



Análisis de Factibilidad para la Instalación de una Micro-Red Eléctrica de Nivel Industrial en Salamanca, Guanajuato.

B. P. Guzmán-Escoto^a, M. A. Montecillo-Torres^a, J. M. Patiño, M. A. Gómez-Martínez^a,
O. Rodríguez-Villalón^a, L. C. Razo-Vargas^a.

^aUniversidad de Guanajuato, DICIS, Salamanca, Gto., bp.guzmanescoto@ugto.mx, mag-yurippe9@hotmail.com, jesusmp23@ugto.mx, gomezma@ugto.mx, osvaldo@ugto.mx, celesterazo@hotmail.com

RESUMEN:

En el presente trabajo se expone un análisis técnico-económico realizado con el objetivo de determinar la factibilidad de la instalación de una micro-red eléctrica, la cual incluye paneles fotovoltaicos como fuentes de energía. La micro-red se diseña para que sea capaz de suministrar la energía requerida por una industria de mediano tamaño en niveles de sub-transmisión, considerando una curva de consumo variable y que representa un consumo promedio real. Asimismo, se utiliza información climatológica de la ciudad de Salamanca, Guanajuato, para los niveles de insolación, a fin de determinar de forma precisa la energía eléctrica que generaría la micro-red si se instala para soportar una parte de la demanda energética de la empresa. Para la configuración de la micro-red se considera como caso de estudio, una micro-red basada en la generación de energía eléctrica con paneles fotovoltaicos y se realiza el estudio técnico-económico para determinar el tiempo de recuperación de la inversión, la viabilidad del proyecto y el ahorro neto final.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el país se prevé un aumento en el costo de la electricidad, sobre todo para usuarios en niveles industriales. En México se cuenta con una única compañía suministradora de energía eléctrica que es la Comisión Federal de Electricidad (CFE); esta empresa se encarga de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica dentro del territorio mexicano, a fin de cumplir la demanda que se requiere de acuerdo a las necesidades de cada usuario. Para el cobro por consumo energético la CFE maneja diferentes tarifas, cuyo principal objetivo es establecer y fijar un precio que deberá pagar el usuario de acuerdo a las condiciones en las que se efectúa el suministro de energía. Para el caso de empresas cuyas características de demanda son tan elevadas que deben solicitar un servicio en niveles de sub-transmisión, la CFE les cobra cargos tanto por demanda facturable como por consumo neto de energía, además de que este tipo de tarifas (H-S H-SL H-T H-TL) se ajustan mensualmente de acuerdo a consideraciones que incluyen las variaciones en los precios de los combustibles, así como la variación de un índice de precios productor de siete divisiones económicas [1]. Las características principales de la tarifa H-SL aplicables a la Región Geográfica Central, a la cual pertenece el Estado de Guanajuato, se muestran en la Tabla 1 [2].

Donde la demanda facturable se determina mediante (1).

$$DF = DP + (FRI)[\max(DI - DP, 0)] + (FRB)[\max(DB - DPI, 0)] \quad (1)$$

donde:

DF es la demanda facturable, DP es la demanda punta máxima, DI es la demanda intermedia máxima, DB es la demanda base máxima, FRI y FRB son igual a 0.2 y 0.1 respectivamente para la



región central. El símbolo max significa el máximo, en este caso entre la diferencia establecida y cero.

