

ANÁLISIS DE TRAZAS FERROVIARIAS PARA SU ADAPTACIÓN A UN SISTEMA ELÉCTRICO A BATERIAS EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

Garay Jorge José¹ ; Cuestas Facundo¹ ; Ibarra Santiago¹, Benito Marcos¹

¹Laboratorio de Energías Alternativas (LEA), Facultad Regional Paraná, Universidad Tecnológica Nacional. Paraná (UTN FRP), CP: 3100 Entre Ríos, Argentina.

e mail: lea@frp.utn.edu.ar

RESUMEN: En los últimos años se incrementó el interés de recuperar el transporte ferroviario mediante el aumento de inversiones. Es por esto que desde el Laboratorio de Energías Alternativas de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná se decidió realizar el presente estudio, que tiene como objetivo analizar las trazas ferroviarias tanto en servicio como fuera de servicio que unen Paraná, Entre Ríos – Argentina, con las localidades vecinas, con el fin de proveer los datos necesarios para el análisis de la factibilidad y adaptación de la red interurbana a un sistema de tren eléctrico alimentado a baterías.

Para ello, se estableció una metodología de relevamiento y análisis mediante sistemas de información geográfica, imágenes satelitales y datos estadísticos, identificándose y limitándose a tres trazas posibles: “Paraná-Aranguren”, “Diamante-Hasenkamp” y “Paraná-El Pingo”. El estudio permitió determinar las principales variables de la traza: estaciones, pasos a nivel, alcantarillas, puentes, disponibilidad de superficie, longitud máxima entre estaciones de carga, pendientes máximas y mínimas, radios de curvatura máximos y mínimos, volumen de pasajeros de diseño, entre otros datos.

Palabras clave: ferrocarril, traza ferroviaria, georreferencia, variables de diseño.

INTRODUCCIÓN

El ferrocarril es un sistema de transporte de personas y mercancías conocido por tener grandes ventajas respecto a otros, como su bajo consumo energético por tonelada/kilómetro transportado, bajo impacto ambiental y la posibilidad de realizar transportes masivos (García Álvarez, 2007). En la actualidad el desarrollo tecnológico y la electrificación de las líneas ha permitido desarrollar trenes de alta velocidad en los que se introdujo un mayor nivel de automatización.

La red ferroviaria argentina a partir del año 1960, y con el fin de privilegiar el transporte automotor, sufrió una continua desarticulación donde, para el año 2002, solo se mantuvieron algunas líneas de trenes urbanos y unos pocos ramales de larga distancia. Esto implicó la reducción de la red de 47.500 a 10.000 kilómetros de vías con un mantenimiento casi nulo, material rodante en pésimas condiciones y empresas concesionarias del servicio en proceso de quiebra (Lopez – Waddell – Martinez, 2016). En los últimos años el Estado Argentino manifestó el interés de recuperar el transporte ferroviario mediante el incremento de inversiones en el sector, reactivando ramales deshabilitados o desmantelados, avanzando en obras de electrificación y procediendo con la renovación del material rodante. En la actualidad se cuenta con aproximadamente 18.500 kilómetros de vías activas (Comisión Nacional de Regulación del Transporte, 2021). La provincia de Entre Ríos donde se desarrolla nuestro estudio no fue la excepción, quedando solamente en actividad para transporte de cargas el Ramal UB del ferrocarril General Urquiza (fuera del alcance de nuestro estudio) y para transporte de pasajeros Paraná-Enrique Berduc el Ramal U15 del ferrocarril General Urquiza.

Los ramales que ingresan en la zona de influencia anteriormente descrita son el “U5” que permite recorrer la traza “Paraná-Aranguren”, los ramales “U11”, “U12” y “U16” que recorren la traza “Diamante-Hasenkamp” y el ramal “U15” que recorre la traza “Paraná-El Pingo”. Para cada recorrido se analizan sus principales variables y particularidades

METODOLOGÍA

Debido a la amplitud de la zona de influencia se opta por aprovechar los avances tecnológicos de los últimos años. Herramientas como el software de sistemas de información geográfica e imágenes satelitales de libre acceso que sirven para realizar mapeos, obtener datos georreferenciados y procesar planialtimetrías de las trazas definidas. Es así como se utiliza el potencial del software Google Earth Pro en combinación con herramientas de CAD (diseño asistido por computadora) para obtener la información planialtimétrica objetivo.

