	2	5	10	25	50	100	500
Y_T	0,3665	1,4999	2,2504	3,1985	3,9019	4,6001	6,2136
K_T	-0,1563	0,8244	1,4738	2,2942	2,9028	3,507	4,9031
P_T	26,1	46,5	60,1	77,2	89,9	102,4	131,5

Tabla N°3 - Parámetros distribución Gumbel

2. Desagregación Temporal y Cálculo de Intensidades

a) Estimación de Láminas Cortas: Se usa el método del IMD para estimar la precipitación (P_t) para duraciones menores (ej. 5, 15, 60 min) a partir de la (P_{24}) del Paso 1, usando la fórmula:

$$P_t = P_{24} \cdot \left(\frac{t}{24} \right)^{1/3}$$

PRECIPITACIÓN [mm]								
t		RECURRENCIA (T) [Años]						
[min]	[hr]	2	5	10	25	50	100	500
5	0,08	3,9	6,95	8,98	11,53	13,43	15,3	19,64
10	0,17	5,01	8,93	11,54	14,83	17,27	19,67	25,25
15	0,25	5,7	10,16	13,13	16,86	19,63	22,36	28,72
30	0,5	7,18	12,79	16,54	21,24	24,74	28,18	36,18
60	1	9,05	16,12	20,84	26,76	31,17	35,5	45,59
90	1,5	10,36	18,45	23,85	30,64	35,68	40,64	52,19
120	2	11,4	20,31	26,25	33,72	39,27	44,73	57,44
240	4	14,36	25,59	33,07	42,48	49,47	56,35	72,37
360	6	16,44	29,29	37,86	48,63	56,63	64,51	82,84
600	10	19,49	34,73	44,89	57,66	67,15	76,48	98,22
1440	24	26,1	46,5	60,1	77,2	89,9	102,4	131,5

Tabla N°4 - Estimación de láminas cortas (5, 10, 15... minutos)

Tabla N°5 -

- b) Cálculo de Intensidad: Se transforma cada lámina (P_t) a intensidad I [mm/h] dividiendo por el tiempo en horas ($I = P_t/t$).

INTENSIDAD [mm/hr]								
t		RECURRENCIA (T) [Años]						
[min]	[hr]	2	5	10	25	50	100	500
5	0,08	48,75	86,88	112,25	144,13	167,88	191,25	245,5
10	0,17	29,47	52,53	67,88	87,24	101,59	115,71	148,53
15	0,25	22,8	40,64	52,52	67,44	78,52	89,44	114,88
30	0,5	14,36	25,58	33,08	42,48	49,48	56,36	72,36
60	1	9,05	16,12	20,84	26,76	31,17	35,5	45,59
90	1,5	6,91	12,3	15,9	20,43	23,79	27,09	34,79
120	2	5,7	10,16	13,13	16,86	19,64	22,37	28,72
240	4	3,59	6,4	8,27	10,62	12,37	14,09	18,09
360	6	2,74	4,88	6,31	8,11	9,44	10,75	13,81
600	10	1,95	3,47	4,49	5,77	6,72	7,65	9,82
1440	24	1,09	1,94	2,5	3,22	3,75	4,27	5,48

Tabla N°6 - Valores de intensidad

3. Ajuste Matemático con el Modelo de Bernard

- a) Selección del Modelo: Se usa la ecuación de Bernard:

$$I = a \cdot t^{-e}$$

- b) Linealización: Convertir la ecuación a su forma logarítmica para permitir una regresión lineal:

$$\ln(I) = \ln(a) - e \cdot \ln(t)$$

Donde las variables para la regresión lineal serán:

- X = ln (t) (Logaritmo de la duración).
- Y = ln (I) (Logaritmo de la intensidad).
- m = -e (La pendiente de la recta será el negativo del exponente e).
- c = ln (a) (La intersección será el logaritmo del parámetro a).

