

SEÑALIZACIÓN DE CRUCES FERROVIARIOS A NIVEL MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES

Zoccali J.², Zoccali N.², Miyar M.², Bouyssede L.², Ponzoni L.^{1,2,3}, Sframeli V.²,
Lopez Colmenares K.², Zanini O.², Roldos A.², Nuñez T.², Zijlstra A.², Artaza M.¹,
Tacone V.¹, Quinteros L.¹, Ludueña A.¹

Universidad Nacional de Tres de Febrero¹
Universidad Provincial del Sudoeste²
Comisión Nacional de Energía Atómica³

RESUMEN

Este trabajo busca analizar la falta de señalización en cruces ferroviarios a nivel en zonas rurales. En dichas zonas se carece de una señalización adecuada para advertir a los vehículos sobre el inminente arribo del tren, lo cual incrementa el riesgo de accidentes, no solo en las zonas rurales sino en todo el territorio nacional. Es por eso que en este trabajo se propone la implementación de energías renovables de baja potencia a partir de un sistema Off Grid (sin conexión a la red eléctrica) para la iluminación y señalización de los cruces ferroviarios rurales y a nivel, haciendo el foco en aquellos ubicados en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires con la intención de otorgar un beneficio social, priorizando la seguridad vial y minimizando el riesgo de accidentes.

ABSTRACT

This work seeks to analyze the lack of signaling at level railway crossings in rural areas. In these areas there is a lack of adequate signage to warn vehicles of the imminent arrival of the train, which increases the risk of accidents, not only in rural areas but throughout the national territory. That is why this work proposes the implementation of low-power renewable energies from an Off Grid system (without connection to the electrical network) for the lighting and signaling of rural and level railway crossings, focusing on those located in the southwest of the province of Buenos Aires with the intention of providing a social benefit, prioritizing road safety and minimizing the risk of accidents.

PALABRAS CLAVE

Energías Renovables / Señalización / Iluminación / Cruce Ferroviario / Fuera de red

KEY WORDS

Renewable energy / Signaling / Illumination / Railroad crossing / OFF GRID

CONTEXTO

En alguna oportunidad han ido de vacaciones o visitado a un familiar que reside en otra localidad y en el trayecto sin dudas disfrutaron de los variados paisajes de la región. Pero al transitar esas rutas en horario nocturno el panorama es otro, son pocas las señalizaciones viales y lumínicas que se pueden observar y es peculiar que pasen por alto el sentir de los “serruchos” en los cruces ferroviarios a nivel y digan “había un cruce ferroviario”.

Participan en el proyecto en cuestión estudiantes y docentes de la Tecnicatura universitaria en gestión de energías renovables y convencionales de la Universidad Provincial del Sudoeste (UPSO), el grupo de investigación de AeroMat de la Universidad Nacional de Tres de Febrero y la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Figura 1. Cruce ferroviario en ruta 51.



Fuente: Elaboración propia.

ACCIDENTES

Son numerosas las portadas de medios de comunicación en los que se ha puesto de manifiesto la problemática a tratar en este proyecto. A continuación, se exponen algunas de ellas en las cuales se hace referencia a los cruces a tratar:

Figura 2: Noticia en referencia a accidente en cruce ferroviario.



Fuente: La Brújula 07.07.2017

Figura 3: Noticia 2 en referencia a accidente en cruce ferroviario.



Fuente: La Brújula 29

Figura 4: Noticia 3 en referencia a accidente en cruce ferroviario.



Fuente: Telefe Bahía Blanca 29.10.2020

Figura 5: Noticia 4 en referencia a accidente en cruce ferroviario.



Fuente: La Brújula 11.08.2021

Figura 6: Noticia 5 en referencia a accidente en cruce ferroviario.



Fuente: La Brújula 11.10.2021

Figura 7: Noticia 6 en referencia a accidente en cruce ferroviario.



Fuente: La Brújula 02.01.2022

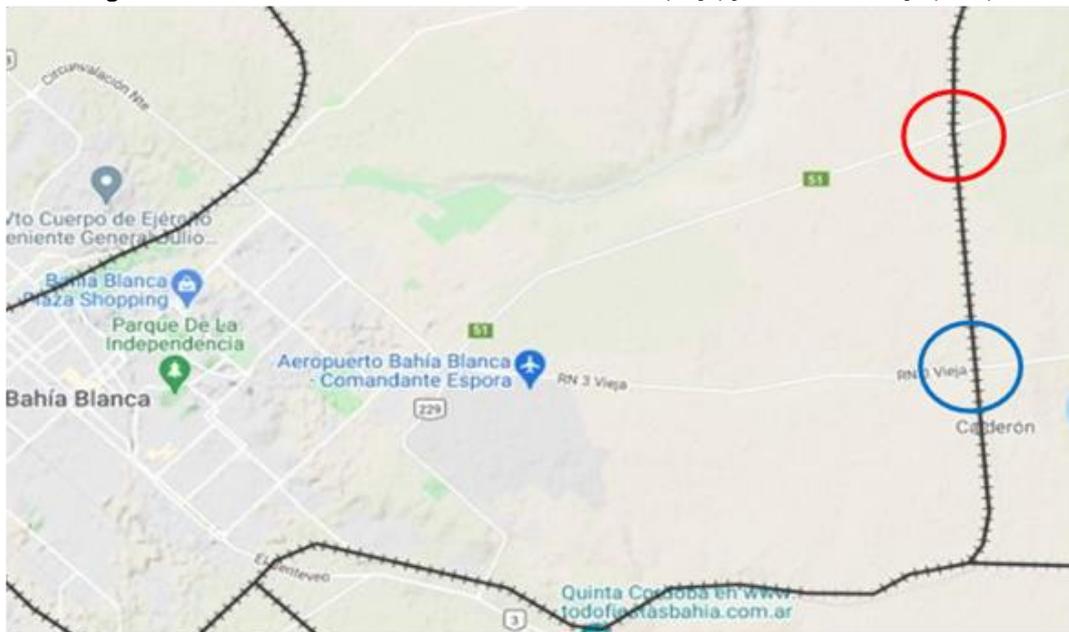
INTRODUCCIÓN

Este trabajo propone la implementación de energías renovables off grid (sin conexión a la red eléctrica) para la iluminación y señalización de los cruces ferroviarios rurales y a nivel, haciendo el foco en aquellos ubicados en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires con la intención de otorgar un beneficio social, priorizando la seguridad vial y minimizando el riesgo de accidentes.

Este sistema de señalización se realizará según aceptación de la Normativa vigente contemplada en la Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Vial N° 24.449. Si bien este proyecto es replicable en todo el territorio nacional donde existan cruces ferroviarios a nivel en zonas rurales en los que no pueda garantizarse o no exista una

adecuada señalización. Dado el alcance territorial de la Universidad Provincial del Sudoeste, se pondrá el foco en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Asimismo, a fines prácticos y de aplicación, el proyecto se tomará como lugar de prueba los cruces ferroviarios rurales ubicados en cercanías a la ciudad de Bahía Blanca sobre la ruta provincial 51 y ruta nacional 3 vieja, marcadas en la siguiente Figura en color rojo y azul, respectivamente.

Figura 8. Cruce ferroviario en las Rutas Provincial 51 (Rojo) y Nacional 3 vieja (Azul).



Fuente: Imágenes de Google Earth.

OBJETIVOS

El objetivo general consiste en implementar energías renovables off grid (sin vinculación a las redes eléctricas), para suministrar energía eléctrica en los cruces ferroviarios y utilizarla para su iluminación y señalización contribuyendo a la seguridad vial en pos de la reducción de accidentes viales relacionados con dichos cruces en forma autónoma.

Los objetivos específicos son:

- Reducir accidentes viales.
- Poner en adecuadas condiciones los cruces ferroviarios y brindarle seguridad a los usuarios de las rutas.
- Apostar a la implementación del uso de las energías limpias.

METODOLOGÍA

En la primera parte del trabajo se hace un estudio bibliográfico acerca de las metodologías disponibles y normadas para la determinación de la señalización en dichos cruces. Como resultado de la búsqueda se halló que la Red Ferroviaria Argentina está dividida en dos tipos, por un lado, la destinada al transporte de pasajeros, que a su vez se diferencian en servicios regionales y de larga distancia. Estos servicios se encuentran a cargo de La Operadora Ferroviaria del Estado (SOFSE) dentro de los servicios de interés, tenemos los servicios de larga distancia donde se realiza la utilización de los cruces involucrados en el servicio de pasajeros Bs As – Bahía Blanca.

Figura 9. Recorrido Ferroviario Bahía Blanca - Pza. Constitución.



