

CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UN PARQUE EÓLICO EN SAN LUIS

Hugo Rezzano⁽¹⁾, Daniel Perelló⁽²⁾, Jorge Follari⁽²⁾, Daniel Nazzario⁽¹⁾

(1)FICES-Univ. Nac. de San Luis

(2)Fac. de Ciencias F-M y N-Univ. Nac. de San Luis

follari@unsl.edu.ar-TE.0265242....

Recibido: 4-07-11; Aceptado: 29-07-11.

RESUMEN.- El presente trabajo presenta la propuesta de una granja eólica en San Luis, analizando los aspectos de la infraestructura necesaria para el emplazamiento, la evaluación del recurso y la posible conexión a la red. Se utilizan distintas herramientas de software para llevar adelante el diseño, y se incluyen asimismo temáticas analizadas en lo que se refiere a preparación del proyecto, impacto ambiental y consideraciones económicas.

Palabras claves: energía eólica, parques eólicos, camino de montaña, mediciones de viento, software.

DESIGN CONSIDERATIONS FOR A WIND FARM IN SAN LUIS

ABSTRACT.- This paper presents a proposed wind farm in San Luis, analyzing aspects of the infrastructure necessary for the location, resource assessment and the possible connection to the network. Using different software tools to carry out the design, and also include topics discussed in regard to project preparation, environmental impact and economic considerations.

Keywords: wind, wind farms, mountain road, wind measurements

1.- INTRODUCCION

En el presente trabajo se realiza un estudio de la prefactibilidad de construir una granja eólica en la provincia de San Luis.

Con los datos ya obtenidos (Follari et al) se realiza el estudio del recurso eólico; basado en éste se determina que una de las mejores zonas para instalar una granja eólica en la provincia es sobre el cordón de las Sierras Centrales de San Luis, a una altura que ronda los 2100 mts s.n.m.

El análisis del recurso se realiza tomando como datos los obtenidos por el proyecto Mapa Eólico de la Provincia de San Luis, de la Universidad Nacional de San Luis y los datos de smn (Servicio Meteorológico Nacional) del Aeropuerto de la Ciudad de San Luis. Con dichos datos y programas de computación se obtiene las ubicaciones posible y en base a la orografía del lugar y dificultades propias del terreno se elige un emplazamiento posible para la granja y se avanza con el proyecto.

El cordón de las Sierras Centrales de San Luis, es un cordón situado al este de la ciudad y va desde la latitud de la ciudad (aproximadamente 33°S) hasta el norte de la provincia en el límite con Córdoba, este cordón presenta características apropiadas para la instalación de una granja eólica y además sobre su vertiente occidental se encuentra una línea de alta tensión que permitiría la interconexión al sistema eléctrico. Para realizar un proyecto ejecutivo, se han estudiado las diferentes factibilidades, a saber: proyecto de un camino

serrano o de montaña, análisis de costos, zona de emplazamiento de la granja, tipo y características de aerogeneradores, potencia a instalar, transporte de la energía eléctrica y acoplamiento a la red de energía.

Se ha considerado una zona de aproximadamente 4600 metros, tomados de sur a norte por 2500 metros tomados de este a oeste; esta zona se eligió por ser prácticamente un valle en la zona de cumbre. Esta zona permitiría la instalación de hasta un máximo de 40 a 45 máquinas, en una distribución de cinco máquinas por línea este oeste y nueve líneas en la orientación norte sur como lo muestra la figura 1.

De la infraestructura necesaria, se ha considerado conveniente analizar en primer lugar el modo de transporte a la zona elegida. Por ello se ha proyectado un camino que sea apto para la circulación de camiones, grúas y maquinaria pesada.

De la posibilidad cierta y factibilidad del camino a la mejor zona del recurso eólico, se eligieron los puntos de emplazamiento de los generadores dentro del predio analizado y por último la posibilidad y factibilidad de transporte de la energía eléctrica y su conexión a la red.

