

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA PARA EL AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA UNIVERSIDAD DEL ISTMO

José Rafael Dorrego Portela^{1*}, Miriam Guadalupe Peralta Morales¹, Orlando Lastres Danguillecourt¹, Aírel Núñez Rodríguez¹, Verónica Aguilar Esteva¹ y Giovanni Hernández Gálvez²

¹ Instituto de Estudio de la Energía-Universidad del ISTMO. Av. Universitaria. Tehuantepec. Oaxaca. México. C.P. 70760

² Centro de Investigación en Energía. UNAM. Temixco, Morelos. México

*Tel (971)1273525, r.dorrego.63@hotmail.com

RESUMEN

La Universidad del ISTMO de Tehuantepec se encuentra ubicada en la región con mayor potencial eólico de México, escenario de los principales proyectos de generación eoloelectrónica del país. Este hecho brinda una excelente oportunidad para modificar el esquema de suministro energético de la Universidad, abastecida actualmente por la red eléctrica nacional. Por tal motivo, en este trabajo se realiza un análisis de optimización para un sistema de autoabastecimiento energético basado en generación eoloelectrónica, a partir del estudio del comportamiento de la carga promedio anual y del recurso eólico. La optimización se realizó considerando un 100 % de penetración eólica y minimizando el costo presente neto de la instalación. Fueron utilizadas las herramientas Windographer y WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) para evaluar el recurso eólico y el HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) para la optimización económica del sistema.

1.- Introducción

Actualmente, las principales fuentes de contaminación ambiental a nivel mundial, están constituidas por los sistemas de producción de energías tradicionales que emplean combustibles fósiles para la generación de diferentes tipos de energía, provocando el efecto invernadero y el consecuente cambio climático que tanto está afectando al planeta. Sustituir el sistema de generación de energía basado en los combustibles fósiles por medios de

generación de energía renovables, cuya principal ventaja es el de liberar al planeta de estas emisiones contaminantes resultará en beneficios significativos.

Una de las regiones de gran importancia para el desarrollo energético renovable de México, es sin duda el sur del Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, donde actualmente las inversiones de sistemas eólicos, para la producción de energía eléctrica, nos muestra cada vez más, un panorama económico creciente.

Según el “Atlas del Recurso Eólico de Estado de Oaxaca” [1], publicado en Abril de 2004, se estima que existe en el Istmo una superficie de 6,600.00 km² con excelente potencial eólico (mayor que 6.7 m/s) a una altura de 50m con capacidad aprovechable de 33000 MW, considerando áreas adicionales con un potencial moderado (entre 6.1 y 6.7 m/s) de recurso eólico esta cifra asciende a 44000 MW.

El estudio que se muestra a continuación estará basado en los datos de viento obtenidos por la estación anemométrica instalada en el laboratorio del Instituto de Estudio de la Energía de la Universidad del Istmo (estación meteorológica), y el estudio de carga en la Universidad del Istmo el cual contiene el consumo de energía eléctrica promedio por hora en un lapso de un año de sus tres campus ubicados en Tehuantepec, Ixtepec y Juchitán, todos en la región del Istmo de Tehuantepec.

2.- Condiciones experimentales

Para realizar el análisis de carga y producción de energía se requiere de una colección de datos en la que se contengan mediciones periódicas de al menos un año, tanto del viento como de la carga. Ambas bases de datos, la de viento y la de carga cuentan con 8760 datos, de velocidad de viento (base horaria) y de carga con mediciones de energía consumida (kW/h) respectivamente.

2.1. Obtención de la base de datos de Velocidad de Viento

El análisis estadístico de los datos medidos en la estación meteorológica fue realizado con el software Windographer 1.46 y el mapa de viento en el sitio de instalación del aerogenerador fue generado utilizando el modelo de micro-escala WAsP 9.1, con una resolución de 50 metros.

2.2. Obtención de la base de datos de carga

La serie de datos de la carga debe contener el consumo de energía eléctrica promedio por hora en un lapso de un año para poder conocer el comportamiento de la carga en las diversas etapas del año, en nuestro caso se tomaron medidas de consumo en centro de carga general de la universidad, utilizando un analizador de calidad de la energía FLUKE 435.