Y = ln(I)								
t	X	RECURRENCIA (T) [Años]						
[min]	ln(t)	2	5	10	25	50	100	500
5	1,609	3,887	4,465	4,721	4,971	5,123	5,254	5,503
10	2,303	3,383	3,961	4,218	4,469	4,621	4,751	5,001
15	2,708	3,127	3,705	3,961	4,211	4,363	4,494	4,744
30	3,401	2,664	3,242	3,499	3,749	3,902	4,032	4,282
60	4,094	2,203	2,780	3,037	3,287	3,439	3,570	3,820
90	4,500	1,933	2,510	2,766	3,017	3,169	3,299	3,549
120	4,787	1,740	2,318	2,575	2,825	2,978	3,108	3,358
240	5,481	1,278	1,856	2,113	2,363	2,515	2,645	2,895
360	5,886	1,008	1,585	1,842	2,093	2,245	2,375	2,625
600	6,397	0,668	1,244	1,502	1,753	1,905	2,035	2,284
1440	7,272	0,086	0,663	0,916	1,169	1,322	1,452	1,701
Σ	48,439	21,978	28,329	31,150	33,906	35,582	37,013	39,763

Tabla N°7 - Variables para regresión lineal modelo de Bernard (1/2)

t [min]	X ²	X . Y						
		RECURRENCIA (T) [Años]						
		2	5	10	25	50	100	500
5	2,590	6,255	7,185	7,598	8,000	8,246	8,455	8,857
10	5,302	7,791	9,121	9,712	10,289	10,640	10,940	11,515
15	7,334	8,467	10,033	10,727	11,404	11,816	12,169	12,847
30	11,568	9,062	11,026	11,901	12,751	13,270	13,713	14,563
60	16,764	9,019	11,383	12,434	13,458	14,082	14,615	15,639
90	20,248	8,698	11,293	12,448	13,576	14,261	14,846	15,971
120	22,920	8,332	11,100	12,327	13,524	14,255	14,878	16,074
240	30,037	7,005	10,174	11,579	12,949	13,785	14,499	15,868
360	34,646	5,933	9,330	10,843	12,320	13,214	13,979	15,453
600	40,921	4,272	7,959	9,607	11,212	12,187	13,016	14,613
1440	52,888	0,627	4,819	6,664	8,504	9,612	10,557	12,371
Σ	245,218	75,462	103,422	115,839	127,988	135,369	141,666	153,772

Tabla N°8 - Variables para regresión lineal modelo de Bernard (2/2)

- c) Parámetros Finales: Se calculan los parámetros $a = e^c$ y $e = |m|$ (donde y c son la pendiente y la intersección de la regresión).

	RECURRENCIA [Años]						
	2	5	10	25	50	100	500
m	-0,668	-0,668	-0,668	-0,668	-0,668	-0,668	-0,668
c	4,939	5,518	5,775	6,024	6,177	6,307	6,557
e	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668
a	139,675	249,071	322,092	413,258	481,307	548,369	704,131

Tabla N°9 - Parámetros finales para modelo de Bernard

d)

- e) Cálculo de la intensidad según modelo de Bernard

INTENSIDAD [mm/hr]								
t		RECURRENCIA [Años]						
[min]	[hr]	2 Años	5 Años	10 Años	Tr 25 Años	50 Años	100 Años	500 Años
5	0,08	47,7	85	109,9	141	164,2	187,1	240,2
10	0,17	30	53,5	69,1	88,8	103,4	117,7	151,2
15	0,25	22,9	40,8	52,7	67,7	78,8	89,8	115,3
30	0,5	14,4	25,7	33,2	42,6	49,6	56,5	72,6
60	1	9,1	16,2	20,9	26,8	31,2	35,6	45,7
90	1,5	6,9	12,3	15,9	20,5	23,8	27,1	34,8
120	2	5,7	10,2	13,1	16,9	19,7	22,4	28,7
240	4	3,6	6,4	8,3	10,6	12,4	14,1	18,1
360	6	2,7	4,9	6,3	8,1	9,4	10,7	13,8
600	10	1,9	3,5	4,5	5,8	6,7	7,6	9,8
1440	24	1,1	1,9	2,5	3,2	3,7	4,3	5,5

Tabla N°10 - Intensidad de precipitación según modelo de Bernard

- f) Verificación del Ajuste: Calcular el R^2 . Si $R^2 > 0,95$, el modelo es válido.

	RECURRENCIA [Años]						
	2 Años	5 Años	10 Años	Tr 25 Años	50 Años	100 Años	500 Años
r	-0,99997	-0,99997	-0,99997	-0,99997	-0,99997	-0,99997	-0,99997
R^2	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994

Tabla N°11 - Verificación del ajuste

4. Elaboración de las Curvas I-D-R

- Usando la ecuación final de Bernard para cada (Tr) para generar una serie de puntos continuos de intensidad para todas las duraciones.
- Se dibuja las curvas en un gráfico de ejes donde el eje X es la Duración y el eje Y es la Intensidad. Cada línea representa un nivel de Recurrencia (periodo de retorno).

