

## Comparación de los costos de sistemas fotovoltaicos para invernaderos y gastos de energía eléctrica de la red\*

### Comparison of costs of photovoltaic systems for greenhouses and network electricity expenses

Edilberto Santos Poblano Ortiz<sup>1</sup>, Eugenio Romantchik Kriuchkova<sup>1§</sup>, Federico Félix Hahn Schlam<sup>1</sup>, Francisco Betanzos Castillo<sup>1</sup> y Telesforo Martínez Castellanos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. México. (mreddy\_1989@hotmail.com; fhahn@correo.chapingo.mx; fbetanzosc Castillo@gmail.com; telesmcs@gmail.com). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: eugenio.romantchik@gmail.com.

#### Resumen

Un sistema fotovoltaico (SFV) puede proporcionar energía a usuarios que habitan en zonas donde no hay red de servicio público. El presente trabajo presenta una metodología que permite determinar la distancia mínima y el consumo mínimo de la energía en función de la distancia de la red eléctrica existente que justifica el uso de SFV's comparando los precios por construcción y conexión de la red de Energía Eléctrica de Comisión Federal de Electricidad (CFE) en función de la distancia de construcción y los costos de instalación de sistemas fotovoltaicos para invernaderos con gastos de energía hasta de 30 kWh calculados con el programa desarrollado por el posgrado IAUIA de la UACH. Existen diferentes tarifas de energía eléctrica, las cuales aumentan anualmente de 4.4 hasta 27%, estas se analizaron para los años 2003 - 2013 y se proyectaron hasta el año 2038. Se comprobó que calculando los gastos eléctricos con las tarifas 9M establecidas en el sector agrícola y para 10 y 15 años de uso de SFV es viable instalarlos aun en lugares donde ya existe la red eléctrica de CFE para la energía consumida mayor de 4.8 y 1.5 kWh por día en invernaderos correspondientemente, ya que solo los gastos por consumo energético durante estos años rebasan los costos de instalación de SFV. Se determinó el consumo mínimo de energía en función de la distancia de existencia de la red eléctrica que justifica la instalación de los SFV.

#### Abstract

A photovoltaic system (SFV) can provide power to users who live in areas where no public service network. This paper presents a methodology to determine the minimum distance and minimum energy consumption depending on the distance from the existing electrical grid that justifies the use of SFV's comparing prices for construction and network connection Electric Power Federal Electricity Commission (CFE) as a function of distance from construction and installation costs of photovoltaic systems for greenhouses with energy costs up to 30 kWh calculated with the program developed by the IAUIA graduate UACH. There are different electricity rates, which increase annually from 4.4 to 27%, these were analysed for the years 2003 to 2013 and projected to 2038. It was found that calculating electrical costs with 9M rates established in the agricultural sector and 10 and 15 years of using SFV is feasible to install even in places where there is already CFE's power grid for most energy consumed 4.8 and 1.5 kWh per day in greenhouses correspondingly, as only energy expenses during these years beyond installation costs SFV. Minimum power consumption in function of the distance of the grid existence of justifying the installation of SFV was determined.

**Keywords:** costs, electricity, photovoltaic systems.

\* Recibido: noviembre de 2014  
Aceptado: abril de 2015

**Palabras clave:** costos, energía eléctrica, sistemas fotovoltaicos.

## Introducción

Un invernadero es una construcción agrícola de estructura metálica con cubierta plástica traslúcida, usada para la protección de plantas que tiene por objetivo simular las condiciones climáticas adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas en su interior, con cierta independencia del medio exterior (NMX-E-255-CNCP-2013). La energía es fundamental para cualquier actividad productiva; su ausencia disminuye la posibilidad de un desarrollo sustentable (SENER, 2004). En 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes, de los cuales 7 millones contaban con electricidad. El 14 de agosto de 1937 el gobierno federal creó la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que tiene por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica y desde octubre de 2009 CFE es la encargada de brindar el servicio eléctrico en todo el país (CFE, 2013b).