Por otro lado, también se utilizarán planillas de cálculo para procesar información estadística de entes oficiales del Estado Argentino, con el fin de conseguir un valor estimado de cantidad de pasajeros que podrían utilizar el servicio.

Relevamiento de trazas

Teniendo en cuenta la extensión territorial abarcada, para el relevamiento de las trazas se utilizó el software Google Earth, el cual permite acceder a imágenes satelitales, datos geográficos y geodésicos. En esta etapa se realizaron tres tareas: delimitación del área de influencia, determinación de ejes de vía, georreferenciación de puntos particulares (estaciones, pasos a nivel, obras de arte, aparatos de vía).

Se utilizó la herramienta “agregar polígono” para delimitar el área de influencia (Figura 1), la herramienta “agregar ruta” para marcar los ejes de vía (Figura 2) y la herramienta “marca de posición” se utilizó para ubicar y georreferenciar puntos particulares (Figura 3). Esta secuencia de tareas se realizó para cada uno de los ramales en estudio.

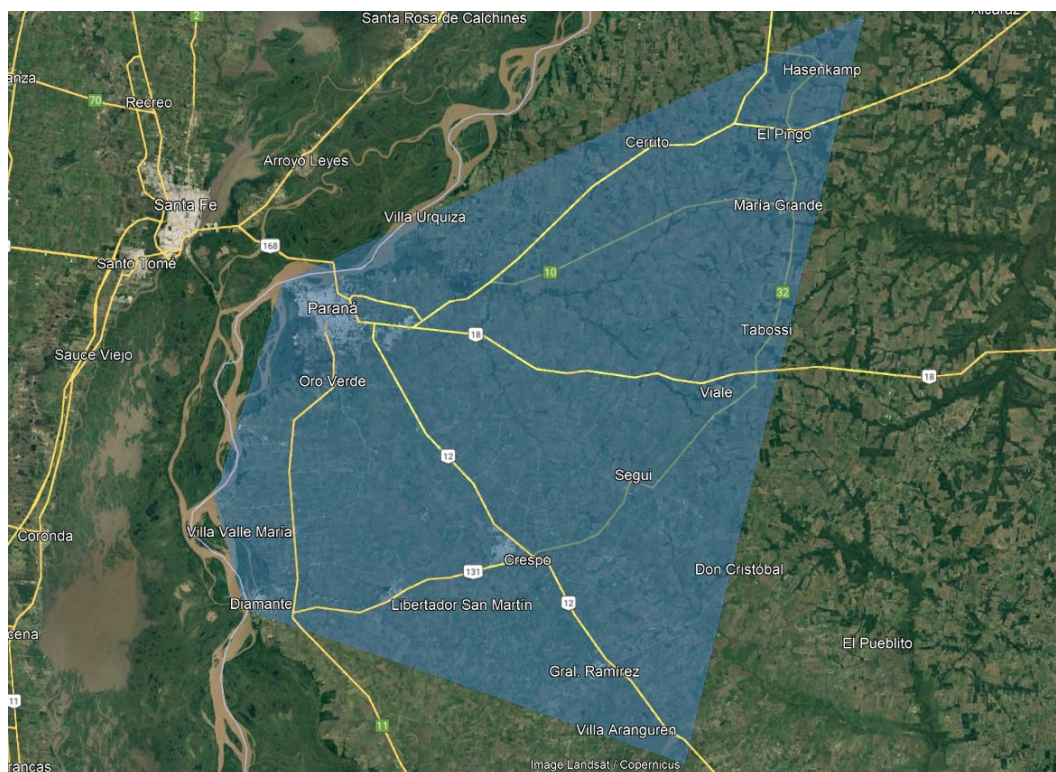


Figura 1. Polígono de área de influencia

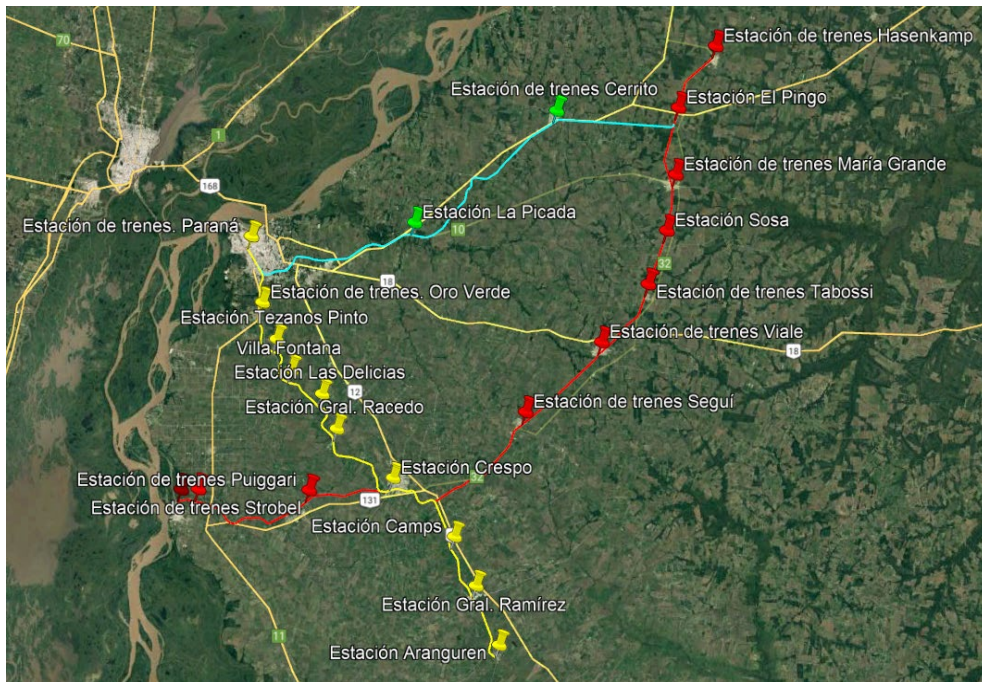


Figura 2. Trazas relevadas

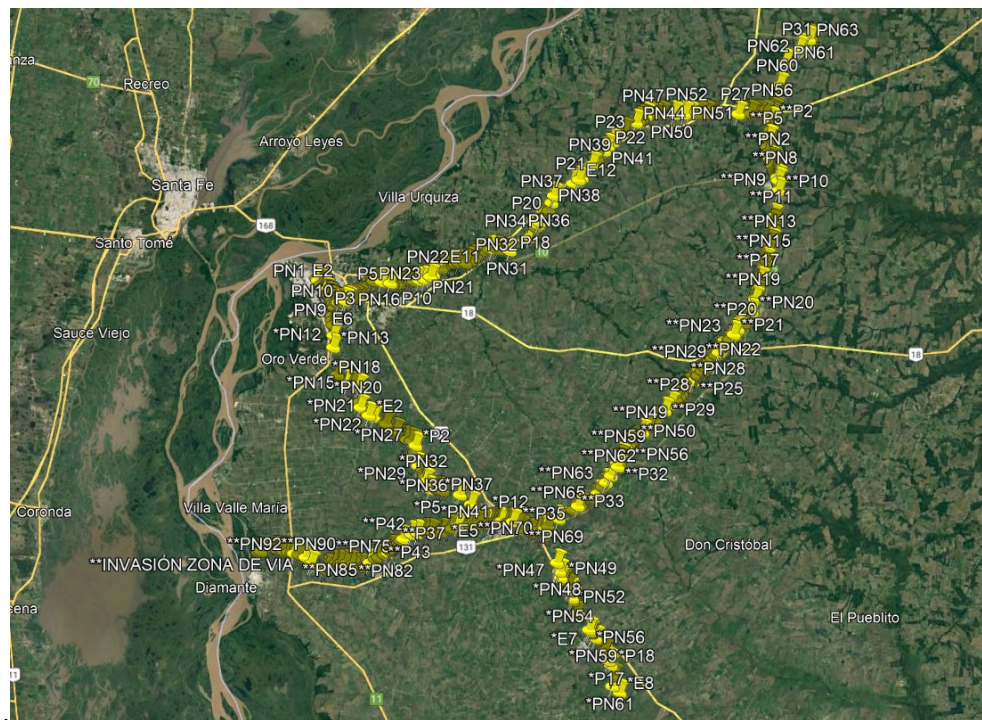


Figura 3. Singularidades de los tramos

Procesamiento de datos topográficos en CAD

Obtención de perfiles

La compatibilidad de Google Earth con sistemas de CAD, en forma nativa y a través de extensiones, permite importar datos georreferenciados al sistema WGS84.