Se obtuvieron dos modelos de carga; uno correspondientes a los días laborales y el otro a los no laborales (fin de semana y vacaciones se reducen a días no laborales), con los cuales se pudo construir una base de datos anual/horaria que representa la carga anual de la Universidad.

2.3. Optimización económica del sistema.

El estudio económico se realizó con el software HOMER, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El análisis económico se realiza en dólares norteamericanos (US)
- Los costos de operación y mantenimiento se toman como el 2% del total de la inversión inicial.
- El costo de venta de energía a la red pública se considera en \$0.08 US/kW, que coincide con el precio de venta promedio para la mayoría de los sectores en México (excepto el agrícola), y que está por debajo del costo de producción que reporta CFE en \$ 4 M.N. por kWh. [2]
- El costo capital de un Aerogenerador es de \$1700 US/kW, basado en la información publicada por la SENER.
- Interés Anual de financiamiento de 9 % considerando un panorama internacional.

En la tabla 2, se visualizan los datos de entrada de la simulación, considerados como factores importantes para la prospectiva del cálculo económico del proyecto y válidos para un análisis económico conservador.

Tabla 2 Datos de entrada de la simulación

Tiempo de vida del proyecto	20 años
Inversión inicial	\$ 2,550,000.00
Costo Anual de Operación y Mantenimiento	\$ 51000
Interés Anual de Financiamiento	9%

También como parte del programa conocido como Mecanismo de Desarrollo Limpio establecido en el Protocolo de Kioto [4], es posible obtener Bonos de Carbono otorgados por agencias internacionales, derivados de la reducción de gases emitidos al ambiente; estos beneficios económicos se ven reflejados en los cálculos del costo del proyecto.

3.- Resultados y discusión

3.1.- Base de datos de Velocidad de Viento

Los datos de la climatología eólica a 10 m de altura a la cual se encuentra la estación meteorológica y a 80 m que es la altura del buje del aerogenerador, obtenidos con el modelo de micro-escala WAsP 9.1, se pueden apreciar en la tabla 3.

Tabla 3. Clima del viento observado a 10 m y 80 m de altura.

SECTOR	ANGULO [°]	FRECUENCIA [%]		VELOCIDAD MEDIA (m/s)		DENSIDAD DE POTENCIA (W/m ²)	
		10 m	80 m	10 m	80 m	10 m	80 m
1	0	12.5	12.2	3.96	7.87	101	742
2	22.5	12.9	12.4	3.96	13.78	90	3760
3	45	7.9	8.3	3.47	17.36	59	7744
4	67.5	3.6	3.9	2.26	6.21	26	804
5	90	2.0	2.0	1.58	3.76	9	91
6	112.5	2.0	2.1	1.78	3.16	11	46
7	135	3.8	3.7	2.87	5.00	34	140

8	157.5	7.4	7.2	3.96	6.88	73	317
9	180	6.5	6.7	3.94	6.95	75	335
10	202.5	1.9	2.0	1.93	3.52	22	83
11	225	1.2	1.3	1.13	2.01	5	16
12	247.5	1.7	1.8	1	1.80	2	7
13	270	2.3	2.3	1.04	2.13	2	15
14	292.5	4.5	4.4	1.53	4.34	10	272
15	315	10.1	10.5	4.26	15.21	103	4865
16	337.5	19.6	19.3	5.82	11.68	194	1580
Total				3.82	9.86	91	2114

3.2.- Base de datos de carga

Para el estimado de la demanda energética se tomaron mediciones del consumo, generándose una base de datos que arroja información de la potencia aparente total promediada cada 5 minutos. Con estas mediciones se realizó un análisis para estimar el consumo anual de energía, considerando las horas y días laborables y los no laborables. Al procesar la información se obtuvieron 8760 datos que representan la potencia aparente total promedio por hora al año y utilizando el HOMER se obtuvieron los promedios, carga pico y factor de carga, los cuales se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4. Resumen de carga en la Universidad del Istmo.