Tabla 1. Características de la Tarifa H-SL para la Región Central

Tarifa H-SL (Alta Tensión)			
Cargo por KW de demanda Facturable	Cargo por kWh de Energía Punta	Cargo por kWh de Energía Intermedia	Cargo por kWh de energía Base
185.53	1.4704	0.821	0.7297
Horario (1 de Febrero al sábado anterior al primer domingo de abril)			
Días de la semana	Base	Intermedia	Punta
Lunes a Viernes	0:00-6:00	6:00-19:00 22:00-24:00	19:00-22:00
Sábado	0:00-7:00	7:00-24:00	
Domingo y Festivo	0:00-19:00 23:00-24:00	19:00-23:00	
Horario (Primer domingo de abril al 31 de julio)			
Días de la semana	Base	Intermedia	Punta
Lunes a Viernes	1:00-6:00	0:00-1:00 6:00-20:00 22:00-24:00	20:00-22:00
Sábado	1:00-7:00	0:00-1:00 7:00-24:00	
Domingo y Festivo	0:00-19:00	19:00-24:00	
Horario (1 de Agosto al sábado anterior al último domingo de octubre)			
Días de la semana	Base	Intermedia	Punta
Lunes a Viernes	0:00-6:00	6:00-19:00 22:00-24:00	19:00-22:00
Sábado	0:00-7:00	7:00-24:00	
Domingo y Festivo	0:00-19:00 23:00-24:00	19:00-23:00	
Horario (1 de Febrero al sábado anterior al primer domingo de abril)			
Días de la semana	Base	Intermedia	Punta
Lunes a Viernes	0:00-6:00	6:00-18:00 22:00-24:00	18:00-22:00
Sábado	0:00-8:00	8:00-19:00 21:00-24:00	19:00-21:00
Domingo y Festivo	0:00-18:00	18:00-24:00	

Al contar con un sistema de generación alterna basado en fuentes de energía que no dependan del petróleo, se disminuiría el pago por consumo energético a largo plazo ya que de acuerdo a las condiciones ambientales de la región donde se instale dicho sistema, este puede resultar auto-sustentable desde el punto de vista económico. Es por esto, que deben realizarse estudios cada vez más precisos para determinar si la instalación de un sistema de este tipo, denominados comúnmente como micro-redes, es factible para cada región en particular. En el presente trabajo se analiza la viabilidad de la instalación de una micro-red conformada por paneles fotovoltaicos, instalada para proveer un porcentaje de la energía requerida por una empresa ubicada en la ciudad de Salamanca, Gto.

2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES

En un inicio se había planteado como objetivo del presente trabajo, el análisis de dos casos de estudio: el primero consistía en una micro-red que incluía generación eléctrica por medios eólicos y solares; mientras que como segundo caso se analizaría una micro-red que incluía solamente medios de generación solares. Dado que las mediciones reales obtenidas para la velocidad del viento en la zona de instalación fueron muy bajas, se descartó esta opción debido a que no sería factible, como se establece en [3]. Por cuestiones de espacio, se decidió no incluir el análisis realizado y por lo tanto el trabajo se enfocará en el segundo caso de estudio.

Para comenzar el estudio, es necesario obtener la información de la radiación solar en la ciudad de Salamanca, la cual tiene la siguiente información geográfica: latitud 20°34'09", longitud 101°11'51" y altitud 1720m. La información de la radiación solar mensual en Salamanca para el periodo Julio 2005 – Diciembre 2014, obtenida del Centro de Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Guanajuato, se muestra en la Figuras 1a, 1b y 1c. A partir de estos datos reales de la radiación solar mensual en W/m^2 , se determina la evolución a largo plazo de la serie histórica con el cálculo de la tendencia lineal mediante el método analítico de los mínimos cuadrados. De esta manera, se



obtienen valores de la radiación solar para cada uno de los meses en los próximos 20 años; la Figura 1d exhibe estos resultados.

En [4] se establece que utilizando la ecuación para la posición del sol en el cielo durante todo el año se puede calcular la máxima cantidad de insolación en una superficie, a un ángulo de inclinación particular, como función de la latitud y el día del año. Así, la componente directa de radiación solar y el número de horas de sol, se determinan a partir de las siguientes expresiones:

$$\text{Salida del sol} = 12 - \frac{1}{15^\circ} \cos^{-1} \left(\frac{-\text{sen}\varphi \text{sen}\delta}{\cos\varphi \cos\delta} \right) \quad (2)$$

$$\text{Puesta del sol} = 12 + \frac{1}{15^\circ} \cos^{-1} \left(\frac{-\text{sen}\varphi \text{sen}\delta}{\cos\varphi \cos\delta} \right) \quad (3)$$

$$\text{ID} = (1.353) \left(0.7^{(AM^{0.678})} \right) \quad (4)$$

donde:

φ es la latitud de la locación de interés, δ es el ángulo de declinación, AM es la masa de aire igual a $1/\cos\theta$, donde θ es el ángulo medido a partir de la vertical (zenit).