De esta manera, se logra obtener una nube de puntos coordinados en el espacio, estos datos permiten ser procesados de tal forma que crean una triangulación con la suficiente precisión para considerarse una superficie. El software de CAD permite procesar esta triangulación para crear curvas de nivel (Figura 4) sobre las cuales se usa el eje de vía importado con antelación para obtener perfiles

longitudinales que surgen de la proyección del corte del eje seleccionado con la superficie creada. De estos perfiles dibujados se obtienen las principales variables de la traza, ya que, sobre ellos, complementados por una retícula o grilla a escala, se pueden medir distancias, cotas y pendientes, así como también observar accidentes del terreno. Las nombradas características físicas de la vía resultan, a posteriori, determinantes como parámetros de entrada para el futuro dimensionamiento del sistema tractor eléctrico, permitiendo obtener las pendientes de cada tramo necesarias para calcular las proyecciones de las fuerzas en el diagrama de cargas.

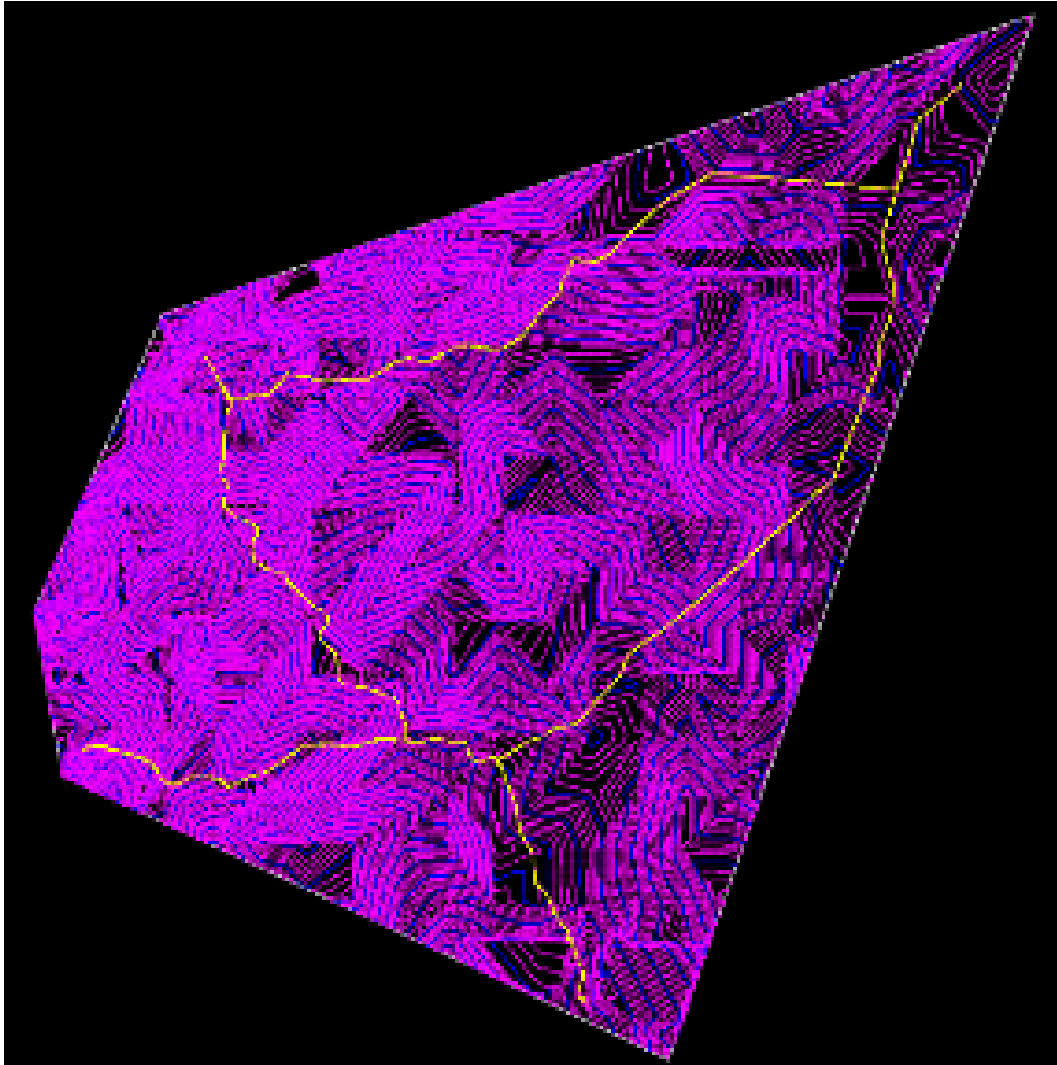


Figura 4. Triangulación y Curvas de Nivel

Obtención de radios de curvatura

En cuanto a la determinación de radios de curva, se utilizaron las líneas de eje de vía en planta para medir, mediante acotación de arco, los radios de giro de cada una de las curvas que componen las tres trazas seleccionadas.

La presentación final se exporta a una planilla de cálculo donde se presentan los datos coordenados (x ; y ; z) del eje de vía con una precisión de 100 metros entre perfiles transversales y se calcula las pendientes mediante la siguiente fórmula: $(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) * 100$, así como también se anotan los radios de curvatura medidos entre las progresivas de inicio y fin de curva. El valor del radio de curvatura permite obtener la fuerza de rozamiento por curvatura, fuerza calculada en el modelo matemático del diagrama de cargas.

Análisis del caudal de pasajeros

El análisis del caudal de pasajeros se realizó de acuerdo con dos metodologías en función de los datos estadísticos recabados. Este dato tiene dos objetivos, primero estimar la factibilidad de la demanda de un servicio de transporte público que vincule estas ciudades, y por otro, el dimensionamiento del vehículo por las cargas estimadas a transportar.

