

Análisis de Sistema de energía renovable

*Rocío Del Alba Colon Rosado
MEM con concentración en recursos renovables
Héctor J. Cruzado, PhD
Escuela Graduada
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen—*Se aplicó la metodología DMAIC para analizar un sistema de energía renovable probando si se encontraba en su máxima-función. Como resultado del proyecto (se analizó el funcionamiento del sistema), se supo que sí era costo-efectivo la reparación del mismo y se identificaron tecnologías futuras para a aumentar la capacidad del sistema a 2 Megas de producción de energía.*

Términos Claves — *DMAIC, Energía Renovable, Energía Solar, Placas Solares.*

INTRODUCCIÓN

Este documento es escrito para el área de planificación del VA Hospital, relativo al análisis de un sistema de energía renovable afectado por el huracán María. Mediante el sistema DMAIC se estará probando si el sistema actual se encuentra en su función máxima-funcional. Como resultado del proyecto se espera analizar funcionamiento del sistema, saber si es costo-efectivo la reparación del mismo e identificar tecnologías futuras que ayuden a aumentar la capacidad del sistema a 2 Megas de producción de energía

REVISIÓN DE LITERATURA

La ley de Política Pública de Diversificación Energética por Medio de la Energía Renovable Sostenible y Alterna en PR” establece normas y mareas de fomentar el uso de energía renovable junto a las metas de corto y largo plazo. Algunos de los artículos importantes son:

- La ley fue creada con el propósito de que toda persona o compañía tenga acceso a la energía renovable. Aunque bien notado al realizar la lectura de la ley esta habla sobre la “certificación de energía renovable” (CER) [1].

- Se observa que la “Ley de Política Pública de Diversificación Energética por Medio de la Energía Renovable Sostenible y Alterna en PR” restringe la compra libre de productos de energía renovables.[1]
- En adición le quita la posibilidad al ciudadano de la libre movilidad del producto entre la infraestructura y la posibilidad de tener un sistema desconectado de la AEE. [1]

Existen diferentes maneras de hacer mejoras de construcción en un edificio mediante préstamos, como una compañía de servicios de energía (ESCO) [2].

La utilización de los recursos depende del tipo de estructura, edad y tamaño. Grumman da como definición: “un edificio de alto rendimiento es un edificio que utiliza el enfoque de diseño de todo el edificio para lograr el rendimiento energético, económico y ambiental que es sustancialmente mejor que la práctica estándar” ... [3]

Los edificios ecológicos son regidos en diferentes estados de Estados Unidos por unas categorizaciones. La asociación que rige estas categorizaciones es la LEED [4].

Las auditorías energéticas son una herramienta poderosa para descubrir mejoras operacionales y de equipos que ahorrarán energía y reducirán los costos de energía. El propósito de una auditoría energética es determinar dónde, cuándo, por qué y cómo se utiliza la energía en una instalación, e identificar oportunidades para mejorar la eficiencia.

“DEFINE PHASE”

“VA Caribbean Healthcare System” se encuentra ubicado en Calle Casia 10, San Juan, Puerto Rico 00921. Fue fundado en agosto de 1969.

Actualmente el Hospital consta con un promedio de consumo de ocho Mega Watts mensualmente. Esto equivale a \$700,000 mensuales con un ahorro de \$100,000 en energía alterna. “VA” tenía un sistema fotovoltaico en combinación con un sistema de turbinas de viento. Entre las dos producían 1 MW. Pero luego del huracán María, hubo una pérdida de un 40% del sistema combinado. Este 40% será restaurado (de no ser contradictorio en el análisis del futuro).

Como parte de las necesidades, se elevará la producción de energía renovable a un 25%, el doble de lo que anteriormente producían, que era 12.5% entre ambos sistemas.

Recopilación de datos

Para el análisis de variable se identificaron las variables que se encuentran afectando/influyendo en la producción de energía renovable. Se utilizaron varias herramientas para identificar las variables externas, no controladas pero métricas, que afectan el sistema de energía renovable independientes o en combinación.