En la Figura 1 se destacan: 1) La traza del camino-2) La zona de emplazamiento de la Granja Eólica -3) El posible emplazamiento de los generadores. 4) La línea de tensión que interconectara a los generadores- 5) La Línea de Media Tensión que conexionara con el Sistema Eléctrico.



Fig. 1. Zona del posible emplazamiento

2. ANALISIS DEL RECURSO

En trabajos anteriores (Follari et al), se analizan datos de viento de San Luis y en (Mattio et al) el costo de la energía eléctrica generada por una granja eólica en Santa Cruz. En este caso, ya con datos propios y comparaciones con los datos del smn, aplicando programas de cálculo se ha logrado una mejor aproximación e identificación de los lugares posibles de un emplazamiento de una granja eólica. Se analizan los sitios cercanos a la ciudad de San Luis, por su factibilidad y cercanía a los centros importantes de consumo, aunque la intención principal es la conexión al sistema interconectado, línea que además pasa en las cercanías del emplazamiento elegido.

Se han identificado lugares con velocidades medias de entre 10 a 11.5 m/seg en los cuales se podría emplazar una granja eólica, figura 2. En el lugar elegido y con las densidades de energía obtenibles y con la posibilidad de poner hasta 40 máquinas se podría llegar a obtener un valor promedio de 320 GWh/año con máquinas comerciales de 2 MW.

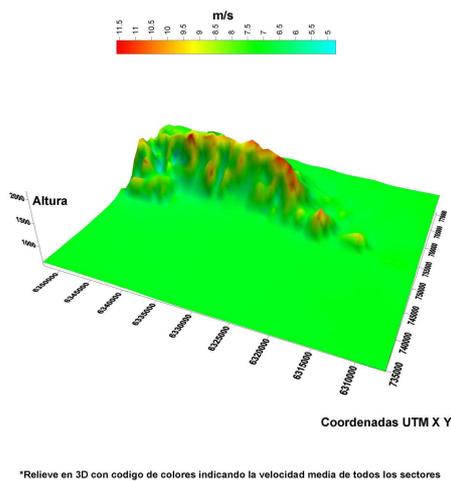


Fig. 2 Gráfico de la orografía del lugar y velocidades de viento.

Por supuesto es necesaria la medición in situ del recurso para poder precisar el presente proyecto y calcular en detalle la potencia posible de instalar y su producción eléctrica en definitiva.

3. DISEÑO DE UN CAMINO DE SIERRA O MONTAÑA

Dado que el proyecto está emplazado en la parte alta de la sierra, contempla necesariamente el análisis del acceso. La construcción de un camino en las sierras de San Luis es entonces la forma de llegar a la zona de interés. Se definieron las cotas de inicio y final de camino (además de las intermedias), en la zona de estudio.

Previamente se definieron varias alternativas para llegar por algún camino hasta la zona elegida; estos análisis fueron, aprovechando rutas provinciales existentes, que estuvieran cercanas al lugar y a alturas también adecuadas. Se analizó una ruta "corta", de aproximadamente 7 kilómetros, desde la ruta que une las localidades de La Punta y El Potrero de los Funes.

Esta fue desechada por la cantidad de quebradas, que hacían necesaria la construcción de 8 puentes, infraestructura adicional y una diferencia de casi mil metros en altura.

Luego se analizó la ruta provincial que une las localidades de Nogolí con Río Grande, determinando que en esa ruta la altura, la traza y la distancia a la zona de instalación de la granja, hacían conveniente la elección.

Específicamente comenzaría desde el camino que une el Dique Antonio Esteban Agüero, sobre el Río Grande, hasta Nogolí con coordenadas 33° 2' 40.82" S y 66° 9' 55.24" O. y terminará sobre una meseta ubicada entre los cerros Retana y Agua Hedionda con coordenadas 33° 4' 55.95" S y 66° 13' 1.72" O, figura 3.

Se comenzará en la cota 1750 metros sobre el nivel del mar y finalizará en la cota 2077 metros sobre el nivel del mar. Tendrá aproximadamente 8,6 km de longitud con una pendiente que no superará los 30°.