La primera consta de datos puros procesados por la Comisión Nacional de Regulación del Transporte, la cual brinda los valores históricos de pasajes vendidos en las líneas férreas, los cuales son de libre acceso a través de la página web del ente (Comisión Nacional de Regulación del Transporte, 2021).

La segunda metodología utilizada surge de la aplicación de la determinación del tránsito medio diario anual (TDMA) en las rutas terrestres que unen las localidades a las que se proyecta la llegada del tren. Estos datos se encuentran disponibles en la página web de la Dirección Nacional de Vialidad, donde estableciendo el tramo a analizar entrega datos de serviciabilidad, TDMA y porcentajes de tipos de vehículos. La cantidad de pasajeros fue estimada mediante las siguientes fórmulas:

<i>Livianos: TDMA * % de livianos * Capacidad del vehículo</i>	(1)
<i>Bus: TDMA * % de pesados * % Bus * Capacidad del vehículo</i>	(2)

Las rutas analizadas son las que se pueden observar en la siguiente tabla (Tabla 1).

Tabla 1. Rutas terrestres que vinculan la zona de influencia				
<i>RUTA</i>	<i>CIUDADES QUE UNE</i>	<i>KM INICIO</i>	<i>KM FIN</i>	<i>DISTANCIA</i>
12	<i>Nogoyá-Crespo</i>	361.95	420.10	58.15 km
12	<i>Crespo-Paraná</i>	420.10	451.75	31.65 km
12	<i>Paraná-Cerrito</i>	467.08	500.72	33.64 km
12	<i>Cerrito-Int. RN N°127</i>	500.72	511.77	11.05 km
12	<i>Int. Rn N°127-Hernandarias</i>	511.72	543.21	31.49 km
127	<i>Int. Rn N°12-El Pingo</i>	64.11	71.37	7.26 km
131	<i>Pto. Diamante-Int. Rp N°11</i>	0.00	8.93	8.93 km
131	<i>Diamante-Crespo</i>	8.93	40.92	31.99 km
18	<i>Paraná-Viale</i>	14.55	52.81	38.26 km
18	<i>Viale-Int. Rp N°32</i>	52.81	60.17	7.36 km

RESULTADOS

Análisis de las trazas

A partir del análisis de los perfiles longitudinales, los cuales en CAD se elaboraron en escala horizontal 1:1000 y escala vertical 1:100 se pudo extraer las características intrínsecas de cada una de las trazas. A continuación, se presentan gráficos de dispersión que, aunque no estén en escala, permiten graficar el perfil para observar los máximos, mínimos y pendientes de las trazas.