Variables del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico es un conjunto de componentes organizados de cierta manera que absorben la energía del sol y la convierte en energía eléctrica.

- **Variable de KWH:** Esta ayudara a analizar la producción del sistema fotovoltaico. De esta manera identificar la eficiencia de producción de las placas solares.
- **Variable de energía solar:** Podrá ayudarnos a identificar de qué manera se desarrolla el comportamiento del sistema de placas solares con relación a la energía producida por el sol.

Variables del sistema de turbinas de viento

Este sistema está basado en una Turbo máquina motora la cual es capaz de capturar la energía eólica, convertirla en energía mecánica a través del movimiento de las aspas las cuales impulsan una rotación interna convirtiendo la energía eólica en energía mecánica (movimiento) y por último en eléctrica.

- **Variable de KWH:** Analizara la producción del sistema de generadores de viento. De esta manera identificar la de la eficiencia de producción de los molinos de viento.
- **Variable de velocidad de viento:** Indicará cuál es la relación entre la velocidad del viento con respecto a la producción de Watts mensuales de las turbinas de vientos.

La data fue extraída del “Charge Controller” de ambos sistemas, lo que significa que la data a analizar es data histórica (3 años).

En la recolección de data se realizó un “agrupamiento” de los tres años analizados, haciendo un promedio de todos los años y sustituyendo la data faltante con data genérica de Puerto Rico; de esta manera se podía evitar la data faltante para realizar los análisis.

Para los objetivos del proyecto se identificaron y establecieron varias metas las cuales serán:

- Identificar el tipo de comportamiento de ambos sistemas en combinado y las variables que afecten su función
- Proyectar en el futuro el comportamiento del sistema de energía renovable
- Identificar posibles sistemas de energía renovable que pueda ser implementada en el futuro
- Aumentar la capacidad

“MEASURE FASE”

Estadísticas Descriptivas

Las estadísticas descriptivas funcionan para identificar más afondo el comportamiento de la data histórica recolectada. En la Tabla 1 se muestra el análisis de la estadística descriptiva del sistema solar. Estas estadísticas indican que 92.71 KWH fluye la eficiencia de producción de las placas solares en el sistema fotovoltaico el cual tiene una variación con respecto a este promedio de 13.80KWH y un coeficiente de variación de 14.90% lo cual se puede mejorar, oscilando sus valores de flujo de producción entre 63.51 Kilo Watts Horas y 107.55 KW. Para la variable de “ENERGIA SOLAR” al calcular sus estadísticas

descriptivas esta permitió inferir que el comportamiento del sistema de placas solares con relación a la energía producida por el sol en promedio es de 6.22 KW/h con una variación con respecto a este promedio de 1.08KWH, un coeficiente de variación de 17.43% lo cual también dice que el comportamiento de esta variación con relación a la energía del sol puede oscilar con un mínimo de 4.60 kilo Watts Horas y un máximo de 7.70 Kilo Watts Horas con un consumo central de 7.70 Kilo Watts Horas.

Tabla 1
Estadísticas Descriptivas de Paneles Solares

Variable	Total Count	Mean	StDev	CoefVar
KWH	12	92.71	13.82	14.90
ENERGIA SOLAR KWH	12	6.225	1.085	17.43

En la Figura 1 se muestra la ecuación de regresión dada en la misma muestra como el factor para la variable de KWH es de 0.06457, indicando que para cada lectura de energía solar se puede esperar que los KWH aumenten en una media de 0.06457 ósea que aumentan de forma significativa con relación a la energía solar. Entonces se dice que el porcentaje de aumento de los KWH, guardan una relación lineal significativa con la variable energía solar