Promedio (kWh/d)	1,873
Promedio (kW)	78.1
Carga pico kW	158
Factor de carga	0.494

En la figura 1, se observa el perfil diario de consumo en la Universidad del Istmo.

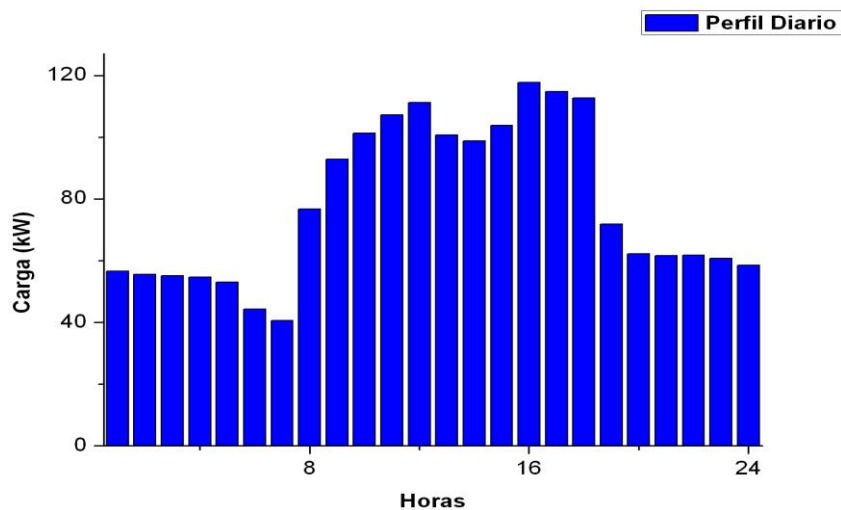


Figura 1. Perfil diario de consumo.

3.3.- Selección del Aerogenerador

Para la selección del aerogenerador a instalar es necesario tener en cuenta la presencia de la empresa del sector eólico en la zona, así como la consideración del tipo de turbinas que se han instalado en el sitio, donde la Empresa Acciona Energía actualmente cuenta con la mayor presencia de aerogeneradores instalados en el Istmo de Tehuantepec, por lo que se ha seleccionado el Modelo de Aerogenerador el AW 82/1500 Clase IIIb [5], el cual se clasifica como una clase para viento bajos, por lo que este aerogenerador es idóneo para el área de instalación. En la tabla 5, se observan las características de este aerogenerador.

Tabla 5 Características del Aerogenerador AW 82/1500

Potencia nominal	1500 kW
Altura del Hub	80 m
Diámetro del rotor	82 m
Velocidad de Arranque	3.0 m/s
Velocidad Nominal	11.6 m/s
Velocidad de Corte	20.0 m/s
Manufacturado por	Acciona Energía

En la figura 2, se muestra la ubicación de la estación anemométrica y el aerogenerador en la Universidad del Istmo.



Figura 2. Vista de la instalación del aerogenerador

3. 4.- Optimización económica del sistema.

3.4.1.- Sin considerar los Bonos de Carbono.

Se realiza el siguiente cálculo, considerando la producción del aerogenerador de 5,506,932 kWh/año, dando como resultado el Costo Presente Neto, que representa el costo total del proyecto.

Tabla 6. Costo Total del proyecto (costos en dólares)

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Aerogenerador	2,550,000	465,556	3,015,556
Red	0	127,521	127,521
Sistema	2,250,000	338,035	2,888,035

Durante el ciclo de vida del proyecto, ocurren depreciaciones a los activos, estas repercuten en el proyecto resultando un valor presente neto de \$2,888,035.

En la figura 3, se observan los montos invertidos en equipo, construcción y el costo de operación y mantenimiento y por otra parte el ingreso por concepto de ventas a la red.