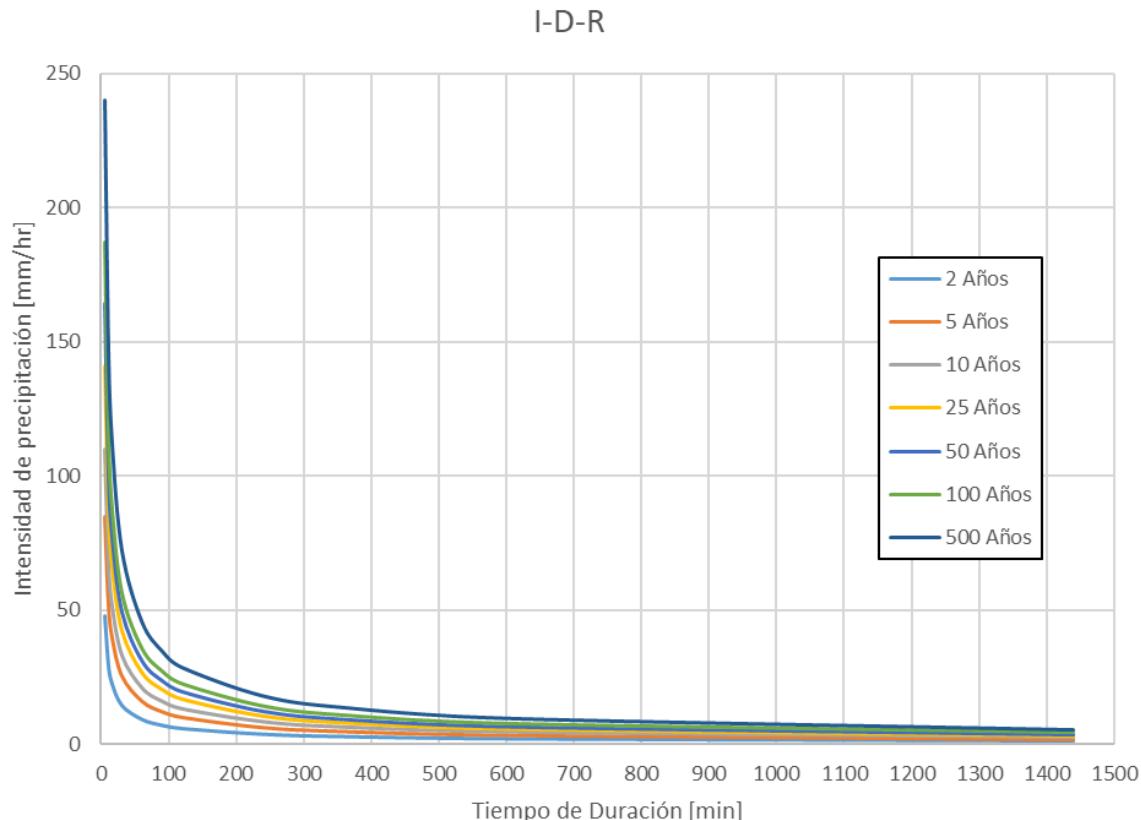


Grafico N°1 - Curvas I-D-R

IV.2.3. Estimación de Caudales de Diseño según Método Hidrograma Unitario Sintético del SCS (Soil Conservation Service)

1. Definir el Número de Curva (CN)

Para la zona de Sarmiento, un valor típico ronda entre 75 y 85, por lo que se adopta

$$\mathbf{CN = 80.}$$

2. Calcular el Potencial de Retención del Suelo (S)

Con el CN definido, se calcula cuánta agua puede retener el suelo antes de que empiece a escurrir (en mm)

$$\mathbf{S = 63,5 \text{ mm}}$$

3. Calcular el Tiempo de Rezago (t_p)

Se calcula para cada cuenca el t_p , tal como se describiera anteriormente.

4. Cálculo del Caudal Pico (q_p)

Una vez obtenido t_p , se calcula cada uno de los caudales unitarios (para 1 mm de lluvia neta):

5. Determinar la Lluvia Neta o Efectiva (P_e)

Se toma la lluvia total (P) en mm para el periodo de retorno elegido (50 años) y se calcula la precipitación efectiva (P_e)

6. Calcular el Caudal de Pico (Q_p)

Finalmente, se calcula el valor máximo del hidrograma (el "vértice" del triángulo). Usando el área (A) de cada cuenca en km^2 :

A continuación, se resumen los resultados obtenidos de los procesos descritos:

Nº	P.I.	L	Lc	Area	tp	Qp	i 50 Años	P	Pe	Qmax
	[km]	[km]	[km]	[km ²]	[hr]	[m ³ /s]	[mm/hr]	[mm]	[mm]	[m ³ /s]
1	8+133.18	28.3	18.8	40.4	13.1	5.1	5.6	73.4	29.7	151.47
2	12+377.34	24.0	10.8	46.5	10.6	7.2	6.4	67.8	25.6	184.32
3	15+660.17	11.5	6.0	25.7	7.1	6	8.4	59.6	19.9	119.4
4	18+613.48	0.9	0.9	6.0	1.9	5.2	20.3	38.6	7.5	39
5	19+467.61	11.4	7.7	16.3	7.7	3.5	8	61.6	21.3	74.55
6	20+938.48	5.7	4.4	10.8	5.3	3.4	10.2	54.1	16.3	55.42
7	23+221.71	11.1	4.5	25.9	6.5	6.6	8.9	57.9	18.8	124.08

Tabla N°12 - Valores según Método de Hidrograma Unitario Sintético del SCS

ACLARACIÓN: Los valores corresponden obtenidos corresponden a cada uno de los cruces numerados en sentido creciente de las progresivas (véase Plano N°4)

7. Dibujar el Hidrograma Unitario Sintético

A continuación, se exhiben cada uno de los hidrogramas unitarios resultantes:

Cruce N° 1	
P.I. 8+133.18	
t	Q
[hr]	[m³/s]
t0	0
tp	13.1
tb	35.0
0	0

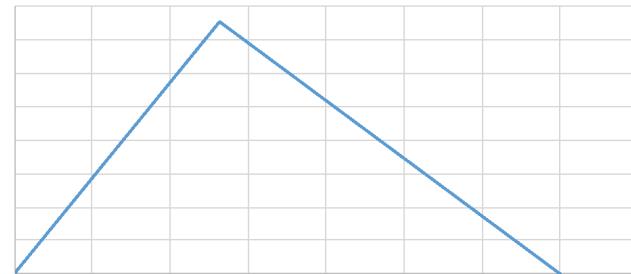


Grafico N°2 - Hidrograma Unitario Cruce N°1

Cruce N° 2	
P.I. 12+377.34	
t	Q
[hr]	[m³/s]
t0	0
tp	10.6
tb	28.3
0	0



Grafico N°3 - Hidrograma Unitario Cruce N°2

Cruce N° 3	
P.I. 15+660.17	
t	Q
[hr]	[m³/s]
t0	0
tp	7.1
tb	19.0
0	0



Grafico N°4 - Hidrograma Unitario Cruce N°3

Cruce N° 4	
P.I. 18+613.48	
t	Q
[hr]	[m ³ /s]
t0	0
tp	1.9
tb	5.1



Grafico N°5 - Hidrograma Unitario Cruce N°4

Cruce N° 5	
P.I. 19+467.61	
t	Q
[hr]	[m³/s]
t0	0
tp	7.7
tb	20.6



Grafico N°6 - Hidrograma Unitario Cruce N°5

Cruce N° 6	
P.I. 20+938.48	
t	Q
[hr]	[m³/s]
t0	0
tp	5.3
tb	14.2



Grafico N°7 - Hidrograma Unitario Cruce N°6

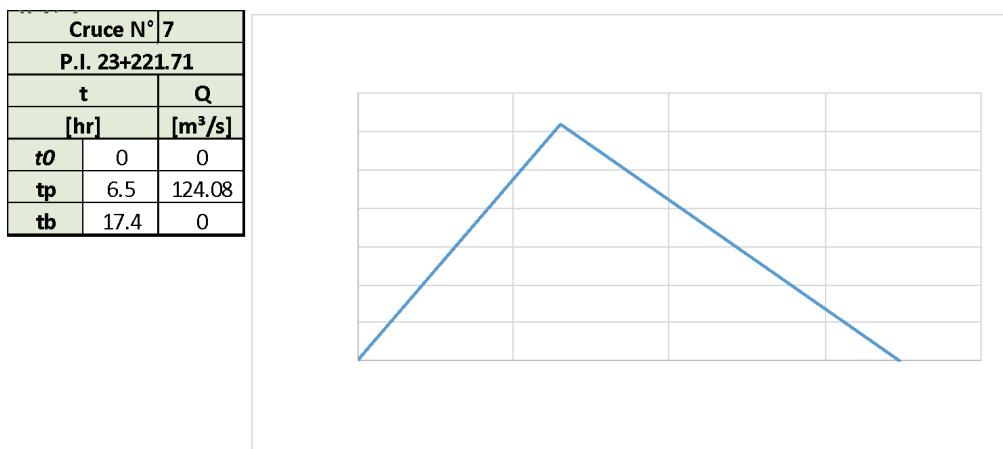


Grafico N°8 - Hidrograma Unitario Cruce N°7

V. CONCLUSIÓN

El análisis morfo-hidrológico integral realizado para la traza de la línea de alta tensión en las proximidades de Sarmiento, Chubut, permite concluir que la infraestructura intersecta cauces de diversa jerarquía, cuya respuesta ante eventos extremos presenta riesgos diferenciados de inundación y socavación.