Fuente: Satélite ferroviario. [1]

Esta ruta es recorrida a diario por el ferrocarril, partiendo de Bahía Blanca los días martes - jueves - sábados y retornando desde Plaza Constitución los días lunes - miércoles - viernes.

Retomando, por otro lado, se encuentra la red ferroviaria destinada al transporte de cargas. La red se compone de seis líneas de servicios, actualmente operadas por cuatro empresas. Tres de dichas empresas, Ferrosur Roca S.A. (FSR SA), FerroExpreso Pampeano S.A. (FEP SA) y Nuevo Central Argentino S.A. (NCA SA) son concesionarias que operan las líneas a su cargo desde principios de la década de 1990. El cuarto operador, Belgrano Cargas y Logística S.A. (BCy LSA), también denominado Trenes Argentinos Cargas y Logística (TA), es un operador estatal que tiene a su cargo desde el año 2013 las ex líneas Gral. Urquiza, Gral. San Martín y Gral. Belgrano.

Tabla 1. Datos sobre la infraestructura ferroviaria concesionada.

Concepto	Concesionarios		
	Nuevo Central Argentino S.A	Ferro Expreso Pampeano S.A.	Ferrosur Roca S.A
Red total	4.750	5.094	3.111
Red en Operación (Km)	3.203	2.330	2.025
% de utilización	67%	46%	65%
Locomotoras	115	54	47
Locomotoras en servicio	100	49	37
Porcentaje Locomotoras en uso	87%	91%	79%
Vagones	5.614	2.215	3.574
Vagones en servicio	3.668	2.166	2.122
Porcentaje vagones en uso	65%	98%	59%
Personal	1.204	1.057	1.183

Fuente: Argentina.gob.ar. [2-3]

Figura 10. Red Ferroviaria.



Fuente: Satélite Ferroviario. [1]

Es necesario tomar conocimiento de los tipos de transporte y sus recorridos, con el fin de determinar la incidencia de ellos en el proyecto. Los cruces que se presentan como prototipos de este proyecto, son significativos de estudio, ya que se ven involucrados en las rutas de ambos tipos de transporte.

Para el análisis, se tomará como referencia el mínimo de trenes que pasan por día por los pasos a niveles señalados que corresponde a dos veces por día, acumulando un tránsito ferroviario anual superior a los 700 pases por los cruces.

Figura 11. Ejemplos Prácticos Ref. Líneas de Transporte.

EJEMPLOS PRÁCTICOS:	
 R95	RAMAL "R95": LÍNEA ROCA, "T": CONCESIONADO A TREN PATAGÓNICO, TRAZO GRUESO Y VERDE: TROCHA ANCHA, CON SERVICIO DE PASAJEROS.
 S17	RAMAL "S17": LÍNEA SARMIENTO, "E": CONCESIONADO A FERROEXPRESO PAMPEANO, TRAZO GRUESO Y AZÚL: TROCHA ANCHA, CON SERVICIO DE CARGAS.
 C8	RAMAL "C8": LÍNEA BELGRANO, EX F.C. CENTRAL NORTE, "B": CONCESIONADO A BELGRANO CARGAS Y LOGÍSTICA, TRAZO ANGOSTO Y PUNTEADO ESPECIAL: TROCHA ANGOSTA, RAMAL EN OBRA DE REHABILITACIÓN.
 G	RAMAL "G": LÍNEA BELGRANO, EX F.C. COMPAÑÍA GENERAL B. A., "B": CONCESIONADO A BELGRANO CARGAS Y LOGÍSTICA, TRAZO ANGOSTO Y PUNTEADO ESPECIAL: TROCHA ANGOSTA, RAMAL CON MANTENIMIENTO / INSPECCIÓN.
 R18	RAMAL "R18": LÍNEA ROCA, "F": CONCESIONADO A FERROSUR ROCA, TRAZO GRUESO Y GRIS OSCURO: TROCHA ANCHA, RAMAL SIN USO (SE LLEGÓ A USAR DESPUÉS DEL PERÍODO DE PRIVATIZACIONES)
 GM15	RAMAL "GM15": LÍNEA MITRE, "N": CONCESIONADO A NUEVO CENTRAL ARGENTINO, TRAZO GRUESO Y GRIS CLARO: TROCHA ANCHA, RAMAL SIN USO (NO SE LLEGÓ A USAR DESPUÉS DEL PERÍODO DE PRIVATIZACIONES)
 U13	RAMAL "U13": LÍNEA URQUIZA, SIN SIGLA: NO CONCESIONADO, TRAZO GRUESO Y GRIS CLARO PUNTEADO: TROCHA MEDIA, RAMAL LEVANTADO.

Fuente: Satélite Ferroviario. [1]

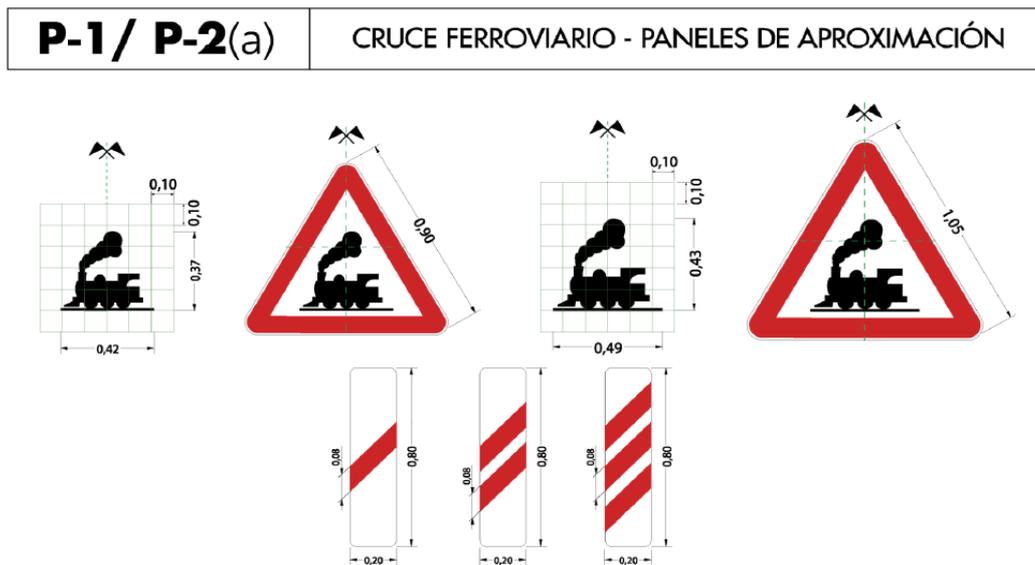
NORMATIVA

Es importante prestar suma atención a las señales previas, con cartelería vertical y señalización horizontal sobre la calzada. Todas estas indicaciones se enmarcan dentro de la Normativa vigente contemplada en la Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Vial N° 24.449 y la Resolución N° 7/81 de la SETOP.

En un cruce ferroviario se encuentran señales verticales laterales preventivas de restricción de velocidad, e indicadores de cruce ferroviario, incluida la clásica Cruz de San Andrés de máxima reflectividad en horas nocturnas.

Otra señal es la de "Aviso de cruce ferroviario", que a los 300 metros del cruce se ubica la primera (con tres barras cruzadas), a los 200 metros la segunda y a los 100 metros la tercera y última, con dos y una barra cruzada respectivamente. También puede encontrarse la prohibición de estacionar en la zona del cruce y la indicación de cruce con y sin barreras. [4]

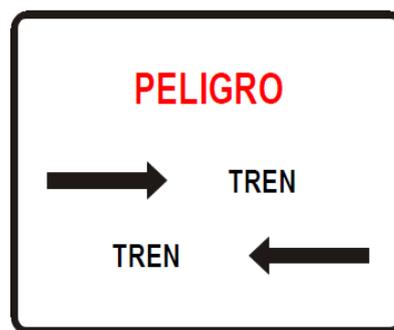
Figura 12. Paneles de aproximación de cruce ferroviario.



Fuente: Manual de Señalamiento Vertical - Vialidad Nacional.

Los otros indicadores de paso nivel, son las señales horizontales, o pintadas en la calzada. Allí se pueden ver las indicativas de ferrocarril, bandas ópticas sonoras que instruyen a bajar la velocidad alertando la aparición de un obstáculo en la cinta asfáltica y las velocidades máximas permitidas para circular. Asimismo, en cercanías de la vía se encuentra demarcada la línea de detención.

Figura 13. Señalización ferroviaria.



DIMENSIONES: Alto 0,70 m; ancho 0,90 m.

COLOR: Fondo blanco. Leyenda **PELIGRO** en rojo. Flechas, orla y demás leyendas en negro.