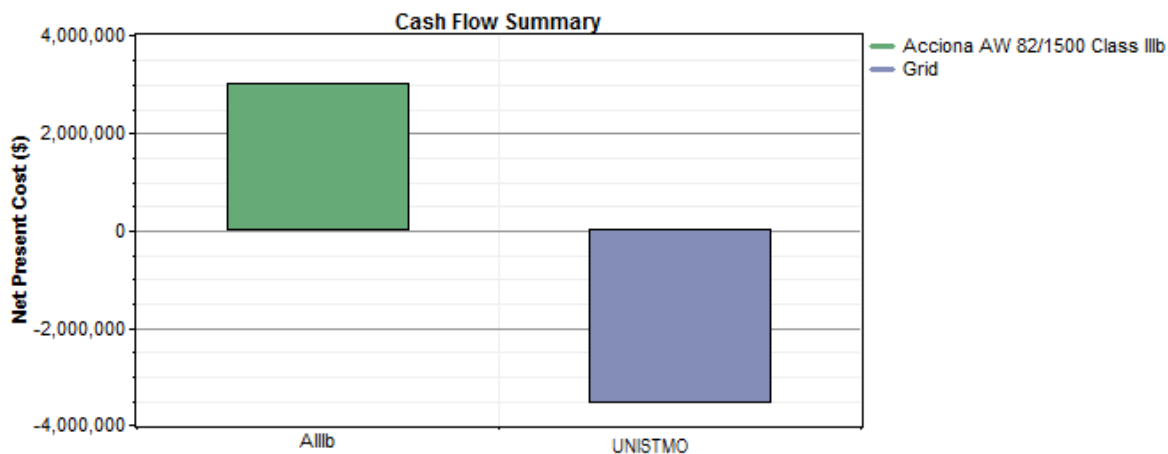


Figura 3. Valor Presente Neto

En la tabla 7 se muestran los Costos Anualizados, que representan un año de la inversión del proyecto. El capital anualizado es el pago anual fijo de la deuda, de forma que con el interés fijado (9%), la deuda se liquide en los 20 años del proyecto, el costo capital anualizado es de \$ 279,344 y la ganancia neta anualizada es de \$55,527.

Tabla 7. Costos Anualizados del proyecto (costos en dólares)

<i>Componentes</i>	<i>Capital</i> (\$)	<i>O&M</i> (\$)	<i>Total</i> (\$)
Aerogenerador	279,344	51,000	330,344
Unistmo	0	385,871	385,871
Sistema	279,344	334,871	55,527

En la figura 4 se aprecia el flujo de efectivo durante toda la vida del proyecto para el aerogenerador y la carga (Unistmo), los valores negativos indican gastos y los positivos ingresos.