Para abril de 2013 los usuarios de energía eléctrica en México sumaron un total de 36,796,000 (SENER-CFE, 2013). Datos del INEGI (2012) indican que 98.2% del total de viviendas en México disponen de energía eléctrica. Sin embargo en muchas zonas rurales de la república no se demanda tanta potencia como en lugares urbanos y alejados de las redes eléctricas lo que hace que sea más costoso extender la red eléctrica a áreas rurales poco pobladas, que instalar SFV para suministrar la energía a los hogares o sector productivo (Ángeles, 2009). Con el objetivo de reducir el consumo de combustibles fósiles, la contaminación atmosférica, los costos de producción y satisfacer la demanda eléctrica en lugares alejados de la red se han desarrollado investigaciones sobre los aprovechamientos de la energía solar en los hogares y la agricultura en países como Reino Unido, Etiopía, Francia, India, y especialmente, Estados Unidos de América (Casanova, 1993, citado por Pérez, 2007).

También se realizan investigaciones sobre la implementación de SFV en invernaderos. Sánchez (2004) estudió la aplicación de SFV para suministrar la energía a sistemas de ventilación, pantalla térmica, foggin y riego hidropónico de un invernadero ubicado en Navarra, España y concluye que específicamente en su estudio y en función de los puntos de partida no resultó viable, sin embargo no consideró un

## Introduction

A greenhouse is an agricultural building metal frame with translucent plastic cover, used for plant protection aims to simulate suitable for the growth and development of plants grown inside, with some independence from the external environment climatic conditions (NMX-E-255-CNCP-2013). Energy is fundamental to any productive activity; its absence reduces the possibility of sustainable development (SENER, 2004). In 1937 Mexico had 18.3 million inhabitants, of whom 7 000 000 had electricity. On August 14, 1937 the federal government created the Federal Electricity Commission (CFE), which aims to organize and lead a national system of generation, transmission and distribution of electricity and since October 2009 CFE is responsible for providing the electrical service throughout the country (CFE, 2013b).

By April 2013 users of electricity in Mexico totalled 36.796 million (SENER-CFE, 2013). INEGI (2012) indicate that 98.2% of all households in Mexico have electricity. However, in many rural areas of the republic much power does not demand in urban and remote areas of electrical networks which makes it more costly to extend the grid to rural areas sparsely populated install SFV to supply power to the homes or productive sector (Ángeles, 2009). In order to reduce fossil fuel consumption, air pollution, production costs and satisfy electricity demand in places far from the network have conducted research on the uses of solar energy in homes and agriculture in countries like UK, Ethiopia, France, India, and particularly the United States of America (Casanova, 1993, quoted by Pérez, 2007).

Research on the implementation of SFV in greenhouses are also performed. Sánchez (2004) studied the application of SFV to supply energy to ventilation systems, heat shield and hydroponic irrigation foggin a greenhouse located in Navarra, Spain and concludes that specifically in his study and depending on the starting points did not result feasible; however, not considered an oversizing therefore also concludes that may be feasible to apply to systems other than irrigation. In this study does not take into account the costs for grid extension and fee payments power consumption from the mains, so in this work cannot obtain a minimum distance justifiable SFV's installation.

Yano *et al.* (2005); Yano *et al.* (2007); Yano (2010) evaluated the use of SFV in greenhouses to produce the energy needed for environmental monitoring solar radiation considering the

sobredimensionamiento por lo cual también concluye que puede ser viable para aplicarlo a los sistemas con excepción del riego. en este estudio no se toman en cuenta los costos por extensión de redes y pagos de tarifas de consumo de energía de la red eléctrica, por lo cual en ese trabajo no se puede obtener una distancia mínima justificable de la instalación de SFV's.

Yano *et al.* (2005); Yano *et al.* (2007); Yano (2010) evaluaron el uso de SFV en invernadero para producir la energía necesaria para el control del medio ambiente considerando la radiación solar del lugar y el consumo energético de los sistemas involucrados (ventilación forzada, apertura y cierre de ventanas) y concluye que la generación de energía eléctrica mediante SFV es válida para tal fin.