IMPLANTACION: Se colocará inmediatamente debajo de la señal P.42, en el mismo soporte y coincidiendo los ejes de simetría verticales.

VISIBILIDAD NOCTURNA: El fondo blanco y la leyenda en rojo, serán retrorreflectores de la luz incidente.

Fuente: Manual de Señalamiento Vertical -Vialidad Nacional. [4]

Figura 14. Señalización ferroviaria.



- DIMENSIONES:** Alto 1,20 m; Ancho 2,10 m.
La leyenda **ATENCION** llevará letras de 0,25 m de alto, el resto de la escritura se hará con letras de 0,13 m de alto.
- COLOR:** Fondo blanco. Leyenda **ATENCION** en rojo, demás leyendas en negro.
- IMPLANTACION:** El eje de simetría vertical se ubicará a 5 m del borde de la calzada.
La base de la señal quedará como mínimo a 2,60 m del nivel del borde de la calzada o de acera.
- VISIBILIDAD NOCTURNA:** El fondo blanco y la leyenda en rojo, serán retrorreflectores de la luz incidente.

Fuente: Manual de Señalamiento Vertical -Vialidad Nacional. [4]

En la normativa vigente si bien, se ponen de manifiesto el marco constructivo de las señales junto a las señales básicas obligatorias; no se nombra la exclusión de señales luminosas adicionales de lo cual nos valdremos para la señalización luminosa del cruce.

Figura 15. Señalización ferroviaria.



Fuente: Elaboración Propia.

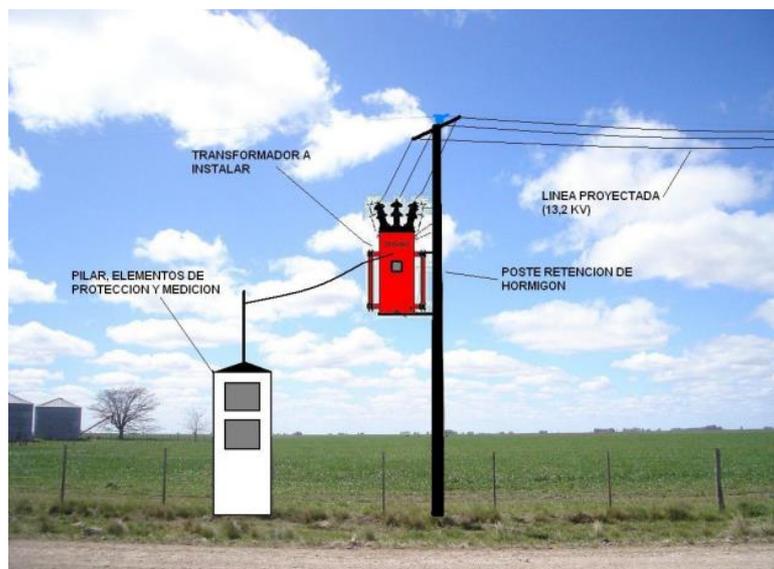
Una vez estudiadas las condiciones de la norma y los antecedentes, se realizó una comparativa debido a que este tipo de proyectos no presentan una competencia directa en el mercado ni con la cual compararse. Por ello, realizaremos en primer lugar, una comparativa del costo de adquisición de energía eléctrica en los cruces ferroviarios seleccionados. Y, en segundo lugar, una estimación de costos de la siniestralidad vial a fin de determinar los costos evitados por víctima vial.

COMPARATIVA RED ELÉCTRICA

Como se mencionó anteriormente, se puede desarrollar una comparativa entre este proyecto y el costo aproximado de acceder a red eléctrica en los cruces seleccionados a fin de tener algún valor de referencia para el estudio de mercado. Como primer paso, se debe tener conocimiento de algunas particularidades técnicas para el acceso de la red eléctrica, las más significativas y útiles para este análisis son:

- Se necesita llevar energía desde algún lugar que puede encontrarse alejado del cruce de ferrocarril, para lo cual se necesita recurrir a la extensión de alguna línea de media tensión, al menos de 13,2 Kv.
- El costo de tendido eléctrico en esa potencia es de aproximadamente U\$S 12.000 / Km de longitud.
- Se deben instalar transformadores reductores para lograr la tensión deseada para poder alimentar la iluminación.
- Se debe contemplar los estudios técnicos respectivos y su carcelería asociada.

Figura 16. Diseño Red Eléctrica.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta estos requerimientos, se puede decir que el costo aproximado de acceder a una red eléctrica puede resultar onerosa, en función de la distancia más cercana a la red existente, lo cual hace potencialmente inviable su realización en cada cruce ferroviario del país o provincia, e incluso en los dos cruces seleccionados como objeto de estudio.

ESTIMACION DE COSTOS EVITADOS

Como primera referencia, según la OMS, a nivel mundial se estima que el 3% del Producto Interno Bruto (PIB) se pierde por muertes y lesiones asociadas con el tránsito y que el costo económico asciende al 1% del Producto Nacional Bruto (PNB) en los países de ingresos bajos, al 1,5% en los de ingresos medianos y al 2% en los de ingresos altos. Cabe mencionar que a las pérdidas económicas se le suman los costos humanos cuando las personas lesionadas o que sufren de una discapacidad a raíz de un hecho vial, se ven profundamente afectadas por ello, del mismo modo que sus personas allegadas ante una lesión, discapacidad o muerte. Lo cual resulta muy difícil de estimar. [5]

En este concepto de costos ocurridos por siniestros viales, fallecidos y heridos en todo el territorio nacional, es necesario contar con estimaciones que posibiliten estimar un ahorro y las inversiones en seguridad vial sean priorizadas adecuadamente en relación a las prioridades de política pública.

Las guías internacionales sobre estimación de costos de los siniestros viales en países en desarrollo y la revisión de estudios de costos relacionados con la temática en distintos países permiten concluir que al momento de calcular el impacto económico de esta problemática es necesario tener en consideración al menos cinco grandes categorías de costos:

- Costos médicos
- Costos por pérdida de productividad
- Costos humanos
- Costos administrativos
- Daños a la propiedad

Para la estimación de costos se debe reconocer que los siniestros viales constituyen un grave problema de salud pública. Por un lado, debido al lugar que ocupan como causal de muerte y la carga de enfermedad que se generan por víctimas no fatales.

Tabla 2. Costos de la siniestralidad vial en la Argentina en pesos corrientes de 2017.

Tipo de costo	Fallecidos	Heridos graves	Heridos leves	Total
Costos médicos	3.787.425	111.089.435	43.035.651	157.912.511
Costos pérdida de productividad	16.129.062.133	421.567.478	63.886.849	16.614.516.459
Costos humanos	155.099.979.800	3.266.446.262	0	158.366.426.063
Costos de la propiedad	21.853.753	31.670.557	253.222.262	306.746.572
Costos administrativos	171.426.109	30.893.337	6.601.431	208.920.877
Total	171.426.109.220	3.861.667.069	366.746.193	175.654.522.481

Fuente: Ministerio de Transporte y seguridad vial. [6]

Por otro lado, debido a la gran cantidad de recursos económicos, humanos y materiales que el sistema de salud debe invertir para la atención de dicha problemática sanitaria. Por ello, se hará foco en la estimación de estos costos evitados para la obtención de valores de referencia con los cuales se comparará el proyecto.

A continuación, se muestra la tabla que indica la cantidad de siniestros viales en Argentina y el costo promedio asociado a un siniestro vial.

Tabla 3. Cantidad y costo de los siniestros viales.

Cantidad de siniestros [siniestros/año]	Costo promedio por siniestro vial [U\$S/siniestro]	Costo promedio anual siniestros y heridos graves [U\$S]
7540	13.000	94.000.000

Fuente: Elaboración propia.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Como mencionamos anteriormente la cantidad de siniestros viales y sus costos asociados, otro factor relevante en la justificación del proyecto es la influencia del alumbrado vial.

Según la Comisión Internacional de Iluminación, de noche en tramos de carretera no iluminados, el porcentaje de víctimas mortales por accidentes de circulación se multiplica por 3 respecto a los fallecidos en tramos de carretera equipados con alumbrado vial.

Ha quedado demostrado que el alumbrado de carreteras reduce los accidentes en una media, al menos, de un 30% durante la noche. [7]

Tabla 4. Influencia Alumbrado Exterior.

	Causas de los accidentes	Aumento de la siniestralidad
Apagado del alumbrado	- Accidentes	63,0%
	- Víctimas mortales	38,5%
	- Heridos graves	108,0%
Reducción del nivel de luminancia	- Accidentes	23,9%
	- Víctimas mortales	10,0%
	- Heridos graves	98,6%

Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

De la lectura de las cifras consignadas en la tabla anterior, cabe afirmar la importancia del alumbrado de los tramos de autovías y carreteras, así como del mantenimiento de sus niveles de iluminación en la minoración de los accidentes, víctimas mortales y heridos graves.