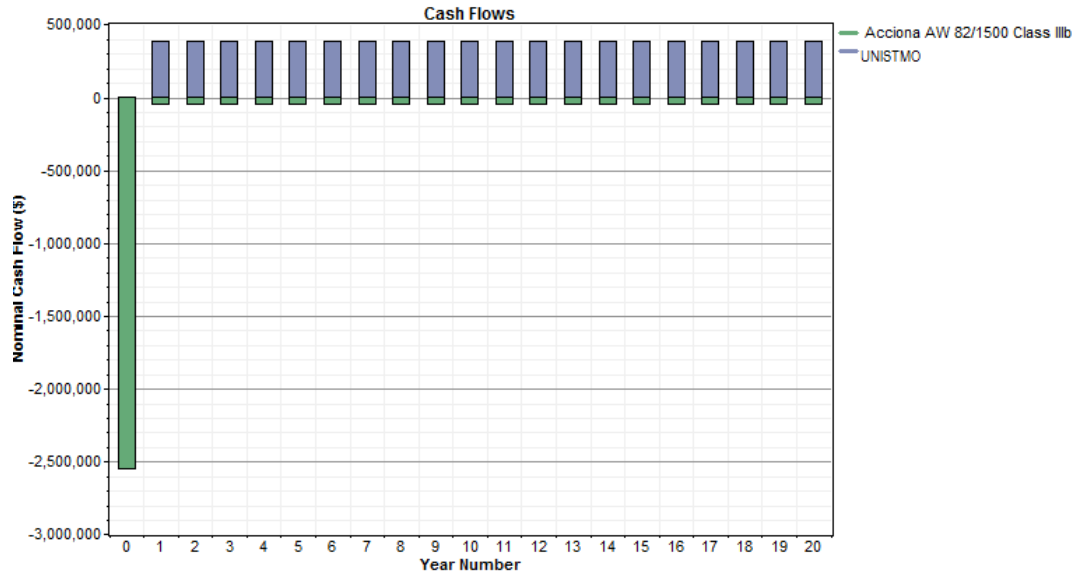


Figura 4. Flujo de Efectivo.

En la figura 5 se puede apreciar el tiempo en el cual se recupera la inversión del proyecto (aproximadamente 13 años).

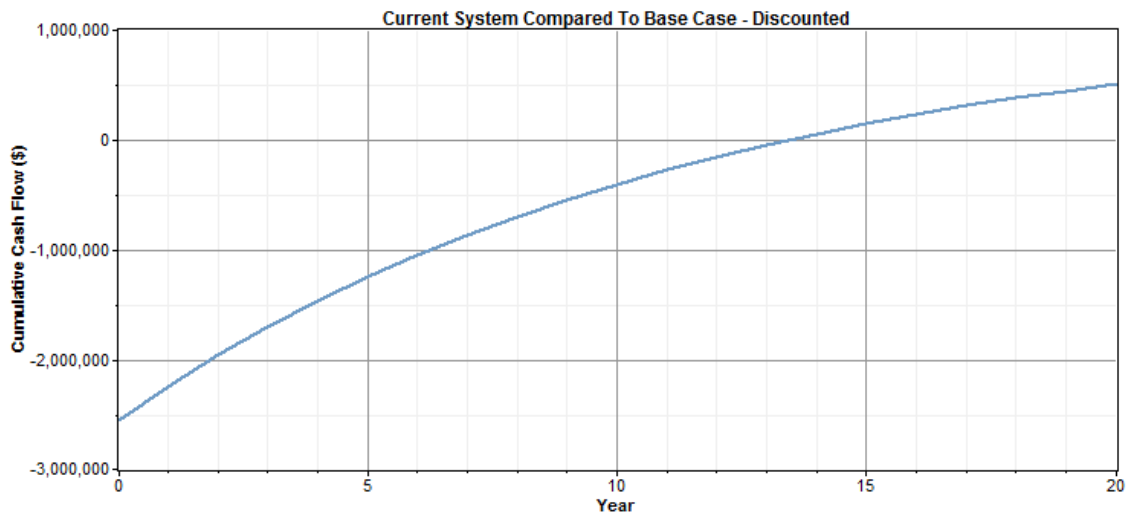


Figura 5. Prospectiva de recuperación de costos del proyecto.

En la tabla 8 se muestra la relación producción energética-ingreso. Donde se puede observar que el mes de agosto es el de menor producción.

Tabla 8. Prospectiva Anual de la Producción y Venta de energía a la Unistmo.

<i>Mes</i>	<i>Energía Vendida kWh</i>	<i>Ingresos \$ (dólares)</i>
Enero	457,328	32,046
Febrero	411,945	28,161
Marzo	546,083	39,020
Abril	444,500	30,828
Mayo	523,485	37,521
Junio	514,310	37,298
Julio	359,077	24,173
Agosto	237,970	13,949
Septiembre	349,487	23,356
Octubre	538,717	38,479
Noviembre	478,712	33,445
Diciembre	645,314	47,594
Anual	5,506,932	385,871

3.4.1.- Considerando los Bonos de Carbono.

En el cálculo del costo del proyecto se incluyen los ingresos por los Bonos de Carbono otorgados por agencias internacionales, debido a la reducción de gases emitidos al ambiente.