Se deberá contemplar la construcción de alcantarillas y un puente, además de balizamiento, alambradas y señalización. Se presenta una posible traza que tomara el "filo" de los cerros, a fin de evitar quebradas pronunciadas que hagan necesario construir demasiados puentes.

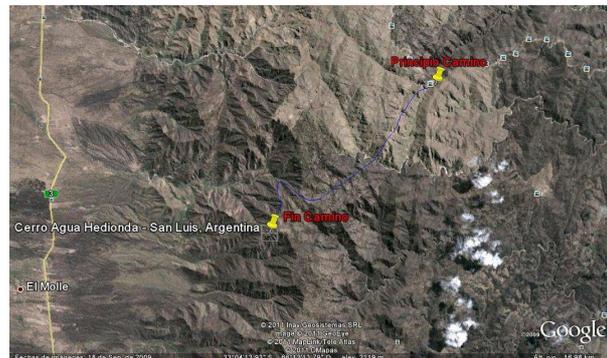


Fig. 3: Detalle del emplazamiento..

3.1. Definiciones y generalidades:

Un camino de montaña presenta las siguientes características:

- Un terreno rocoso, disgregado o compacto, que casi siempre obliga a la utilización de voladuras.

- Una red de drenaje bien definida, donde los caudales que esta transporta son en su mayoría intermitentes pero muy intensos, obligando al proyecto de obras de encauzamiento, defensas y disipación de la energía que conlleva el agua.
- Un paisaje único con perspectivas, puntos de vistas, formas y colores variables, donde la construcción del camino puede impactar fuertemente sobre el medio ambiente visual en el que se inserta.
- Un clima en la mayoría de los casos severo, que determina la presencia de hielo, nieve o lluvias, con lo que debe tomarse en cuenta sus efectos sobre la seguridad en la circulación y operación de los vehículos.
- En altura se tiene un bajo contenido de oxígeno en el aire que afecta la operación de los vehículos.

Asimismo, la topografía planteada presenta por lo general dificultades en la accesibilidad a la zona de estudio provocando que deban utilizarse métodos de medición indirectos para la elección de los corredores y gran parte del diseño.

Las etapas del Proyecto Completo de un Camino son las siguientes:

Un informe de ingeniería referido a Caminos de Montaña debiera tener al menos capítulos referidos a:

- Recopilación, Análisis y Estudio de Antecedentes
- Estudios Topográficos y Estudios Geológicos
- Estudios de Tránsito
- Parámetros Básicos de Diseño
- Planteo y Selección de Alternativas
- Capacidad y Nivel de Servicio
- Parámetros Definitivos y Sección Transversal del Camino
- Drenaje y Obras Hidráulicas
- Estabilidad de Taludes
- Diseño de Pavimentos
- Movimiento de Suelos
- Pliego y Documentación Complementaria
- Impacto Ambiental

3.2. Trazado y Diseño Geométrico.

Las etapas constitutivas de un proyecto de Caminos se desarrollan con el objetivo final de lograr un proyecto seguro, confortable y económico. Para ello seguimos los siguientes pasos: 1. Recopilación y análisis de antecedentes- 2. Trazados tentativos: oficina, puntos de control- 3. Reconocimiento de campaña: fajas, corredores- 4. Trazados preliminares: línea de banderas- 5. Evaluación de alternativas: selección, métodos- 6. Estudio definitivo - 7. Proyecto: Documentación – Planos - Pliegos

3.3 Recopilación y Análisis de Antecedentes e influencia de factores.

A la hora de tener que atravesar una topografía de tipo montañosa la labor de investigación de tipo gabinete, requiere de esfuerzos adicionales y estudios más profundos que los que demandan generalmente los caminos en llanura. La falta de accesibilidad al lugar donde se requiere emprender el futuro camino provoca que se deba ejecutar tareas de gabinete anteriores a la etapa de reconocimiento del terreno in situ; para ello es importante contar con relevamientos aerofotogramétricos de la región y todo el material cartográfico posible.