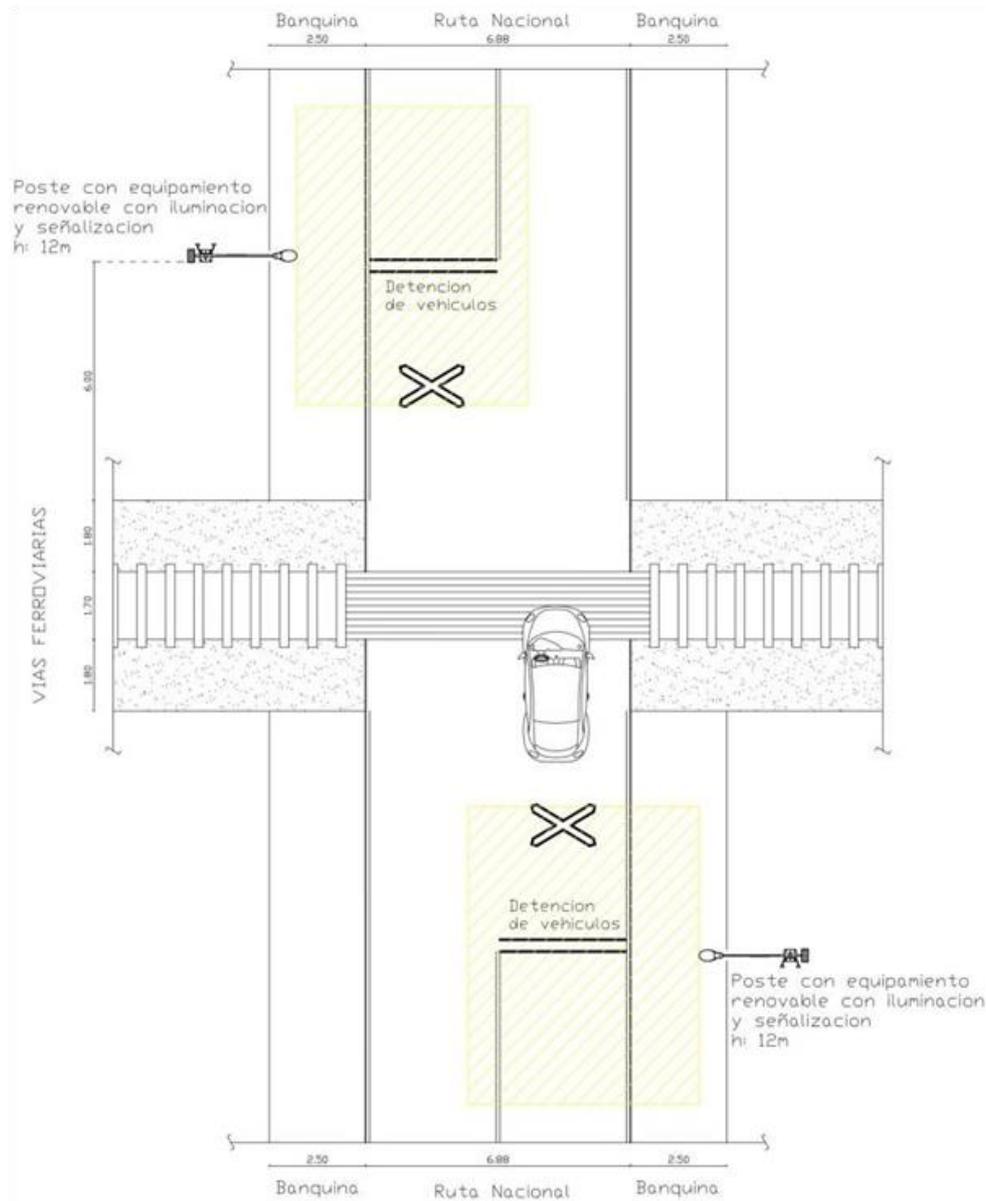
En la segunda etapa del proyecto, se realizó el dimensionamiento y funcionamiento para saber los requerimientos técnicos a tener en cuenta para la implementación del mismo.

Se considerará un área a iluminar de dimensiones: 12 metros de alto x 7,50 metros de ancho.

Las luminarias se ubican en el centro del área a iluminar respecto al alto (a 6 m) y con un brazo de 2,20 m y a 12 m de altura, con un ángulo de inclinación de 15°.

El funcionamiento del mismo constará de iluminación en el sector de detención vehicular en los horarios nocturnos y la semaforización de prevención y/o detención de vehículos señalizando continuamente. Serán abastecidos por un sistema híbrido que combinará el recurso solar con el eólico a fin de garantizar su funcionamiento. A tal fin, se contará con 4 paneles fotovoltaicos y 2 aerogeneradores de baja potencia, los mismos estarán dispuestos simétricamente en 2 columnas, quedando 2 paneles y 1 aerogenerador por columna.

Figura 17. Diseño del Cruce Ferroviario.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe aclarar que, el sistema de señalización ferroviaria es muy distinto al sistema de semaforización que todos conocemos. Aunque la forma es similar, el fondo es muy distinto. Las señales ferroviarias se rigen únicamente por criterios de ocupación de vías, mientras que los semáforos lo hacen según criterios temporales y, por tanto, no garantizan en ningún momento que el cruce esté vacío.

Estos semáforos intermitentes para la detención y/o precaución vehicular a la hora de circular por dicho cruce, serán activados alternadamente por un sensor de movimiento colocado en la vía del ferrocarril de cada lado, donde active esa señal de alerta en los mismos para tomar la precaución que el tren se aproxima.

Figura 18. Diseño del Sistema Híbrido de Energía Renovable.



Fuente: Elaboración propia.

Además, a los 5 metros de alto de dicha columna, estará colocado el tablero con sus equipos: el regulador y la batería; a fin de evitar posibles robos o accidentes que puedan llegar a generar si es colocado en la superficie.

En la tercera etapa del proyecto, se evaluó la Descripción Ambiental de la zona de estudio.

La ubicación geográfica de los puntos a considerar en el proyecto es:

LAT -38,741150

LONG -62,270241

Grados Minutos Segundos 38 44 28,14

Recurso Eólico

Para este trabajo se realizó el relevamiento de vientos en las zonas de influencia del proyecto.

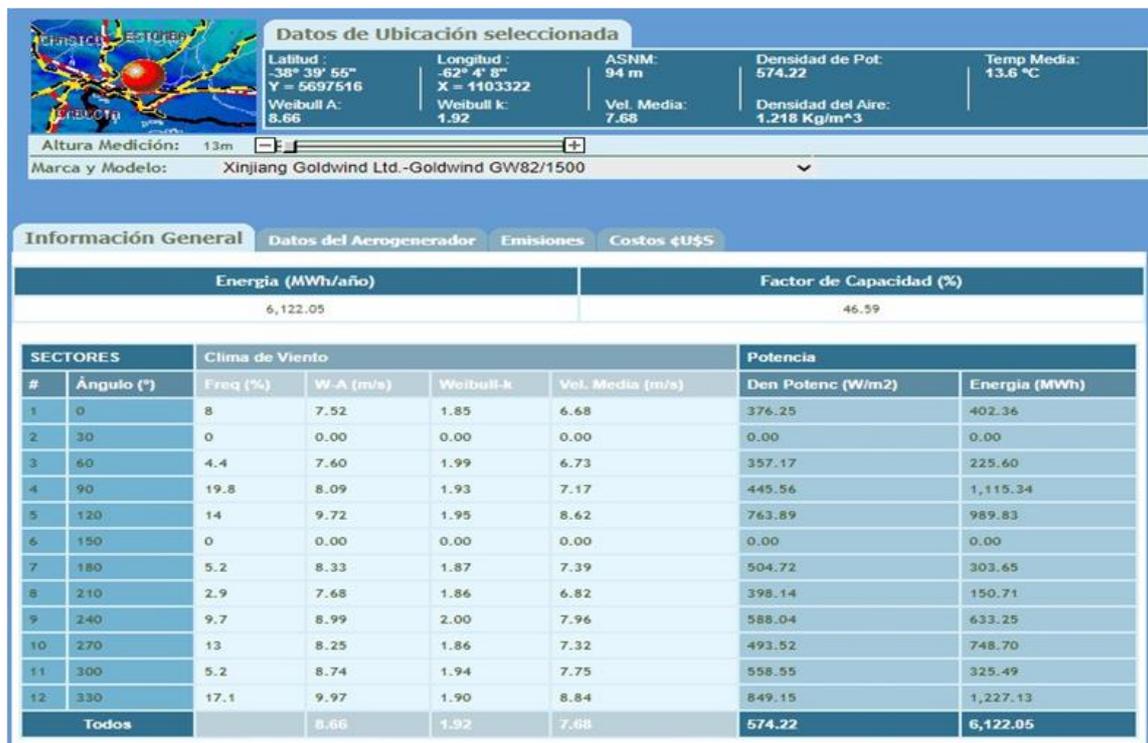
Podemos notar en la siguiente imagen que en el sudeste de la provincia de Buenos Aires se presentan rangos de velocidad media del viento oscilantes entre los 7 – 8 m/s, que hacen factible la instalación de aerogeneradores.