Ángeles (2009) realizó un estudio económico del uso de SFV's instalados en tres localidades de Tapanatepec, Oax. comparandola instalación de SFV's y el costo por extensión de red de CFE en comunidades, concluyó que resulta más viable económicamente la instalación de SFV a partir de los 10 km de distancia que extender la red de CFE; sin embargo, no tomo en cuenta el costo de la tarifa por consumo de energía y el incremento anual que esta tiene.

Por lo anterior el objetivo del presente trabajo es presentar la metodología para obtener la distancia mínima justificada de la instalación de SFV comparando los costos generados por la instalación de SFV con los costos de construcción de redes eléctricas por parte de CFE más el pago de tarifas por diversos consumos de energía.

## Materiales y métodos

Software de selección de SFV para invernadero. Es un software desarrollado por el posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua (IAUIA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH, 2013). Se encuentra disponible para consulta en línea. Cuenta con un catálogo de 53 ciudades en 29 estados de la República Mexicana además de un inventario de aplicaciones para elegir los motores, focos y accesorios de los diferentes sistemas que utiliza el invernadero (ventilación, riego, iluminación, sombreado, calefacción, accesorios, etc.) así como la cantidad y las horas de uso. Mediante un algoritmo el software selecciona de un catálogo de componentes la opción más económica según el costo estimado del SFV de diferentes (n) energías ( $C_{SFVn,En}$ ) y las características de sus

location and energy consumption of the systems involved (forced ventilation opening and closing of windows) and concludes that the generation energy Power by SFV is valid to this end.

Ángels (2009) conducted an economic study of the use of SFV's installed in three locations in Tapanatepec, Oaxaca, comparing the installation of SFV's and the cost per network extension of CFE communities, concluded that it is more economically viable installation SFV from 10 km away to extend the network of CFE; however, do not take into account the cost of energy consumption rate and the annual increase that this has.

Therefore the objective of this paper is to present the methodology to obtain the minimum distance justified the installation of SFV comparing the costs generated by the installation of SFV with construction costs of electric networks by CFE plus payment of fees various energy consumption.

## Materials and methods

SFV selection software for greenhouse. It is a software developed by the Agricultural Engineering graduate and comprehensive Water Use (IAUIA) of Chapingo (UACH, 2013). It is available for viewing online. Has a catalogue of 53 cities in 29 states of Mexico plus an inventory of applications to choose motors, lights and accessories of different systems using the greenhouse (ventilation, irrigation, lighting, shading, heating, accessories, etc.) as well as the number and hours of use. Using a software algorithm selected from a catalogue of components the cheapest option for the estimated cost of SFV different (n) energy ( $C_{SFVn,En}$ ) and the characteristics of its components (make, model, voltage, current, etc.). This software calculates both autonomous systems and grid connected systems.

Work methodology. With software selection installation costs SFV for different power and energy are calculated.

The construction costs of power grids ( $C_{consCFE}$ ) are obtained by analyzing the regulation of CFE (CFE, 2006) depending on the distance, materials, installation type and amount of energy to be supplied and considering that is proportional to the distance in meters and is calculated using the following equation:

componentes (marca, modelo, voltaje, corriente, etc.). Este software calcula tanto sistemas autónomos como sistemas conectados a red.

Metodología de trabajo. Con el software de selección se calculan los costos de instalación de SFV para diferentes potencias y energías.

Los costos de construcción de redes de energía eléctrica ( $C_{\text{consCFE}}$ ) se obtienen analizando la normatividad de CFE (CFE, 2006) en función de la distancia, materiales, tipo de instalación y cantidad de energía a suministrar y considerando que es proporcional a la distancia en metros, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{\text{consCFE}} = C_{\text{Acom}} + C_{1\text{km}} \quad 1)$$

Donde:  $C_{\text{Acom}}$  = costo de acometida [\$],  $C_{1\text{km}}$  = costo de 1 km de instalación [ $\$ \text{m}^{-1}$ ].