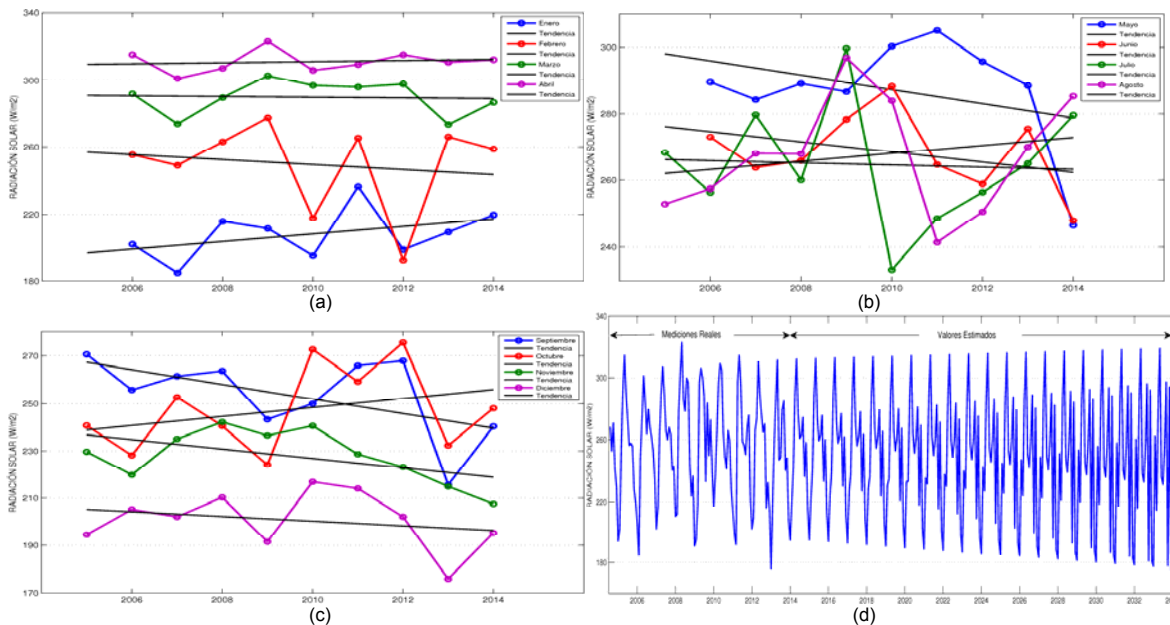


Figura 1. Radiación solar en Salamanca. a.) Enero-abril (2006-2014) b) Mayo-agosto (2005-2014). c) Septiembre-diciembre (2005-2014). d) Radiación solar real y estimada (2005-2034)

A partir de (2)-(4), se puede calcular con una mayor precisión, la distribución de la radiación solar durante el día, para cada mes, en la ciudad de Salamanca. La Figura 2, muestra la distribución de la radiación solar en términos del porcentaje de la radiación total durante un día, para cada mes del año. Los datos de las curvas presentadas en la Figura 2, junto con los valores promedio mensuales de radiación solar estimados para los próximos 20 años, permitirán calcular la cantidad de energía



eléctrica que generaran por los paneles fotovoltaicos por hora, esto mediante la siguiente ecuación [4]:

$$\text{Energía Eléctrica} = \eta * \text{área del panel fotovoltaico} * \text{Radiación solar} \quad (5)$$

Dado que la micro-red estará conectada directamente a la carga, sin sistema de almacenamiento, se podrá determinar la cantidad de energía eléctrica que se dejara de consumir del sistema eléctrico nacional (CFE), en cada tarifa horaria.