3.4. Estudios Geológicos, Suelos y Materiales; Zonal y Regional.

En toda obra de ingeniería interesa especialmente asegurar que los **factores geológicos**, condicionantes de la obra, sean tenidos en cuenta e interpretados adecuadamente, así como evitar o mitigar las consecuencias de los riesgos geológicos. En términos generales las condiciones que debe cumplir un emplazamiento para que sea geológicamente favorable son las siguientes:

- Ausencia de procesos activos que representen peligros inaceptables para el proyecto.
- Buena capacidad portante del terreno para soportar las obras.
- Estabilidad de los materiales para poder excavar taludes y/o túneles.
- Disponibilidad de materiales para la construcción de la obra.
- Facilidad en la extracción de materiales.

Factores a tener en cuenta al momento de desarrollar un proyecto:

1- Actividad Sísmica: El territorio de la República Argentina se divide en cinco zonas de acuerdo con el grado de peligrosidad sísmica (figura 4). En la zona elegida, y en casi toda la provincia de San Luis, por ser un terreno de sedimentación, la actividad sísmica es Moderada.

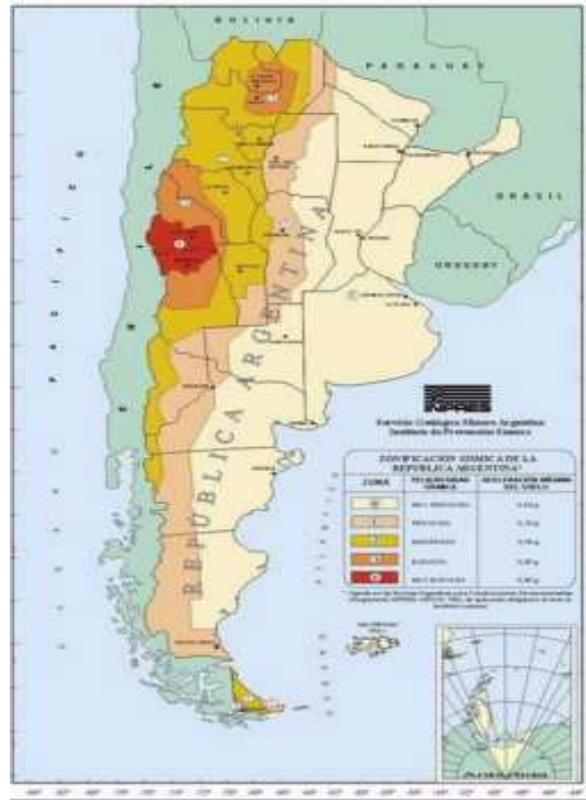


Fig. 4: Zonas sísmicas en la Argentina.

2- Clima: El clima puede ser determinante a la hora de elegir un corredor, ya que la presencia de nieve y hielo atentan contra la seguridad de la circulación y la conservación de la vía. En la zona elegida son normales 2 o 3 nevadas por año, con persistencia en general de pocos días. No es impedimento para esta propuesta.

3- Hidrografía y Recursos Hídricos: El estudio de cuencas, el registro de lluvias, la presencia de aguas permanentes superficiales y subterráneas afectan la ubicación del trazado. Generalmente la ubicación del trazado en las partes altas provoca la ejecución de obras de arte de menor envergadura, y asimismo mitigan los desprendimientos de material de laderas. Por ese motivo se tomó esta opción.

4- Vegetación, Fauna e Impacto Ambiental: Pueden condicionar los corredores aspectos como ecología, medio ambiente, paisaje, conservación de la naturaleza, impacto ambiental, ordenación del territorio. Algunas zonas y especies protegidas pueden incluso abortar la posibilidad de un proyecto por lo que deberán analizarse sin subestimar estos aspectos. Las actividades Sociales y Económicas Locales y Regionales pueden verse afectadas por el proyecto. En este caso particular, la vegetación a esa altura es fundamentalmente de pasturas y arbustos, por lo que no es un impedimento. Se trata de una zona despoblada por lo que no hay actividades humanas sobre las que se interfiera.