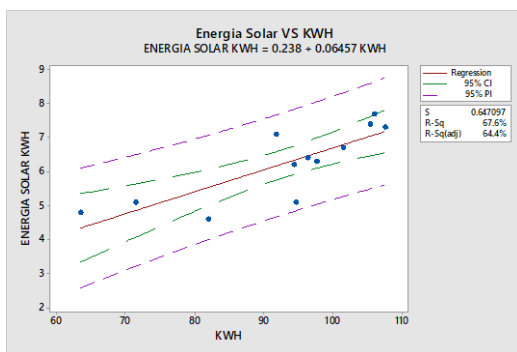


Figura 1
Regresión Lineal de Energía Solar y Producción

En la Tabla 2 se muestra el análisis de la estadística descriptiva del sistema de molinos de viento. Para la variable de KWH en el sistema de generadores de viento se obtuvo un promedio

mensual de 84.58 kW/h ósea que mensualmente se espera que genere este flujo de energía con una desviación de 9.80 kW/h reflejándonos un coeficiente de variación de 11.59% con valor central de 81.66 kW/h. Mientras que para la variable de Velocidad de viento presento un promedio mensual de 16.83 M/h es decir que la velocidad del viento para este sistema se promedió con esta velocidad, presentando esta una variación de 1.850 M/h para un coeficiente de variación de 10.99% y un valor central de 16.50 M/h

Tabla 2
Estadísticas Descriptivas de Molinos

Variable	Total Count	Mean	StDev	CoefVar
KWH MENSUAL	12	84.58	9.80	11.59
VELOCIDAD DE VIENTO KM/H	12	16.833	1.850	10.99

En la Figura 2, la ecuación de regresión dada en la misma muestra como el factor para la variable de KWH es de 0.06863, indicando que cada vez que la velocidad del viento aumente los KWH aumenten en una media de 0.06863, aunque es considerable en los KWH, esto se debe a que los molinos están en su capacidad máxima. Por lo mismo no se puede considerar la regresión lineal.

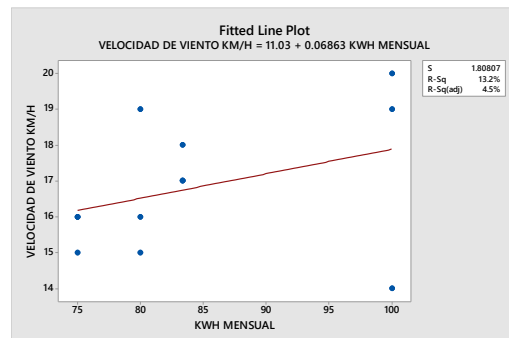


Figura 2
Regresión Lineal de Energía Eólica

En las Figuras 3 y 4 se muestra un resumen estadístico de los sistemas de energía renovable con los mismos se espera poder llegar mas a fondo a la identificación del funcionamiento de los sistemas. Durante el análisis de data histórica del sistema de

energía renovable en combinado en el “VA Caribbean Healthcare System” se descubrieron:

- Los generadores de viento no tienen desviación estándar puesto que estos son muy pequeños para la velocidad del viento, por ende, estos se mantienen en su máxima eficiencia. Hay una pérdida de energía de viento
- Aunque las placas solares tienen una producción alta en comparación con el sistema de energía eólica la variación del sistema de las placas solares es alta, esto debe ser investigado más a fondo puesto que esto comienza a ocurrir luego de año y medio de uso. Se considera esto como un punto importante de descubrimiento porque en San Juan se mantienen casi idénticas la energía solar.
- Los ingenieros de “VA” creían que solo producían un 5% de energía renovable, pero luego de realizar los cálculos pertinentes se descubrió que el VA Hospital produce el 12.5% de su energía.

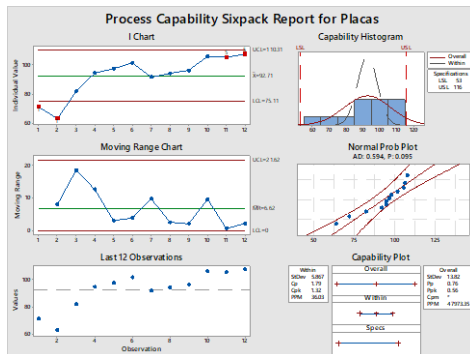


Figura 3

“Process Capability Sixpack Report” de Placas

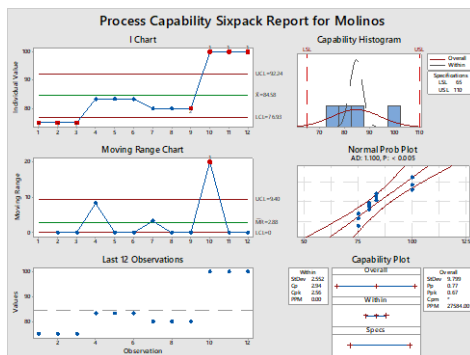


Figura 4

“Process Capability Sixpack Report” de Molinos

“ANALYZE PHASE”