Una acometida es el tramo de línea que conecta la instalación del usuario a la línea suministradora de CFE. Puede estar hasta una distancia de 35 a 50 metros como máximo. Como el costo de acometida es fijo y el de construcción está dado por km se puede determinar el costo de construcción por metro:

$$C_{\text{mtr}} = \frac{C_{\text{consCFE}} - C_{\text{Acom}}}{100} \quad 2)$$

Donde:  $C_{\text{mtr}}$  = costo por metro de instalación [ $\$ \text{m}^{-1}$ ].

Si los costos de instalación de SFV son menores a los costos de construcción de redes de CFE es justificable el uso de esta energía alternativa y al revés. Entonces hay que analizar los puntos de igualdad de costos.

$$C_{\text{SFV n En}} = C_{\text{consCFE}} \quad 3)$$

Así podemos obtener la distancia mínima (Dist) de justificación del uso de SFV tomando en cuenta solo costos por construcción de red de CFE con lo siguiente:

$$\text{Dist} = \frac{C_{\text{SFV m En}} - C_{\text{Acom}}}{C_{\text{mtr}}} \quad 4)$$

Es importante resaltar que para realizar una comparación entre costos de instalación de SFV y extensión de líneas de CFE se debe incluir el pago de tarifas de energía suministrada para agricultores durante diferentes años. El costo total incluyendo la tarifa ( $C_{\text{TotTar}}$ ) se calcula de acuerdo con la ecuación (5):

$$C_{\text{consCFE}} = C_{\text{Acom}} + C_{1\text{km}} \quad 1)$$

Where:  $C_{\text{Acom}}$  = cost of a rush [\$],  $C_{1\text{km}}$  = cost of 1kg of installation [ $\$ \text{m}^{-1}$ ].

A rush is the section of line that connects the customer premises to the supply line CFE. It may be up to a distance of 35-50 meters long. As the cost of attack is fixed and the building is given by km can determine the construction cost per meter:

$$C_{\text{mtr}} = \frac{C_{\text{consCFE}} - C_{\text{Acom}}}{100} \quad 2)$$

Where:  $C_{\text{mtr}}$  = cost per metre installation [ $\$ \text{m}^{-1}$ ].

If the installation costs of SFV are lower construction costs CFE network is justifiable use of this alternative energy and vice versa. Then we have to analyse the points of equal cost.

$$C_{\text{SFV n En}} = C_{\text{consCFE}} \quad 3)$$

So we can get the minimum distance (Dist) justification of the use of SFV taking into account only costs CFE network construction with the following:

$$\text{Dist} = \frac{C_{\text{SFV m En}} - C_{\text{Acom}}}{C_{\text{mtr}}} \quad 4)$$

Importantly for comparison between installation costs SFV and extension lines CFE must include the payment of rates of energy supplied to farmers during different years. The total cost including the rate ( $C_{\text{TotTar}}$ ) is calculated according to the equation (5):

$$C_{\text{TotTar}} = C_{\text{Acom}} + [C_{\text{mtr}} * \text{Dist}] + [\text{Tar} * \text{En} * 365 * \text{No year}] \quad 5)$$

Where:  $\text{Tar}$  = 1 kWh rate [ $\$ \text{kWh}$ ];  $\text{in}$  = energy consumed per day [ $\text{kWh}$ ]; and number of year = number of years for which the analysis will be.

Electricity tariffs contain the conditions governing the power supply and the price paid by consumers of public services to the state in exchange for the service. Officially identified by their numbers and letters, depending on the application and are based on energy consumption, regional differences, seasons, times of consumption, voltage level, contracted demand and type of use (domestic, public lighting, agricultural, etc.). In Mexico in rural countryside electricity rates used are seven domestic, public service 3, 4 agricultural irrigation, 1, 1 temporary service aquaculture (CFE, 2013b).

$$C_{\text{TotTar}} = C_{\text{Acom}} + [C_{\text{mtr}} * \text{Dist}] + [\text{Tar} * \text{En} * 365 * \text{No años}] \quad 5)$$

Donde: Tar=tarifa de 1kWh [\$ kWh]; en=energía consumida por día [kWh]; y núm. de años = número de años al cual se hará el análisis.