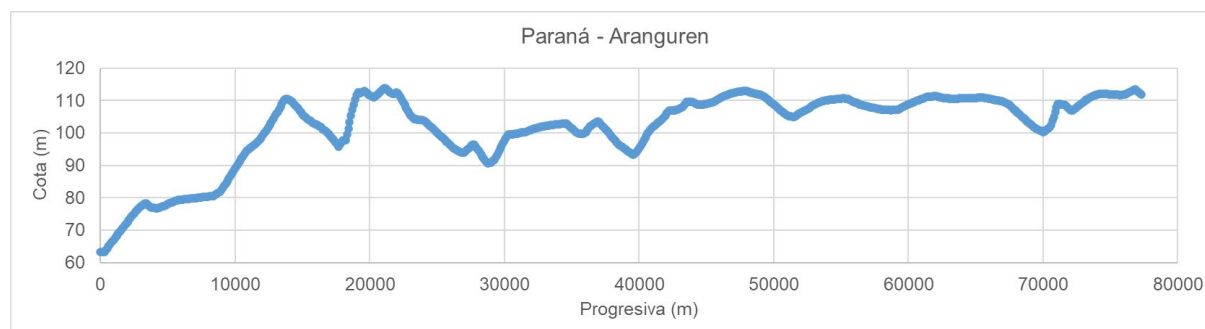


Gráfico 1. Perfil longitudinal traza Paraná – Aranguren

Para la primera de las trazas presentadas, (Gráfico 1) la cual considera su inicio (PK 0+000) en la Estación de Trenes de la localidad de Paraná, pasando por Oro Verde, Tezanos Pinto, Villa Fontana, Villa Gdor. Etchevere, Gral Racedo, Crespo y Gral. Ramírez, llegando a su final en la Estación de Trenes de la localidad de Aranguren (PK 77+280). Se puede concluir en que el punto de mayor altitud de la traza se da en la PK 21+104 con una cota elipsoidal de 113.85 metros de altitud en el sistema WGS84, mientras que el punto más bajo se encuentra en PK 0+100 con un valor de 63.27 metros. Respecto a las pendientes a vencer, se encontró que el máximo es de 1.94% ubicado en el tramo de PK 18+504 a PK 18+604.

En cuanto a los radios de curva, el valor máximo de ubicó en $R_{max}= 2281.69$ metros entre PK 26+092 y PK 26+692 y el mínimo valor en $R_{min}= 405.64$ metros entre PK 47+108 y PK 47+208.

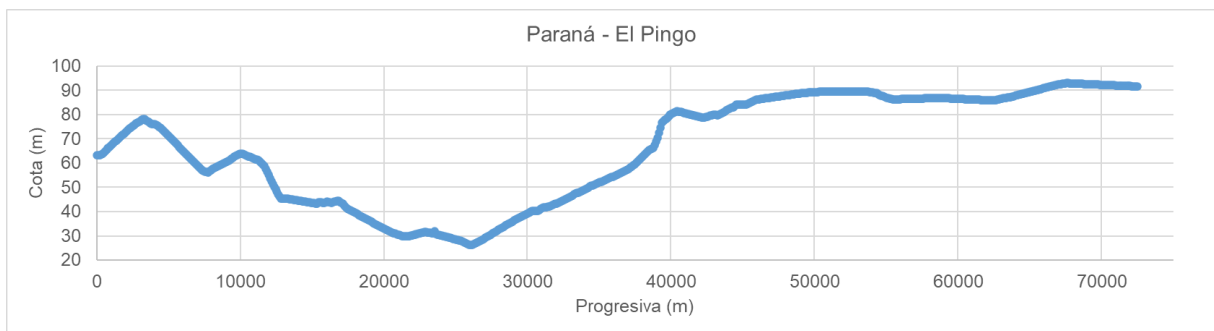


Gráfico 2. Perfil longitudinal traza Paraná – El Pingo

La segunda de las trazas analizadas, (Gráfico 2) para la cual se considera su inicio (PK 0+000) en la Estación de Trenes de la localidad de Paraná y su final en la Estación de Trenes de la localidad de El Pingo (PK 72+474) llegando de forma intermedia a las comunas de Colonia Avellaneda, Sauce Motrull, La Picada, El Palenque y Cerrito. Presenta el punto de mayor altitud de la traza en la PK 67+562 con una cota elipsoidal de 92.97 metros de altitud en el sistema WGS84, mientras que el punto más bajo se encuentra en PK 26+060 con un valor de 26.32 metros. Respecto a las pendientes a vencer, se puede decir que el máximo valor es de 2.15% ubicado en el tramo de PK 39+251 a PK 39+351.