En esta sección se muestran dos Figuras (Figura 5 y 6) de “Moving Range Chart” con las cuales se analizará el control del sistema a través del tiempo. La Figura 5 muestra el “MR Chart” de Placas Fotovoltaicas, el mismo si se encuentra en control estadístico, con unos valores de límites de control de (0 y 21.62) y un promedio de 6.62. La Figura 6 muestra que no está en control estadístico, dado que falla en la prueba 1 con datos más de 3.00 en la desviación estándar y estos puntos se encuentran fuera de los límites.

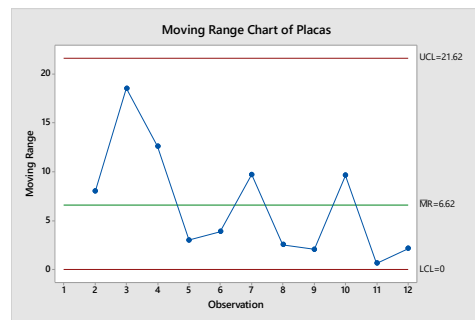


Figura 5

“Moving Range” de Placas

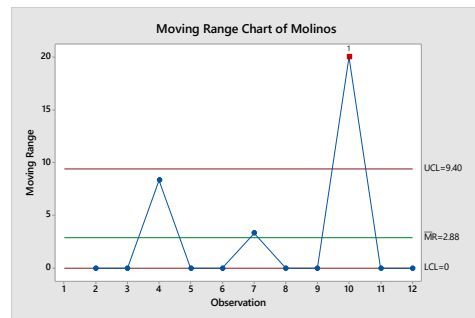


Figura 6

“Moving Range” de Molinos

“IMPROVE PHASE”

En la Figura 7 se observan los globos solares, estos cuestan hasta 400 veces menos por área colectada. En adición pueden resistir vientos de 100mph y su capa exterior plástica permite proteger el receptor y la superficie de los espejos de concentración de las inclemencias meteorológicas como la lluvia, la acción directa de insectos y suciedad. Funciona igual que una placa solar.

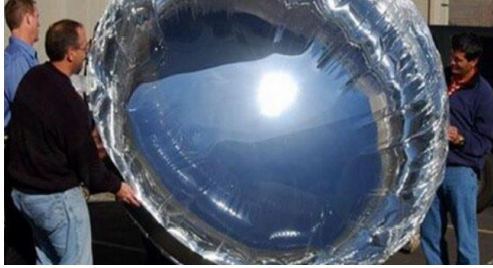


Figura 7
Globos Solares



Figura 9
Ventanas Solares

En la Figura 8, se observa la pintura solar en aerosol. Dado que al fin es una realidad, poder convertir cualquier tipo de superficie en un panel de energía solar. Gracias a un pétreo conocido como perovskita (CaTiO_3), el cual es un mineral relativamente raro de la corteza terrestre que tiene como destreza la habilidad de absorber la luz, descubierta hace más de 175 años.

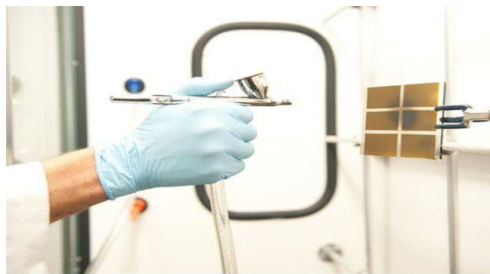


Figura 8
Pintura Fotovoltaica



Figura 10
Carreteras Solares

“CONTROL PHASE”

Las Tablas 3,4,5 y 6 resumen la producción detallada del sistema actual, eficiencia de las nuevas tecnologías, cantidad de nuevas tecnologías para llegar a la meta de 2M y el costo de mantenimiento de los sistemas. Además, las mismas servirán de ayuda para la planificación y el control de los sistemas en el futuro.