Figura 19. Zona de estudio. Variación de velocidad media del viento.



Fuente: Mapa de vientos de la provincia de Buenos Aires - PROINGED. [8]

Figura 20. Datos de la ubicación seleccionada.



Fuente: SIG.EÓLICO. [9]

Para la realización de los cálculos de potencia de los aerogeneradores a instalar y a fin de verificar los datos suministrados por el PROINGED, se recolectaron los valores de velocidad, frecuencia y dirección de viento del SIG.EÓLICO (Sistema de Información Geográfico Mapa Eólico Nacional).

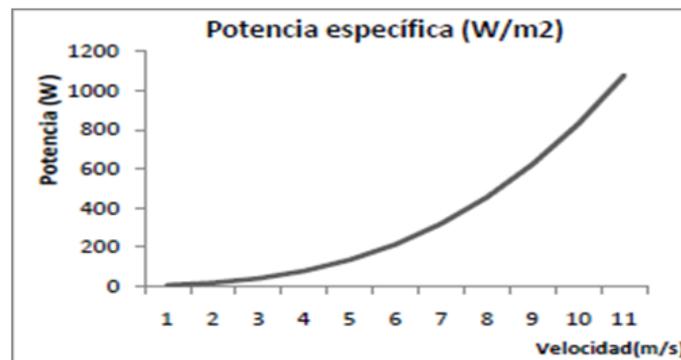
De los valores del SIG.EÓLICO podemos extraer los datos del lugar, donde la velocidad media del viento a los 13 m de altura (ubicado nuestro aerogenerador) será aproximadamente de 7,6 m/s. Con el valor de velocidad del viento, podremos determinar la potencia de nuestro aerogenerador.

Potencia Máxima Teórica:

El siguiente cuadro representa los valores de potencia a causa de cambios en las distintas variables.

A partir de ello se deduce la importancia de seleccionar un sector con buen recurso eólico en lugar de agrandar el equipo, ya que los resultados serían menos favorables y obviamente más costosos.

Gráfico 1. Variación de la potencia específica en función de la velocidad del viento.



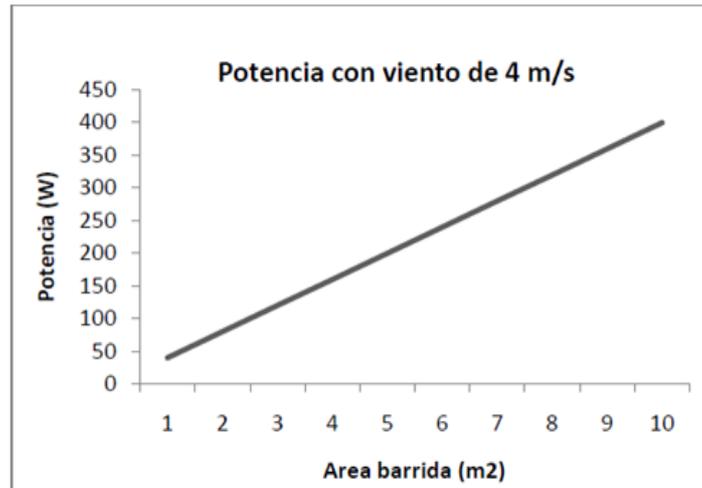
Fuente: Proyecto Final de Carrera. Universidad Fasta [10]

Tabla 5. Variación de la potencia específica en función del área barrida.

VARIACION DE LA POTENCIA EÓLICA CON EL AREA BARRIDA	
Área barrida (m ²)	Potencia (W/m ²) con viento de 4 m/s
1	40
2	80
3	120
4	160
5	200
6	240
7	280
8	319
9	359
10	399

Fuente: Proyecto Final de Carrera. Universidad Fasta [10]

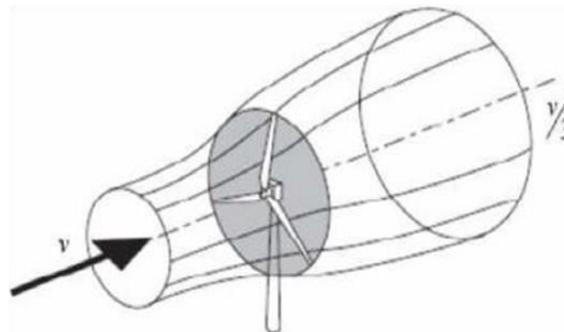
Gráfico 2. Variación de la potencia específica en función del área barrida.



Fuente: Proyecto Final de Carrera. Universidad Fasto [10]

Sin embargo, no toda esta energía es aprovechable. La presencia física de una turbina de eje horizontal en una gran masa de aire que la atraviesa modifica la velocidad y presión del viento. Esto da como resultado un límite en la energía que se puede extraer del viento, llamado límite de Betz.

Figura 21. Efecto de una turbina en la velocidad del viento.



Fuente: Proyecto Final de Carrera. Universidad Fasto [10]

Se llega entonces, a un valor teórico máximo del 59,25%, el cual representa el mayor porcentaje de extracción de energía de un fluido. Esto sucede cuando la velocidad de salida es $1/3$ de la velocidad de la entrada.

El resto son pérdidas aerodinámicas (fricción, choque, pérdidas en los vórtices, etc.)

PROBABILIDAD DE WEIBULL

Figura 22. Fórmula Probabilidad de Weibull.

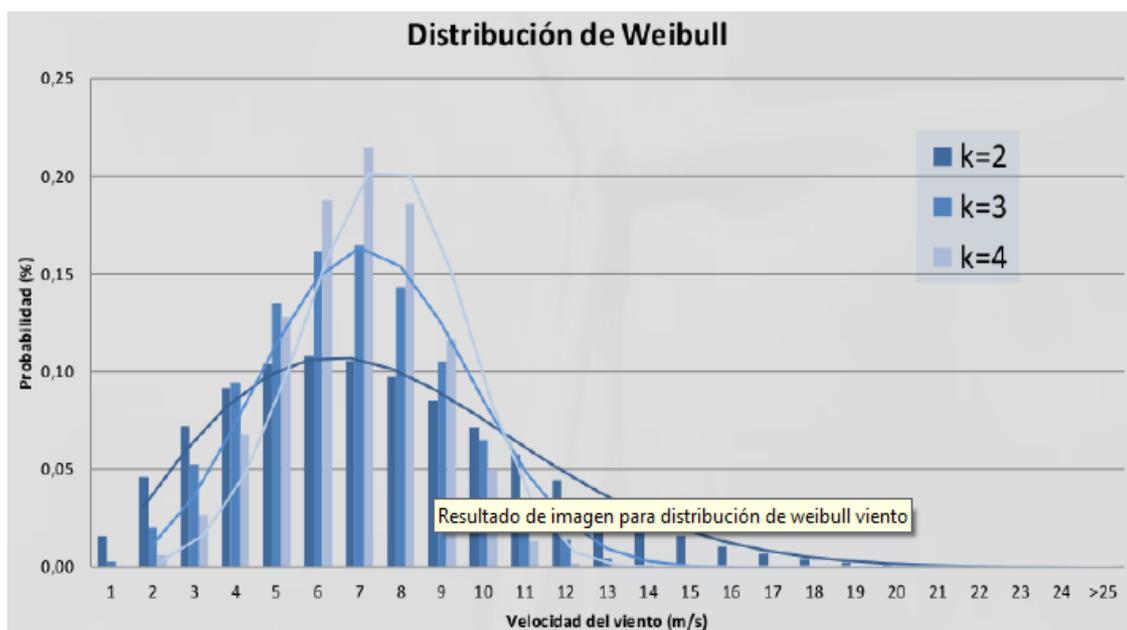
$$P(v \geq v_x) = e^{-\left(\frac{v_x}{c}\right)^k}$$

Fuente: Extraído de clase de energías renovables II. Lucio Ponzoni (UPSO)

Probabilidad de velocidades de viento mayores o iguales a cierto valor (Función de distribución acumulada).