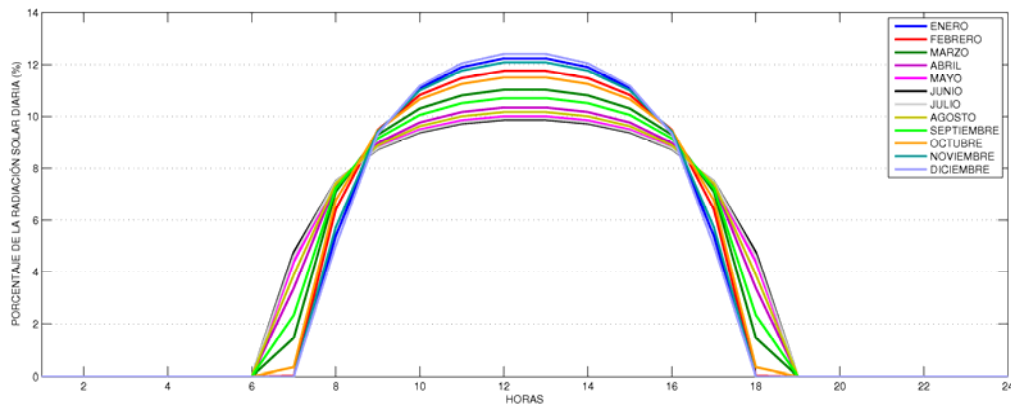


Figura 2. Distribución de la radiación solar durante el día para cada mes del año

3. ANÁLISIS DE CASO DE ESTUDIO

Como caso de estudio principal se analizará la factibilidad de la instalación de una micro-red fotovoltaica para suministrar energía eléctrica a la empresa Daltile México S. de R.L. de C.V. ubicada en Salamanca Guanajuato. El contrato de esta empresa con CFE es para suministro a una carga de 10800 kW en la tarifa H-SL. Para la estimación del consumo y el pago que realizaría la empresa en los próximos 20 años, se toma como base el recibo del mes de enero de 2015, el cual contiene la información resumida en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumo Energético de la empresa Daltile México.

Concepto	Demanda	Concepto	Importe \$
Energía base kWh mensual	719,845	Energía	1,826,622.54
Energía Intermedia kWh mensual	1,106,680	Demanda Facturable	627,648.00
Energía Punta kWh mensual	267,116	Subtotal	2,454,270.54
Demanda Facturable	3,383	IVA 16%	392,683.28
		Total Mensual	\$2,846,953.82

Si se considera este consumo constante durante 240 meses a partir de enero de 2015, en 20 años se habrán pagado \$683,268,916.80. La demanda diaria de energía de la empresa se presenta en la Figura 3.

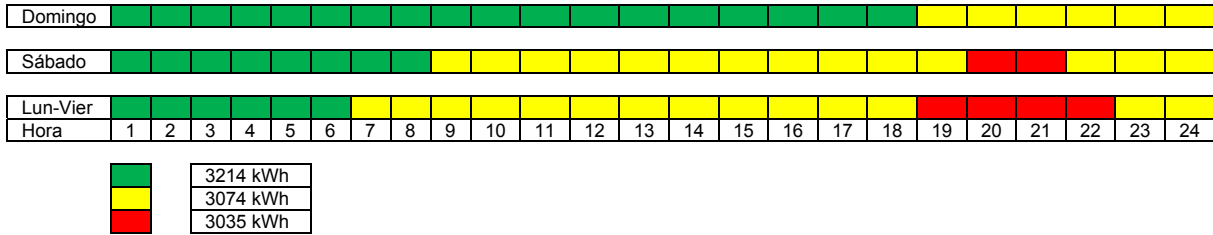


Figura 3. Distribución del consumo diario de la empresa Daltile durante el mes de enero 2015.