Mediante el uso de Software y el procesamiento de modelos digitales de elevación (DEM), se logró una delimitación aproximada de las unidades de aporte. La adopción del Método de Snyder, en sustitución de fórmulas empíricas tradicionales de tiempo de concentración, resultó fundamental para corregir las distorsiones temporales propias de las cuencas extensas y de baja pendiente de la meseta patagónica, logrando tiempos de rezago (t_p) consistentes con la dinámica regional.

La integración de los parámetros de diseño —intensidades obtenidas por el Método de Bernard para un periodo de retorno de 50 años y la modelación de escurrimiento mediante el Número de Curva (CN = 80) del SCS—, permitió determinar los caudales máximos de diseño (Q_{máx}).

Como resultado de este estudio, realizado a nivel de anteproyecto, se recomienda:

- **Protección de Fundaciones:** En los puntos clasificados con Riesgo Alto y Muy Alto, donde se compromete la estabilidad del suelo, se hace imperativa la instalación de defensas mediante gaviones de piedra embolsada o enrocados de protección para prevenir la socavación lateral y de fondo.
- **Mantenimiento Preventivo:** Establecer un protocolo de inspección post-tormenta en los cruces identificados, focalizando en la acumulación de detritos que

pudieran alterar la sección hidráulica y elevar el nivel del agua por encima de lo proyectado.

- Monitoreo de Sedimentación: Dado el carácter erosivo de los suelos en la zona, se sugiere prever márgenes de seguridad adicionales (revancha) en el diseño de las protecciones ante posibles variaciones en la morfología del cauce.
- La metodología empleada garantiza que la línea de alta tensión cuente con una base de diseño robusta, minimizando el riesgo de colapso estructural y asegurando la continuidad del servicio ante las contingencias hidrológicas características de la provincia de Chubut.

Cabe destacar que el presente informe técnico ha sido elaborado con un nivel de alcance de anteproyecto, basándose en modelos digitales de elevación globales y métodos hidrológicos sintéticos para una evaluación preliminar de riesgos. En consecuencia, los resultados aquí expuestos deberán ser validados y profundizados mediante estudios de ingeniería de detalle previo a la ejecución de las obras. Resulta indispensable realizar relevamientos topográficos de precisión en terreno (mediante estaciones totales o tecnología LiDAR), así como estudios de suelos específicos (ensayos de granulometría y permeabilidad) en los puntos de cruce identificados, con el fin de ajustar los coeficientes de rugosidad y escurrimiento, garantizando así la máxima exactitud en el dimensionamiento final de las estructuras de protección.

VI. ANEXO I: Bibliografía y Marco Técnico de Referencia

Para la ejecución de los cálculos y la validación de los métodos empleados en este estudio, se utilizaron las siguientes fuentes técnicas y normativas oficiales:

- Datos de Elevación y Cartografía: Instituto Geográfico Nacional (IGN) - República Argentina. Modelos Digitales de Elevación (MDE-Ar) y Marco de Referencia Geodésico POSGAR 07.
- Meteorología y Pluviometría: Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Estadísticas climáticas y registros históricos de la Estación Sarmiento, Chubut.
- Método de Bernard (IDR): Bernard, M. M. (1932). Formulas for Rainfall Intensities of Long Duration. Adaptación para regiones áridas y semiáridas de la Patagonia Argentina.
- Método de Snyder (Hidrología de Grandes Cuenca): Snyder, F. F. (1938). Synthetic Unit Graphs. Transactions of the American Geophysical Union. Manual de referencia del US Army Corps of Engineers (HEC-HMS).
- Método del Número de Curva (SCS/NRCS): USDA National Resources Conservation Service. National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology.

- Hidráulica de Canales: Manning, R. (1891). Flow of Water in Open Channels. Fórmulas aplicadas para el cálculo de tirantes y velocidades críticas en cauces naturales.