Tabla 3
Producción de Sistema en la Actualidad

Tecnología	Capacidad de Producción	Ahorro Aproximado 1MW
Sistema Solar	0.9271 MWH	
Aerogenerador	0.08458 MWH	
TOTAL Anual	1.01168 MW	\$1,200,000

En la Figura 9, se observa las Ventanas Solares, lo cual es otra manera de utilizar la luz solar y producir energía. Esto debido a un nuevo descubrimiento que consta de un revestimiento líquido que es posible aplicarlo a cualquier superficie transparente. Esta capa está compuesta de carbono, hidrogeno, nitrógeno y oxígeno, la cual es capaz de absorber la luz y por medio de unos conductores que se conectan al marco de la ventana, se hace posible la extracción de energía.

En la Figura 10, se presenta la tecnología de las carreteras solares, es un ingenioso sistema que transforma estas en acumuladores solares. El tema de la energía renovable con esta tecnología es aprovechar las vías de rodaje ya sean aceras y carreteras, de manera energética dado que son largas.

Tabla 4
Resumen de Eficiencia de Tecnología Nueva

Tecnología	Capacidad de Producción	Ahorro Aproximado 1MW
Globos Solares	500 watts c/u	\$240,000
Pintura Solar en Aerosol	10% de eficiencia	\$240,000
Ventanas Solares	8% de eficiencia	\$192,000
Paneles Solares Ultraligeros	10KW	\$744,000
Carreteras Solares	20% de eficiencia	\$480,000
TOTAL	2.0 MW anual	\$2,400,000

Tabla 5
Sistema en el futuro

Tecnología	Cantidad	Capacidad de Producción	Costo	ROI
Globos Solares	50 units	0.025MWH	\$125,000	-
Pintura Solar en Aerosol	549,425 ft ²	0.63 MWH	\$1.248M	-
Ventanas Solares	200 units	0.70 MWH	\$1.865M	-
TOTAL		1.355MWH	\$3.238M	2.4yrs

Tabla 6
Costo de Mantenimiento de los sistemas

Tipo de sistema	Cantidad de energía	Costo del sistema inicial	Porcentaje de mantenimiento (\$)	Vida útil años
Placas solares	1MW	\$2.9 M	1.5%=43 .5k	20
Aerogenerador	150KW	\$1.6K	3%= 48k	25
Globo solar	1MW	\$2.6M	0.5%=13 k	indefinido
Paneles ligeros	1MW	\$3.25M	1%=32.5 k	indefinido
Carreteras Solares	3.75kW H	\$4.5M por Km	indefinido	30

CONCLUSIÓN

El sistema fotovoltaico tiene un desempeño relativo en el sistema combinado de energía renovable. Sin embargo, el sistema de molinos de viento tienen una baja producción. Se recomienda arreglar el sistema de placas solares y realizar la búsqueda de algún tipo de tecnología moderna para aumentar la producción a un 25% (2M). se debe

tomar en consideración el espacio limitado con el que se encuentra la propiedad.

REFERENCIAS

- [1] Ley del Gobierno de Puerto Rico 2010. Ley de Política Pública de Diversificación Energética por Medio de la Energía Renovable Sostenible y Alterna en Puerto Rico 2014
- [2] .Barney L. Capehart, PhdCEM, Wayne C. Turner, Phd, PE and William J. Kennedy, Phd,PE. 2008. Guide to Energy Management 6th edition. ESCO
- [3] Barney L. Capehart, PhdCEM, Wayne C. Turner, Phd, PE and William J. Kennedy, Phd,PE. 2008. Guide to Energy Management 6th edition. Creando edificios verdes.
- [4] Barney L. Capehart, PhdCEM, Wayne C. Turner, Phd, PE and William J. Kennedy, Phd,PE. 2008. Guide to Energy Management 6th edition. Recurso de energía renovable y manejo de aguas.