Para el presente caso de estudio y por razones comparativas entre estrategias de optimización que forman parte de un trabajo futuro, se decide que el sistema fotovoltaico tenga una capacidad igual a la energía diaria consumida por la empresa en el horario punta, de lunes a viernes, la cual es de 10,902.68 kWh. Basado en esto, el sistema fotovoltaico a instalar se dimensiona de la siguiente manera:

- El panel a utilizar es de 300Wp, 16.5% de eficiencia y mide 1.956m X 0.992m. Con esta información y los valores estimados de la radiación solar para cada uno de los meses comprendidos en el periodo 2015-2034, se calcula la energía eléctrica que generaría uno de estos paneles fotovoltaicos por día. Este valor dividido entre el número de días considerados en los veinte años, arroja un valor promedio de 1.91177 kWh por día. Finalmente, con este valor se determina el número total de paneles fotovoltaicos a partir de (4):

$$\text{demanda diaria} / \text{energía diaria por panel} = \text{número de paneles} \quad (4)$$

El número de paneles resultante es de $10,902.68 / 1.91177 = 5704$ paneles.

- A partir de la energía máxima que podría generar en un momento dado la micro-red, se calcula el número de inversores. Los datos calculados de generación de energía indican que el valor máximo posible es de 1500 kW; si se consideran inversores de 5000 W se requerirían 300 unidades.
- Finalmente se agrega el costo de las 5704 estructuras necesarias, a la inversión de la micro-red.

En la Tabla 3 se enlistan los componentes considerados para el sistema fotovoltaico así como el costo total de los mismos.

Tabla 3. Componentes de la Micro-red fotovoltaica

Componente	Características	Costo unitario	Núm. Componentes	Costo total (MXN)
Panales fotovoltaicos	300Wp, eficiencia de %16.5	\$4,116.80	5704	\$23,482,227.20
Inversor Growatt 5000	Capacidad 5000W	\$27,098.18	300	\$8,129,454.00
Estructuras		\$2000.00	5704	\$11,408,000.00
Inversión Total				\$43,019,681.20

4. RESULTADOS

Para establecer el ahorro económico que se tendría en el periodo de vida útil de la micro-red, así como el tiempo de recuperación de la inversión, es necesario considerar la energía generada por la micro-red en cada día de los próximos veinte años. Para obtener un valor preciso, se analizó cada



uno de los días, calculando la cantidad de energía que se suministraba a la carga y el horario en que se hacía. Asimismo, para cada día se utilizaron los valores particulares de la tarifa horaria para calcular el costo aproximado de la energía que se dejaría de consumir de la red nacional

Como ejemplo comparativo, en la Tabla 4 se presenta el consumo que se hubiera tenido en el mes de enero de 2015, si la micro-red hubiera estado ya en operación.

Tabla 4. Consumo Energético de la empresa Daltile México considerando la operación de la micro-red fotovoltaica.

Concepto	Demanda	Concepto	Importe \$
Energía base kWh mensual	674,138	Energía	1,558,327.54
Energía Intermedia kWh mensual	820,513	Demanda Facturable	563,083.55
Energía Punta kWh mensual	267,116	Subtotal	2,121,411.09
Demanda Facturable		IVA 16%	339,425.77
		Total Mensual	\$2,460,836.86

Comparando los pagos mensuales de las Tablas 2 y 4, se tiene un ahorro en este mes de \$386,116.95 pesos. Haciendo un análisis similar para cada mes, se determinan los pagos que se tendrían que hacer cada mes. Si a los valores obtenidos se le adiciona la inversión inicial, se puede determinar gráficamente el tiempo de recuperación, como se observa en la Figura 4.