Esto nos permite calcular la potencia de nuestro aerogenerador donde determinaremos un porcentaje de probabilidad de encontrar una velocidad de viento óptima para poder poner un aerogenerador en el lugar.

Gráfico 3. Distribución del viento.



Fuente: Extraído de clase de energías renovables II. Lucio Ponzoni (UPSO)

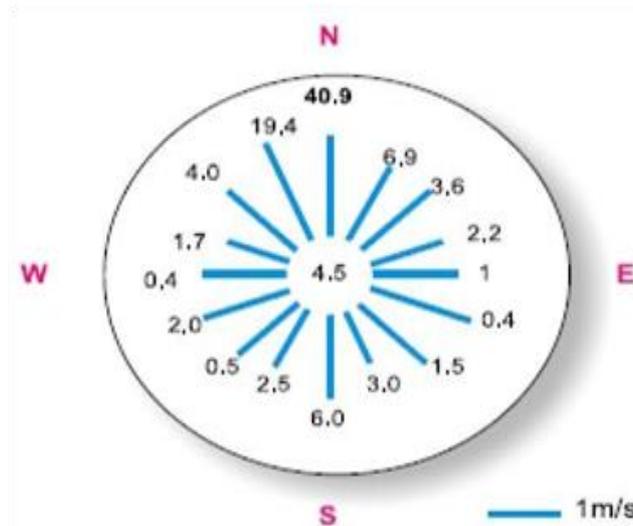
De la lectura de las curvas de distribución de Weibull de la figura anterior, podemos ver que lo que muestra son las diferentes distribuciones y como es la probabilidad de encontrar vientos mayores o menores a un valor con el método o ecuación de weibull antes mencionada.

Los coeficientes K son los factores de forma, de diferentes distribuciones de viento.

ROSA DE LOS VIENTOS

Nos sirve para saber la probabilidad (%) de encontrar la intensidad y dirección del viento del lugar de estudio.

Figura 23. Rosa de los vientos.



Fuente: Extraído de clase de energías renovables II. Lucio Ponzoni (UPSO)

ELECCIÓN DE AEROGENERADOR

Por criterio de rendimiento comparado con otros aerogeneradores, decidimos utilizar en nuestro proyecto aerogenerador de eje horizontal HAWT Tri-pala.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- La potencia que suministran tiene menos oscilaciones durante una vuelta.
- Mejor equilibrio de las fuerzas giroscópicas. Reducción de los problemas de vibraciones.
- No necesitan bujes articulados. Bujes más simples y rígidos. Suavidad de funcionamiento.
- Nivel de ruido menor. Velocidad de punta de pala y de giro menores.
- Mejor en su impacto visual.
- Par de arranque un poco mayor.
- Más pesado y complejo en su totalidad.

- Sistema de regulación más complicado.
- Su instalación es más complicada.

Recurso Solar

Resulta necesario exponer conocer todas las condiciones técnicas necesarias para la realización de este proyecto concerniente a una instalación solar fotovoltaica sin conexión a la red (Off Grid), en puntos cercanos a la ciudad de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires.

HORA SOLAR PICO

La hora solar pico es el valor de la energía solar (H) total incidente sobre una superficie horizontal de 1 m², expresado en kWh.

El significado de "Horas de Sol Pico", es equivalente a decir "Horas de sol a una intensidad de 1 kW/m²". Para el diseño se deben estimar estas horas que recibe el arreglo FV en la zona. Se define como "HSP" el tiempo en horas en el que se produce el mejor índice de irradiación solar en un día.

Se utilizará un promedio de 4 HSP para los meses más desfavorables del año.

PANELES

Los paneles solares producen energía eléctrica según su tamaño, eficiencia y cuánta radiación solar reciban.

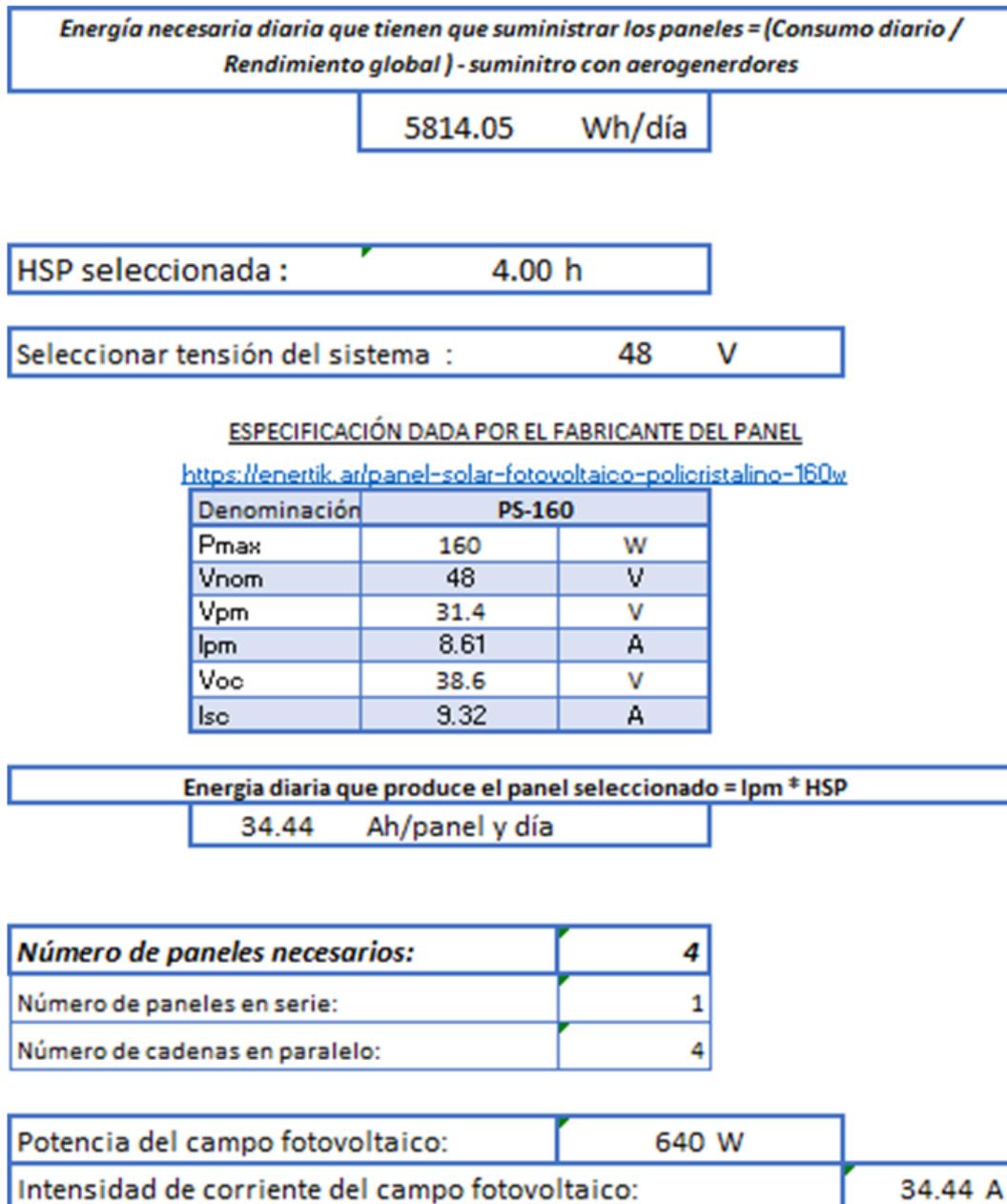
Los disponibles para uso hogareño y comercial tienen una eficiencia menor al 20%, lo que significa que menos del 20% de la energía del sol captada por el panel solar es absorbida y convertida en electricidad.

ELECCIÓN DE PANELES

Por criterio de ahorro económico y por contar con un funcionamiento a altas temperaturas, decidimos utilizar en nuestro proyecto paneles solares policristalinos.

CÁLCULO DE PANELES

Figura 24. Cálculos de Paneles Solares en Excel.



Fuente: Elaboración propia.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Son los más vendidos.
- Color azul claro.
- Construcción robusta.

- Alta eficiencia de conversión.
- Alto nivel de protección para ambientes secos.
- Vidrio de alta calidad que reduce la reflexión de rayos solares.
- Minimiza efectivamente la caída de energía por la sombra.
- Buen funcionamiento a altas temperaturas °c.
- Necesitan más superficie para generar lo mismo que un monocristalino.

De esta forma se obtendrán los recursos renovables necesarios para el proyecto.

En la cuarta etapa del proyecto se realizó el relevamiento de los consumos y el equipamiento utilizado.