En cuanto a los radios de curva, el valor máximo de ubicó en $R_{max}= 3096.49$ metros entre PK 42+890 y PK 43+290 y el mínimo valor en $R_{min}= 503.39$ metros entre PK 37+390 y PK 38+190.

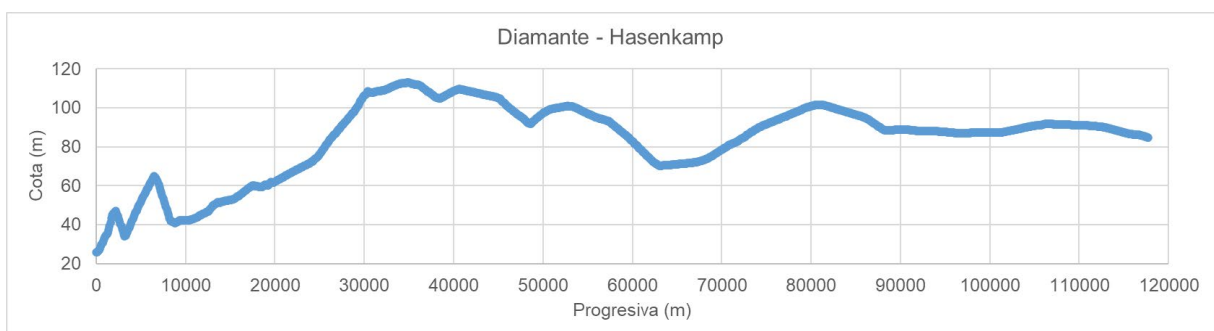


Gráfico 3. Perfil longitudinal traza Diamante - Hasenkamp

Finalmente, para la tercera de las trazas, (Gráfico 3) la cual considera su inicio (PK 0+000) en la Estación de Trenes de la localidad de Diamante, pasando por Strobel, Libertador San Martín, Crespo, Seguí, Viale, Tabossi, Estación Sosa, María Grande, El Pingo y llega a su final en la Estación de Trenes de la localidad de Hasenkamp (PK 117+700), se puede concluir en que el punto de mayor altitud de la traza se da en la PK 34+931 con una cota elipsoidal de 112.93 metros de altitud en el sistema WGS84, mientras que el punto más bajo se encuentra en PK 0+100 con un valor de 25.64 metros. Respecto a las pendientes a vencer, se encontró que el máximo es de 2.00% ubicado en el tramo de PK 1+600 a PK 1+700.

En cuanto a los radios de curva, el valor máximo de ubicó en $R_{max}= 2325.36$ metros entre PK 34+179 y PK 34+579 y el mínimo valor en $R_{min}= 399.85$ metros entre PK 40+331 y PK 40+731.

Del análisis de pasajeros

Párrafo aparte se presentan los resultados del análisis de pasajeros. De las estadísticas de CNRT se desprende que el único ramal en servicio en la zona es servicio regional C. Avellaneda - Paraná - Enrique Berduc (vías que en nuestro estudio son parte de la traza Paraná-El Pingo) donde se puede observar que para el año 2022 se transportó un total de 58875 pasajeros.

En cuanto al transporte por rutas terrestres que surge del análisis del tránsito medio diario anual (TDMA), se obtuvo que el potencial pasaje para las distintas trazas es el siguiente (se desprecia el transporte de cargas).

<i>Paraná - Aranguren: 14437 pasajeros.</i>
<i>Paraná - El Pingo: 22516 pasajeros.</i>
<i>Diamante - Hasenkamp: 21770 pasajeros.</i>