5- Aerofotografía: La inaccesibilidad a los lugares de estudio (y su gran superficie) provoca que se deba efectuar por lo general gran parte del estudio del trazado (e incluso a veces hasta niveles de anteproyecto) con los datos recogidos en la etapa de búsqueda de antecedentes. Es por ello que la ayuda de los relevamientos efectuados con sensores remotos (fotográficos, láser, satelitales) y su posterior digitalización (curvas de nivel, modelos digitales de terreno) hacen que sea posible avanzar en estas etapas; permitiendo en base a la ubicación de los puntos de control encontrar corredores posibles que satisfagan los futuros aspectos del diseño geométrico. La **restitución** fotogramétrica ha permitido obtener las curvas de nivel necesarias para trabajar en estas primeras etapas, y con la ayuda de su digitalización y su posterior aplicación en software de diseño permiten elaborar anteproyectos, comparando costos y por ende elegir los corredores y el trazado de forma más conveniente.

6- La pendiente máxima admisible: es factor que por su relevancia pasa a tener en caminos de montaña el carácter de control del trazado. No se advierten en el trazado pendientes que superen los 30°. Aparece como factible en este caso un trazado que puede en este caso serpentear para reducir la pendiente a no más de 20°

7- Trazado

Particularidades del trazado en Montaña: En este proyecto se consideró lo siguiente:

1. Reducir la pendiente longitudinal en curvas cerradas (resistencia adicional, por fricción y peralte)
2. Ser más generoso con el radio de las curvas exteriores que con el radio de las interiores.
3. Evitar bajar (perder altura) cuando se está subiendo.
4. En lo posible, ubicar el trazado en las partes altas, cerca de divisorias de aguas (obras de arte menores, menores riesgos de avalanchas, aludes, inundaciones).
5. Evitar laderas en sombras y al reparo del viento.
6. En zonas "nevadoras" evitar cortes cajón profundo.
7. Atravesar divisorias de agua, encontrar el trazado descendiendo desde el portezuelo (y no subiendo hacia el portezuelo)
8. Cuando la zona de topografía cerrada o abrupta se presenta súbitamente, intentar cambios graduales de las curvaturas horizontales
9. En tramos largos de fuerte pendiente, ubicar las cuestas más severas en los planos inferiores
- 10- Sección Transversal: Los elementos de la sección transversal de una carretera influyen sobre las características

operativas, estéticas y de seguridad. Aquí se tendrán en consideración los siguientes ítems:

- a) Zona de Caminos.
- b) Ancho de Calzada.
- c) Ancho de Banquina.
- d) Pendiente Transversal del Camino.
- e) Contrataludes y Bermas.
- f) Secciones Transversales Especiales

Trazado: etapa Estratégica del Camino: ¿Por dónde pasará el Camino? (Conjunto de ideas, planes y decisiones que comprometen el destino de toda una operación).

Diseño Geométrico: etapa Táctica del Camino (Acciones y decisiones cuya repercusión e influencia poseen un efecto menor, localizado), es un proceso de aproximaciones sucesivas, se avanza de mayor a menor: ¿Cómo pasará por donde debe pasar?

Descripción del proyecto:

Para la elección del trazado más idóneo, se analizó la cartografía existente de la zona, se recorre el terreno. Se destaca que el camino deberá discurrir por las estribaciones serranas sorteando las divisorias de aguas, en algunos casos avanzar por las quebradas y en otros por laderas. Dependiendo también de datos de los estudios hidrológicos de la zona.

Descripción detallada de las tareas de acondicionamiento de la topografía para el desarrollo del camino en las Sierras Centrales de San Luis:

Movimiento de suelos y rocas:

Se ha determinado que la traza propuesta, es una litozona en donde la calidad de la roca es buena y tiene buenas condiciones geomecánicas; por lo que la aptitud del material para su excavación es mala, por ser un granito muy duro. Solo un 8 a un 10% puede ser escarificable y el resto deberá ser volado.

Una obra de esta envergadura deberá contar con un plantel de profesionales, técnicos y operarios, que abarquen todos los rubros que comprenden la totalidad de la obra.