Tabla 6. Tabla de consumos del proyecto en EXCEL.

TABLA DE CONSUMOS							
Carga	Cant.	Potencia UNITARIA (w)	Potencia (w)	Uso (Hs)	Consumo/ Dia (Wh)	Potencia ACTIVA (W)	Cos φ
Lamparas LED	2	300	600	10	6000	570	0,95
Semaforo de Advertencia	2	12	24	24	576	22,8	0,95
TOTALES		312	624		6576	592,8	

Fuente: Elaboración propia.

El consumo total del proyecto es de 6575Wh, de los cuales 576Wh deben mantenerse en horario diurno mientras que el mayor consumo se aplicará en las horas nocturnas donde las baterías que almacenen la energía del sistema entrarán en juego.

En este sistema, se deben considerar las posibles pérdidas que se producirán en el sistema propuesto, para ello debemos afectar el relevamiento energético por el coeficiente R.

$$R = (1-K_b-K_c-K_r-K_v) (1-K_a N/P_d)$$

K_b: Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador.

K_a: Fracción de energía que se pierde por auto descarga.

K_c: Pérdidas por el rendimiento del inversor.

K_r: Pérdidas en el controlador de carga

K_v: Otras pérdidas no consideradas anteriormente.

N: Número de días de autonomía para asegurar un servicio sin carga.

Pd: Profundidad máxima de descarga admisible.

Estos parámetros dan como resultado, un rendimiento global de la instalación de 0,901 que nos incrementa el consumo total estimado a un consumo más cercano al real de 7300 Wh.

Equipamiento utilizado

Este consumo real calculado será solventado por la combinación de autogeneración y por paneles fotovoltaicos interrelacionados con los elementos necesarios enunciados a continuación.

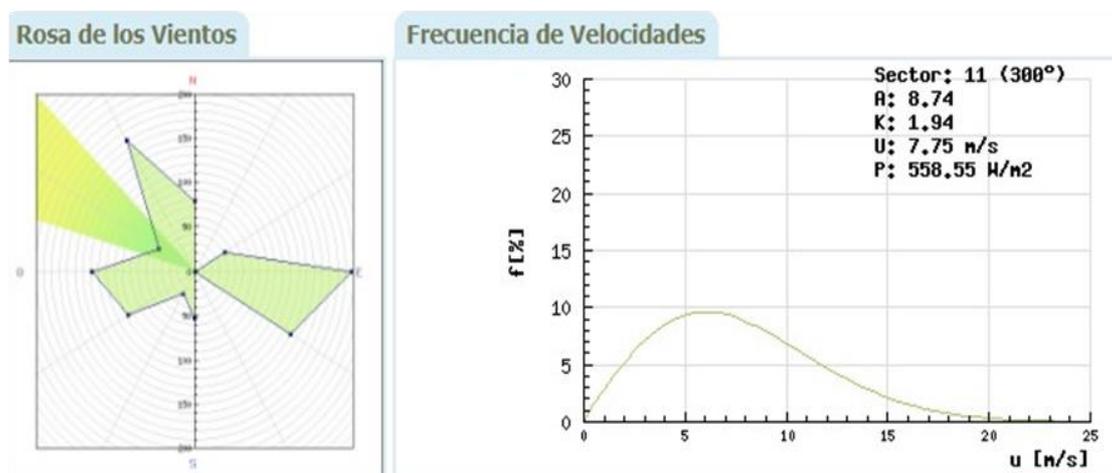
Aerogeneradores

Para evaluar la potencia real entregada por un aerogenerador, como primera medida, debemos evaluar el predominio del tipo de viento de la zona, el cual es de 7,6 m/s, lo cual enunciamos anteriormente en recurso eólico.

Luego, se calcula la potencia máxima teórica de un aerogenerador comercial influenciado por el límite de Betz. Para este caso, seleccionaremos un aerogenerador de 100 W con un radio de pala de 80 cm el cual nos entregará una potencia de 84 W.

Una vez obtenida la potencia efectiva del aerogenerador, su curva característica y la predominancia del viento, se determina a partir de la rosa de los vientos y la fórmula de probabilidad de Weibull.

Figura 25. Rosa de los vientos y frecuencia de velocidad en la ubicación seleccionada.



Fuente: SIG.EÓLICO. [9]

A partir de estos cálculos, se determina que teóricamente las horas de generación eólica son 8,8 horas diarias. Llevando al aerogenerador instalado a entregar una energía de 740 Wh/día y 1480 Wh/día entre los 2 aerogeneradores.

A raíz de los datos mencionados se decidió la utilización de 2 aerogeneradores de eje horizontal HAWT Tripala de 100 W ubicados cada uno en un poste sujeto con los elementos de instalación correspondientes.

Paneles fotovoltaicos

Para el cálculo de los paneles, se tendrá en cuenta la energía necesaria diaria que tienen que suministrar los paneles descontando el suministro que entregan los aerogeneradores calculados anteriormente. Bajo estas condiciones, la energía necesaria a cubrir es de 5800 Wh para lo cual se utilizarán 4 paneles de 160 W que entregan una corriente de 8,61 A, el cual estará afectado por las HSP estimadas en la zona de aplicación del trabajo, que dará un suministro de corriente de 34,44 A por cada panel por día.

El tipo de panel seleccionado debe cubrir el consumo restante del proporcionado por los aerogeneradores. Por ello, se utilizarán paneles con celdas de silicio policristalino siendo más eficientes en relación al resto.

Se utilizarán 4 paneles PS-160 distribuidos en pares en cada poste mediante un conexionado en paralelo, a fin de aumentar el amperaje resultante.

Reguladores de carga

El regulador de carga seleccionado funcionará al mismo voltaje del sistema (48V) y además será capaz de trabajar con una intensidad de corriente mínima un 10% superior a la intensidad máxima del sistema.

Por lo cual, en cada poste tendremos 2 paneles que entregan aproximadamente 20 A y 1 aerogenerador que entrega 15 A. Para ello, contaremos con un regulador para cada poste y banco de baterías de 40 A. A tal fin, hemos seleccionado el regulador de ENERTIK modelo CP-40-24/48.

Banco de baterías

Para la elección del banco de baterías resulta importante remarcar la importancia de la continuidad en la señalización ferroviaria como corazón del proyecto. Por ello, se utilizarán baterías de ciclado profundo diseñadas para resistir varios procesos repetitivos y

profundos de carga y descarga de la misma. Además de ser capaces de mantener como mínimo 2 días de autonomía para mantener nuestro sistema.

Bajo estas condiciones y en respuesta al consumo requerido, se utilizarán 4 baterías marca MAPUCHE de 24 V y 200 Ah. Las mismas estarán dispuestas de a par por poste conectadas en serie a fin de lograr el voltaje de funcionamiento.

Cálculo de inversor

Para estimar el inversor requerido, es necesario determinar la simultaneidad del sistema, para este caso según la potencia del sistema dispuestos anteriormente, la demanda simultánea es de 624 W y al incluir un margen de seguridad, lo deberíamos calcular cercanos a los 700 W, por ello se instalará un inversor de 350W en cada poste de onda senoidal pura ENERTIK modelo IS-350.

Funcionamiento de los equipos

A menudo, la instalación de generación fotovoltaica o eólica, por sí solas, están por debajo del margen de confiabilidad que garantiza la cobertura del suministro eléctrico tal como lo requiere nuestro proyecto, ya sea por razones económicas o bien porque no se cuenta con las condiciones climatológicas adecuadas. Aun siendo el dimensionamiento de las instalaciones correcto, se producen puntos de consumo muy por encima de lo habitual, hay un período anormalmente largo de tiempo nublado con poca radiación o sin aire para mover el aerogenerador o simplemente existen circunstancias inesperadas, como el uso de todas las cargas al mismo tiempo. Por tanto, se dispondrá de un sistema híbrido donde trabajarán en conjunto ambas tecnologías garantizando un estado de carga aceptable de las baterías y una prolongación de su vida útil.