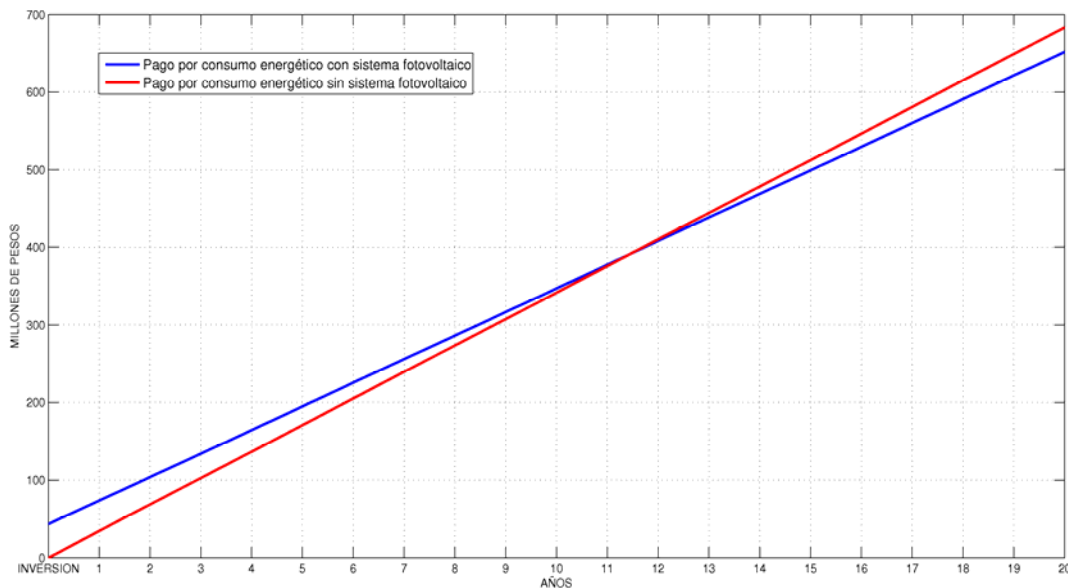


Figura 4. Tiempo de recuperación de la inversión realizada para la micro-red

En la Figura 4, el punto donde se igualan las curvas del pago por consumo energético con la micro-red instalada y sin ella, indica el tiempo en el que se recuperaría la inversión para este caso el resultado es de 11.37 años. Por otro lado, la ganancia total que se tendría al cabo del periodo de vida útil de la micro-red sería de \$31,441,386.86 que es aproximadamente un 73% del dinero invertido inicialmente.



5. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos puede concluirse que la instalación de la micro-red fotovoltaica para abastecer una parte del consumo de energía eléctrica en la empresa Daltile México localizada en la ciudad de Salamanca, Gto., es factible.

Las condiciones ambientales de la región son las propicias, además de que actualmente en la planta cuenta con la extensión necesaria para la instalación de las 5704 celdas. Asimismo, además del beneficio económico, se tiene un impacto ambiental y social benéfico ya que esta instalación podría servir como modelo para las empresas de la región. Por otro lado, con la ayuda de los equipos de cómputo actuales, es posible manejar una gran cantidad de información como en este estudio, en la que fue posible analizar la energía generada por el sistema fotovoltaico para cada uno de los días en el periodo contemplado, resultando en la obtención de datos más precisos y por ende más confiables. Si bien, no es posible determinar modelos precisos que estimen las condiciones para periodos de tiempo tan extensos, la información obtenida clarifica el proceso operativo que tiene lugar en un sistema de este tipo, sirviendo como base para futuros estudios que involucran otro tipo de aplicaciones, como puede ser la implementación de esquemas de optimización que controlen en tiempo real la operación de estas micro-redes a fin de obtener mayores beneficios tanto técnicos como económicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Prospectiva del Sector Eléctrico 2013-2027. Secretaría de Energía. http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2013-2027.pdf (Última consulta 13 de abril de 2015).
2. Comisión Federal de Electricidad. http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HSL&Anio=2015&mes=4 (Última consulta 15 de abril de 2015).
3. M. A. Hernández-Figueroa, M. A. Gómez Martínez, J. M. Lozano-García, F. Ireta-Moreno, "Estudio de factibilidad de generación eléctrica en el estado de Guanajuato mediante fuentes alternas de energía", en Memorias del XXXIII Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica, Electro 2011, México, 2011.
4. C. Honsberg and S. Bowden. PV Education. <http://pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation> (Última consulta 13 de abril de 2015).
5. J. Alonso, "Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas", Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma, Sunfields Europe.