Existen precios diferentes por cada tonelada de CO₂ ya que no hay un valor “oficial” sobre el precio de una tonelada de CO₂ reducida o no emitida. Aunque algunas agencias multilaterales han establecido ciertos precios para los proyectos de reducción de emisiones financiados por ellas mismas (por ejemplo, hasta 2005, el Banco Mundial emplea un precio de \$12 dólares por tonelada de CO₂ equivalente no emitida), el precio de la tonelada está sujeto a oferta y demanda de bonos de carbono en el mercado [6]. Es importante, considerar que la Energía Eólica deja de producir aproximadamente 0.65 Ton/ MW de CO₂.

Para los 5,506,932 MWh/año calculados para el parque se tendría una cantidad aproximada de 3,135.20 Ton CO₂ equivalente de reducción de emisiones (tabla 9). Tomando en cuenta un precio a largo plazo de \$12 por Ton CO₂ equivalente, se tienen ingresos de alrededor de US 37,600 anuales, sin considerar la inflación.

Tabla 9. Reducción de Emisiones.

Contaminante	Emisiones (kg / año)
Dióxido de carbono	3,135,200
Dióxido de azufre	13,216
Óxidos de nitrógeno	6,463

Considerando la producción del aerogenerador de 5,506,932 kWh/año, podemos observar en la tabla 10 el Costo Presente Neto el cual representa el costo total del proyecto.

Tabla 10. Costo Total del proyecto considerando los Bonos de CO₂.

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Aerogenerador	2,250,000	465,556	3,015,556
Unistmo	0	3,522,439	3,522,439
Bonos de CO ₂	0	343,438	343,438
Sistema	2,250,000	3,400,321	850,321

Los Costos Anualizados, se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Costos Anualizados del proyecto, empleado Bonos de CO₂.

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Aerogenerador	279,344	51,000	330,344
Red	0	385,871	385,871
Bonos de CO ₂	0	37,622	37,622

Sistema	279,344	372,493	93,150
---------	---------	---------	--------

El incremento en el flujo de caja del proyecto se muestra en la figura 6, donde se observa la importancia del ingreso por concepto de bonos de carbono, cubriendo casi en su totalidad el gasto anual de operación y mantenimiento del aerogenerador.

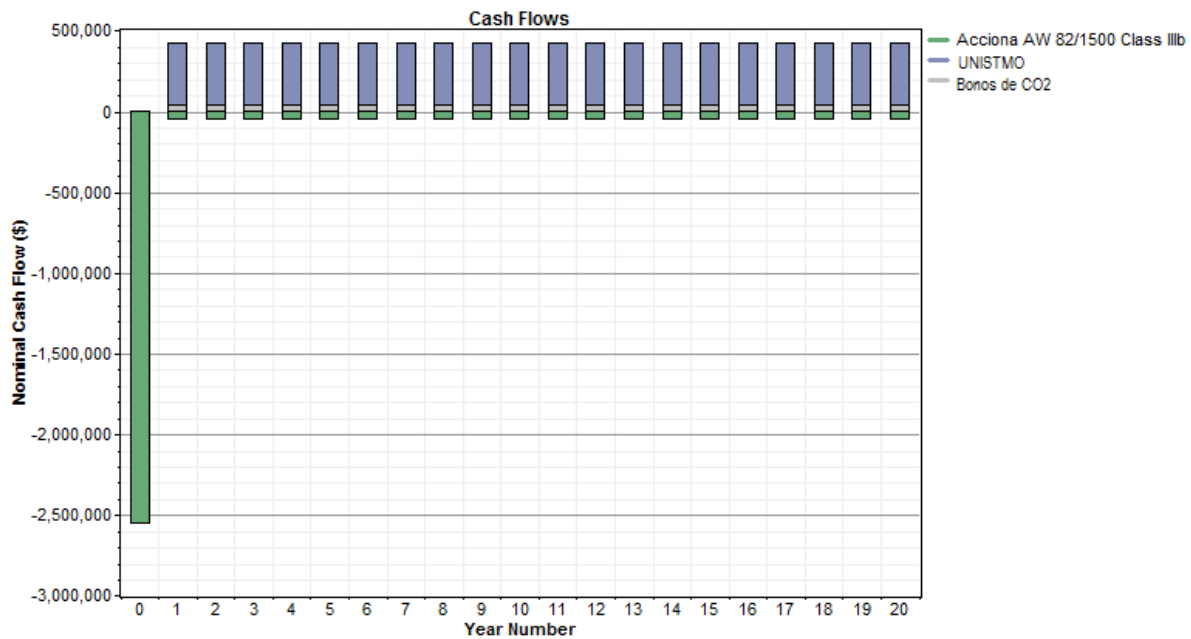


Figura 6. Flujo de Efectivo.