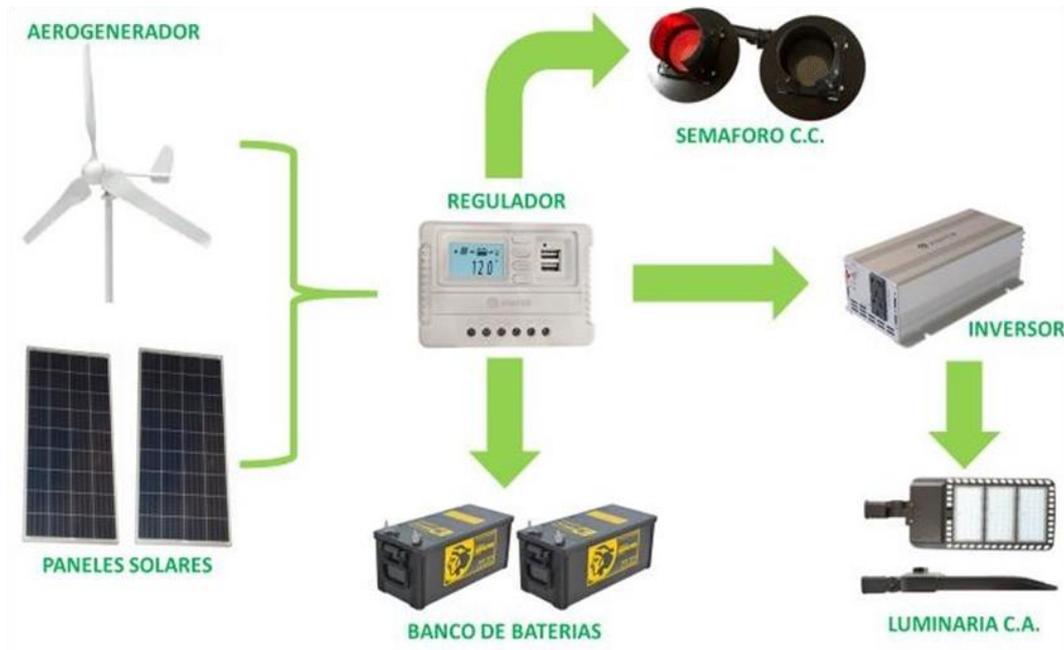
Como se mencionó anteriormente, el proyecto consta de 2 postes ubicados cada uno a un lado de las rutas participantes del cruce ferroviario. Estas torres, contarán con el equipamiento mostrado en la siguiente figura.

El aerogenerador y el par de paneles entregan energía que será enviada al regulador para ser almacenada posteriormente en el banco de baterías. A su vez este regulador tendrá salida de corriente continua para la alimentación ininterrumpida de los semáforos en cuestión. Por su parte el inversor se conectará al mismo regulador que ofrecerá a su salida tensión en corriente alterna para la alimentación de las luminarias.

En la quinta etapa del proyecto se realizó una evaluación económica del proyecto.

El proyecto tendrá un costo estimado de USD 8400.

Figura 26. Equipamiento de postes en el cruce ferroviario.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Costo estimativo del proyecto en Excel.

COMPUTO DE MATERIALES							
item	Inversiones iniciales	Cant.	Unidad	Precio unitario \$	Subtotal \$	Subtotal USD Oficial (110)	Vida útil estimada (Años)
1	Luminaria LED - Alumbrado publico	2	Nº	\$ 47,903.86	\$ 95,807.72	USD 870.98	6
2	Semaforo de advertencia - PAN	2	Nº	\$ 25,000.00	\$ 50,000.00	USD 454.55	6
3	Columna alumbrado publico	2	Nº	\$ 35,000.00	\$ 70,000.00	USD 636.36	25/30
4	Cable de cobre Unipolar de 2,5 mm	40	metros	\$ 15.00	\$ 600.00	USD 5.45	25/30
5	Fotocelula en luminaria LED	1	Nº	\$ 630.00	\$ 630.00	USD 5.73	25/31
6	Llave termomagnetica bipolar	1	Nº	\$ 1,250.00	\$ 1,250.00	USD 11.36	15
7	Panel fotovoltaico	4	Nº	\$ 13,900.00	\$ 55,600.00	USD 505.45	25/30
8	Aerogenerador E.H Hawt Tri-pala	2	Nº	\$ 80,200.00	\$ 160,400.00	USD 1,458.18	20
9	Reguladores	2	Nº	\$ 11,048.00	\$ 22,096.00	USD 200.87	25
10	Baterias	4	Nº	\$ 44,990.00	\$ 179,960.00	USD 1,636.00	5
11	Inversor	2	Nº	\$ 32,560.00	\$ 65,120.00	USD 592.00	10
12	Montaje de obra (aprox.)	-	Nº	\$ 220,000.00	\$ 220,000.00	USD 2,000.00	-
TOTAL					\$ 921,463.72	USD 8,376.94	

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FONDO DE FINANCIAMIENTO

Este tipo de proyectos, de índole social, no presentan un mercado de demanda como cualquier otro, es decir, no se puede salir a la calle a ofrecerlo. En cambio, está regido por el beneficio social, priorizando la seguridad vial y minimizando el riesgo de accidentes. Lo cual, tal como se expuso en el proyecto, trae onerosas estimaciones en costos evitados lo cual representa una importante intervención del estado.

Por ello, el financiamiento requerido para la puesta en marcha del proyecto, será a partir de fondos del Ministerio de Transporte y Seguridad Vial de la República Argentina, en post reducción de siniestros viales priorizando el bienestar social. También es aconsejable, que en las próximas renovaciones de concesión se trasladen estos costos al privado.

CONCLUSIONES

En la realización del proyecto, se han puesto en práctica todos los conocimientos adquiridos en la carrera, aprendiendo a identificar las necesidades en nuestra sociedad y responder a la misma con un hecho concreto. Desafiando dificultades y uniendo ideas diferentes con el propósito de crear un proyecto que logre la reducción de accidentes y una circulación en rutas con mayor seguridad poniendo en adecuadas condiciones a las necesidades existentes.

Mediante la aplicación de este tipo de tecnologías de forma combinada se puede ofrecer confiabilidad de suministro ininterrumpido lo cual demandaba el proyecto aún desvinculado de la red eléctrica (Off Grid). Además, hacen posible su aplicación en cualquier lugar de territorio nacional donde se desee llegar haciendo de los pasos a nivel un sector más seguro en pos de la vida.

Como pudo verse reflejado en el proyecto el costo de la implementación del mismo ronda en los 8400 dólares siendo esta cifra inferior al costo promedio por siniestro vial estimado, el cual era de 13.000 dólares.

Esto demuestra que teniendo en cuenta los costos estimados en un solo siniestro vial sería suficiente para instalación de un sistema de cruce ferroviario el cual minimizaría el riesgo de más accidentes priorizando la seguridad vial en pos de un beneficio para todos.

Figura 27- A y B. Imágenes Ilustrativas del proyecto.



Fuente: Elaboración Propia - Programa Sketchup 3D.

BIBLIOGRAFIA

[1] Asociación Amigos del Ferrocarril Belgrano.(2021) Red ferroviaria Argentina. Satélite Ferroviario, Extraído de https://www.sateliteferroviario.com.ar/horarios/mapa_argentina.htm

[2] Comisión Nacional de Regulación del Transporte (s.f) Estadísticas del Transporte Ferroviario. Argentina.gob.ar, Extraído de
<https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>

[3] Control del transporte (2020) Informe Estadístico Anual. Ministerio de transporte Argentina, Extraído de
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_estadistico_anual_2020_red_ffc_c_cargas.pdf

[4] Vialidad Nacional (2017) Manual de Señalamiento Vertical. Ministerio de transporte, Presidencia de la Nación. Extraído de
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_sv.pdf

[5] Ministerio de transporte (2020) Costos e impactos de la siniestralidad vial. Una mirada holística para su abordaje, Argentina.gob.ar, Extraído de
<https://www.argentina.gob.ar/seguridadvial/observatoriovialnacional/dossier/costos-e-impactos-de-la-siniestralidad-vial-una-mirada-holistica-para-su-abordaje>

[6] Agencia Nacional de Seguridad Vial (2019) Estimación de Costos Argentina. Argentina.gob.ar, Extraído de
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ansv_dnov_estimacion_costos_argentina.pdf

[7] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Influencia del Alumbrado Vial Sobre los accidentes. (2013) Extraído de
https://www.ceisp.com/fileadmin/pdf/Reglamento/ITC_EA_ANEXO_III_Actuaciones_instalaciones_alumbrado_mayo_2013.pdf

[8] Energías Renovables Provincia de Buenos Aires (s.f) Programa Provincial de Incentivos a la Generación de Energía Distribuida. Proinged. Extraído de
<https://www.proinged.org.ar/>

[9] Secretaría de Energía (s.f) Sistema de Información Geográfico Mapa Eólico Nacional, Sig Eólico. Extraído de
<https://sigeolico.energia.gob.ar/login>

[10] Ignacio Pertini- Jose Denegri (2014). Facultad de Ingeniería. Tesis de grado obtenida y publicada. Universidad Fasta, Mar Del Plata, Argentina. Extraído de
<http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/857/Proyecto%20Final%20Microaerogeneraci%C3%B3n.pdf?sequence=1>