Maquinarias:

A continuación, se describirán algunas de las maquinarias más significativas a utilizar en la obra para el movimiento de suelos y rocas. Estas son (entre otras): Topadoras, Retroexcavadoras, Moto Niveladoras, Palas Cargadoras.

Identificación de Maquinarias: se detallarán equipos disponibles en la Provincia para efectuar estas tareas:

- **Topadora KOMATSU D 155AX** : Este equipo tiene un espejo de 4 m. De ancho por 6 m de alto.

- **Topadora KOMATSU D355-3**: Este equipo es equivalente a un D8 o D9 de CAT, las dimensiones del espejo son 6 mts. De ancho por 1,7 mts. de alto.

- **Retroexcavadora CASE 9030**: Como características principales, esta tiene un balde de 0,8 m³, todos los controles son electrónicos y nos sirve para abrir las zanjas necesarias en la traza, ya sea para desagües o badenes.

- **Motoniveladora CAT 4140**: Esta máquina se usa principalmente para la distribución de material y terminaciones; también puede realizar trabajos en taludes de tierra. La versatilidad de esta máquina la hace apta para trabajar en este tipo de terrenos

ya que es muy difícil, por la diferente posición de las cubiertas, que se desplome aun estando muy cerca del borde del camino.

Perforación y voladura:

Retro Pala JHONN DEERE: Para este trabajo se utilizará una columna de perforación KRUPP, adaptada a una retro pala JHONN DEERE. Es un equipo de orugas, la operación

del mismo es hidráulica y se emplea aire comprimido para la limpieza del barreno.

3.5. Análisis de costos.

Se realiza un análisis global sin discriminar ítem por ítem por no ser de interés en esta etapa, además de ser una variable muy cambiante.

Itemizado de obra, presupuesto

Tarea	Costo Unitario	Costo Total
1 Explanación	\$854000	\$7344400
1.1 Despejes, desbroces y limpieza de terreno		
1.2 Excavaciones		
1.3 Terraplenes o pedraplenes		
2 Pavimentación	\$351000	\$3018600
2.1 Extensión y compactación base granular		
2.2 Riego de ligazón		
2.3 Riegos de imprimación y sellado de banquetas		
2.4 Carpeta de concreto asfáltica		
3 Drenaje y muros	\$280000	\$2408000
3.1 Ejecución de muros		
3.2 Caños de acero corrugado entre 0,6 y 2,2 mts de diámetro		
4 Estructura sobre cauce arroyo/ caída de agua estival	\$200000	\$1720000
4.1 Excavaciones y cimentaciones		
4.2 Ejecución de estribos		
4.3 Suministro y colocación de vigas		
4.4 Ejecución de tablero		
4.5 Barandas y protecciones		
4.6 Carpeta de desgaste y juntas		
4.7 Acabado y varios		
5 Señalización y defensas		\$50000
5.1 Señalización horizontal		
5.2 Señalización vertical		
5.3 Defensas		
6 Varios	\$ 45000	\$387000
6.1 Intersecciones		
6.2 Alambreada de protección		
6.3 Pretiles		
6.4 Plantaciones		
6.5 Trabajos varios, permisos de paso, legales, etc	1780000	15308000

COSTO POR KILOMETRO

\$ 1.780.000

COSTO TOTAL

\$15.308.000

Aproximadamente igual US\$ 4.000.000

Recurso Eólico: Se ha determinado mediante las medidas de mapa eólico de San Luis (Follari et al) y con las medidas de smn, que en la zona elegida, la calidad y la cantidad de viento son convenientes para la instalación de la granja proyectada.

Se propone para la factibilidad de esta granja máquinas comerciales, de 2 MW cuyo costo aproximado es de US\$ **4.000.000 cada una, lo que daría un costo total de US\$ 160.000.000** para las 40 máquinas a instalar.

3.6. Conexión a la Red Energética y Transporte

Se ha previsto construir una línea de Baja Tensión, hasta 1000 voltios, que interconectara los generadores y transportara la energía hasta un centro de conversión de tensión y frecuencia, para que en pasos sucesivos la

convierta en valores adecuados al sistema eléctrico nacional, que para la Media tensión es de 33 Kv y 50 Hz de frecuencia.