Tabla 2. Cálculo del tránsito medio diario anual

RN°	CIUDADES QUE UNE	TDMA	% PES.	% LIV.	DEL %	CANT. PERS.		CANT. PERS. EN TRANSITO	
					PES.	LIV.	BUS	LIV.	BUS
12	<i>Nogoyá-Crespo</i>	3114	27.20	72.80	6.03	2	20	4534	1021
12	<i>Crespo-Paraná</i>	4750	20.10	79.90	6.76	2	20	7591	1291
12	<i>Paraná-Cerrito</i>	4358	28.30	71.70	10.18	2	20	6249	2511
12	<i>Cerrito-Int. RN N°127</i>	3800	26.20	73.80	-	2	20	5609	-
12	<i>Int. Rn N°127-Hernandarias</i>	1900	26.60	73.40	8.71	2	20	2789	880
127	<i>Int. Rn N°12-El Pingo</i>	2360	36.00	64.00	8.57	2	20	3021	1456
131	<i>Pto. Diamante-Int. Rp N°11</i>	4000	13.00	87.00	-	2	20	6960	-
131	<i>Diamante-Crespo</i>	3000	19.30	80.70	-	2	20	4842	-
18	<i>Paraná-Viale</i>	2840	19.10	80.90	16.24	2	20	4595	1762
18	<i>Viale-Int. Rp N°32</i>	1828	26.60	73.40	9.54	2	20	2684	928

CONCLUSIONES

Tras el análisis realizado, podemos aseverar que la metodología aplicada así como los resultados obtenidos respecto a las variables sensibles de las trazas son suficientes y satisfactorios para abordar la continuidad de la etapa de factibilidad de adaptación de la red ferroviaria a un sistema eléctrico, siendo el formato final acorde a lo necesario para funcionar como datos de entrada al futuro script de Python que determinará las variables físicas claves para el dimensionamiento del sistema rodante.

Los resultados nos indican también, en principio, que la traza que presenta mejores condiciones técnicas de adaptabilidad al sistema es el recorrido Paraná-Aranguren debido a las bondades topográficas del territorio que presenta las menores diferencias de nivel y menor pendientes a vencer. Este recorrido une una cantidad importante de localidades con la ciudad capital, aunque de acuerdo al nivel de pasajeros resultante del estudio sería la de menor impacto socio-económico.

El procedimiento aplicado aporta un método de obtención de datos replicable en cualquier trazado, sea ferroviario o no, con una potencialidad en su uso para la elaboración de factibilidades de proyectos, en pos de desarrollar sistemas de transporte eficientes y enfocados en soluciones puntuales, maximizando su aprovechamiento.

REFERENCIAS

Libro

Saus M. A. (2022). Atlas del Ferrocarril Begrano-redes de escala nacional y regional desde una mirada santafesina (1° edición) Ediciones UNL - isbn 978-987-749-394-8

López, Mario Justo ; Waddell, Jorge Eduardo ; Martínez, Juan Pablo. Historia del ferrocarril en Argentina. 1ª ed. Carapachay: Lenguaje Claro, marzo 2016. 332p. ISBN 978-987-3764-09-7.

Artículo de revista

García Álvarez, A.(2007) Consumo de energía y emisiones del tren de alta velocidad en comparación con otros modos. Anales de mecánica y electricidad. Vol. LXXXIV, Fas. V, sept.-octub.

Fuente de la Web

Estadísticas del transporte ferroviario. Comisión Nacional de Regulación del Transporte. <https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>

DNV Nivel de servicio. Dirección Nacional de vialidad. http://transito.vialidad.gob.ar:8080/web_ns/consultar.jsp

Nuevo Central Argentino S.A. Manual Integral de Vías. Octubre 2014. <https://archivoferroviario.com.ar/manual-integral-de-vias/>

Satélite Ferroviario Red Ferroviaria Argentina https://www.sateliteferroviario.com.ar/horarios/mapa_argentina.htm

ANALYSIS OF RAILWAY TRACES FOR THEIR ADAPTATION TO AN ELECTRICAL SYSTEM WITH BATTERYS IN THE PROVINCE OF ENTRE RIOS

ABSTRACT: In recent years, there has been interest in recovering rail transport by increasing investment. For this reason, from the Laboratorio de Energías Alternativas de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná, it was decided to carry out this study, which aims to analyze the railway traces both in service and out of service that connect Paraná, Entre Ríos – Argentina, with neighboring towns, in order to provide the necessary data for the feasibility and adaptation of the interurban network to a battery-powered electric train system.

For this, a survey and analysis methodology was established through geographic information systems, satellite images and statistical data, identifying and limiting itself to three possible traces: "Paraná-Aranguren", "Diamante-Hasenkamp" and "Paraná-El Pingo". The study made it possible to determine the main variables of the route: stations, level crossings, culverts, bridges, works of art, surface availability, maximum length between charging stations, maximum and minimum slopes, maximum and minimum radii of curvature, design passenger volume, among other data.

Keywords: railway, railway trace, georeference, design variables.