En la figura 7, se puede apreciar que el tiempo en el cual se recupera la inversión del proyecto se reduce a aproximadamente 11 años considerando los costos y beneficios de los bonos anteriormente mencionados. Las utilidades o ingreso nominal, al final de la vida total del proyecto son de \$ 93,150.

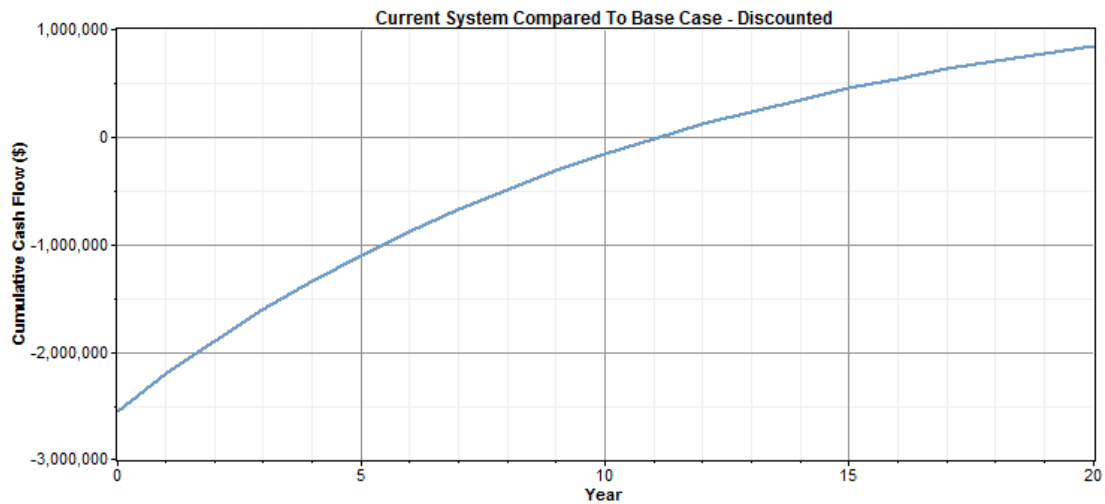


Figura 7. Prospectiva de recuperación de costos del proyecto.

4.- Conclusiones

El autoabastecimiento energético de la Universidad del Istmo es una opción viable desde el punto de vista técnico y económico ya que se cuenta con recurso eólico suficiente en la zona de consumo y es posible lograr su autoabastecimiento con el aerogenerador seleccionado.

Esta solución brinda una gran oportunidad para disminuir el impacto ecológico que provoca el actual esquema de suministro energético a su vez resulta en ventajas económicas al obtenerse en el balance final una utilidad económica.

5.- Agradecimientos

Al grupo de energía eólica del Instituto de Estudios de la Energía de la Universidad del Istmo por el aporte a la realización de este trabajo.

6. - Referencias

- [1] Atlas del Recurso Eólico del Estado de Oaxaca. D. Ellio, M. Schwartz. Laboratorio Nacional de Energía Renovable, USA. Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC) del Gobierno del Estado de Oaxaca, 2004.
- [2] Precios medios de energía eléctrica - CFE. Febrero de 2010

- [3] The Economics of Wind Energy. A report by the European Wind Energy Association. AWEA March 2009. Calculated by the author based on selected data for European wind turbine installations.
- [4] Guía Latinoamericana del MDL. Unión Europea, SEMARNAT - 2005
- [5] www.acciona.es
- [6] http://cambio_climatico.ine.gob.mx/sectprivcc/mercado bonos carbono.html