A partir de tener la conversión, se trasportara mediante una LMT en 33 KV, desde la zona del centro de conversión hasta el alimentador denominado (por la empresa distribuidora de energía eléctrica) SL26. Esta línea será en postación de H°A° y con conductor de 180mm² de AL-AL. Si bien se ha estimado tomarse de esa línea por la facilidad de conexionado considerando la distancia, no se ha tramitado un pedido de factibilidad ante la empresa de energía. Se proyecta una línea de media tensión coplanar, con postación en H° A° y postación especial en zona de sierras de reticulado de acero, de 16,78 Km, con un coste de aproximadamente **195.000\$/Km.**

De no ser factible la conexión a esa LMT, se deberá conectar con la LAT en 132 Kv, que está a 2 Km hacia el oeste del punto de conexión proyectado. Todo dependerá de la producción de la Granja Eólica, que definirá la potencia y la cantidad de corriente a transportar.

A este costo se le adicionara el costo de una estación transformadora de 33/132 Kv, con las protecciones e infraestructura correspondientes. El total costo estimado es de \$3.000.000.

Es decir el costo de la línea más la estación transformadora tendría un costo aproximado de US\$ 1.500.000.

Estudio económico

Se han realizado distintos estudios a fin de determinar el costo total final por kW (Tilca y Mattio), (Follari et al).

La energía generada anual de esta granja será de 320 GWh/año.

Con un interés anual de 7% en dólares.

Una vida útil de la granja estimada en 20 años.

Un costo de operación y mantenimiento de 0,01 US\$/KWh

Y un costo total de la instalación de US\$ 165.500.000

Nos da un costo total de 0,055 US\$/kWh = 0,23 \$/kWh, que es un costo competitivo a los valores actuales de energía, aún subsidiado.

En Latinoamérica algunos datos del el costo de la energía al público (tarifa) son:

Brasil con un componente del 85 % hidroeléctrica: 0,105 US\$ / KWh

Chile con menor componente hidroeléctrico: 0,2 US\$ / KWh

Costa Rica: 0,235 US\$ / KWh

Argentina con un componente del 55 % térmico: 0,17 US\$ / KWh = 0,71 \$ / KWh

Las tarifas actuales en la Argentina, para la industria, están entre 0,90 \$ / KWh y 1,10 \$ / KWh esta última en la época de mayor demanda y para los usuarios residenciales los valores promedios subsidiados son 0,25 \$ / KWh.

4. CONCLUSIONES

La instalación de una granja Eólica en la sierra de San Luis, es factible tanto por las condiciones del recurso, como por la posibilidad y factibilidad de conexión al sistema eléctrico provincial, con LMT en 33 KV y 13,2 KV.

El costo del camino necesario es poco significativo frente a la inversión total y técnicamente factible.

El impacto ambiental es insignificante, por estar la granja y el camino en zonas despobladas.

La instalación de esta granja, redundara en una importante creación de puestos de trabajo calificado. La instalación de empresas de servicios relacionados, y la reducción de emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero.

Paralelamente se prevé una reducción de gastos en combustible, y una diversificación en la matriz energética provincial.

Se observa que el costo resulta ser un tercio de la tarifa real actual, por lo que es muy rentable.

REFERENCIAS

- DPV Programa Caminos. (2007). Especificaciones Técnicas de camino serrano.
- Follari J., A.D. Perelló y L.A. Odicino (1999). Parque Eólico para la Provincia de San Luis, A.V.E.R.M.A.
- Follari J., D.Nazario, R. Guaycochea; L.Odicino, G.Hidalgo, V. Estefanini, G. Gomina. (2010). Estudio De Los Vientos De La Provincia de San Luis para la elaboración del Mapa Eólico de la provincia y la factibilidad de la instalación de Parques Eólicos A.V.E.R.M.A (79-86).
- Revista "Carreteras" de la Asociación Argentina de Carreteras.
- Tilca F., H. Mattio, (2009). A.V.E.R.M.A. Costo de la Energía Generada por Granjas Eólicas en Argentina.