Las tarifas eléctricas contienen las condiciones que rigen el suministro de energía y el precio que pagan los consumidores de un servicio público al estado a cambio de la prestación del servicio. Se identifican oficialmente por su número y letras, según su aplicación y se basan en el consumo de energía, diferencias regionales, estaciones del año, horarios de consumo, nivel de tensión, demanda contratada y tipo de uso (domestico, alumbrado público, agrícola, etc.). En México en campo rural las tarifas eléctricas que se usan son 7 domesticas, 3 de servicio público, 4 de riego agrícola, 1 de servicio temporal y 1 acuícola (CFE, 2013b).

También hay que tomar en cuenta que existe un incremento anual de la tarifa. Este incremento se calcula en base a una recopilación de las tarifas de consumo de energía agrícola sin y con subsidios 9M y 9CU y domestica durante 10 años atrás (de 2003 al 2013). Se obtuvo la diferencia entre cada año respecto al anterior y posteriormente el porcentaje de incremento de acuerdo con:

$$\text{Dif}_{\text{Tar}} = \text{Tar}_{\text{año n}} - \text{Tar}_{\text{ant}} \quad 6)$$

$$\text{In}_{\text{año n}} = \frac{(\text{Dif}_{\text{Tar}} * 100)}{\text{Tar}_{\text{ant}}} \quad 7)$$

$$\text{In}_{\text{an}} = \frac{\sum_{2003}^{2013} \text{In}_{\text{año n}}}{10} \quad 8)$$

Dónde:  $\text{Dif}_{\text{Tar}}$  = diferencia de tarifa [\$],  $\text{Tar}_{\text{año n}}$  = tarifa de 1 kWh al año n [\$ kWh],  $\text{Tar}_{\text{ant}}$  = tarifa anterior al año n de 1 kWh [\$ kWh],  $\text{In}_{\text{año n}}$  = incremento en un año n [%],  $\text{In}_{\text{an}}$  = promedio de incremento anual de la tarifa de los años 2013-2023 [%].

El promedio de incremento anual se utiliza para calcular las tarifas para los años futuros hasta el año 2038 con la expresión siguiente:

$$\text{Tar}_{\text{año n}} = \text{Tar}_{\text{ant}} + (\text{Tar}_{\text{ant}} * \text{In}_{\text{an}}) \quad 9)$$

Se obtiene el costo de consumo a n (10, 15, 20 y 25) años ( $\text{CC}_{\text{n años}}$ ) con la siguiente expresión:

$$\text{CC}_{\text{n años}} = \sum_1^n (\text{Tar}_{\text{año n}} * \text{En} * 365) \quad 10)$$

We must also note that there is an annual fee increase. This increase was calculated based on a compilation of rates Agricultural energy consumption with and without subsidies and domestic 9M and 9CU, 10 years ago (2003 to 2013). Each year the difference between the previous and later the percentage increase was obtained according to:

$$\text{Dif}_{\text{Tar}} = \text{Tar}_{\text{year n}} - \text{Tar}_{\text{ant}} \quad 6)$$

$$\text{In}_{\text{año n}} = \frac{(\text{Dif}_{\text{Tar}} * 100)}{\text{Tar}_{\text{ant}}} \quad 7)$$

$$\text{In}_{\text{an}} = \frac{\sum_{2003}^{2013} \text{In}_{\text{year n}}}{10} \quad 8)$$

Where:  $\text{Dif}_{\text{Tar}}$  = difference [\$],  $\text{Tar}_{\text{year n}}$  = 1 kWh per year n [\$ kWh],  $\text{Tar}_{\text{ant}}$  = previous rate at year n of 1 kWh [\$ kWh],  $\text{In}_{\text{year n}}$  = increase in a year n [%],  $\text{In}_{\text{an}}$  = average annual growth rate of the years 2013 to 2023 [%].

The average annual increase is used to calculate the rates for future years until 2038 with the following expression:

$$\text{Tar}_{\text{year n}} = \text{Tar}_{\text{ant}} + (\text{Tar}_{\text{ant}} * \text{In}_{\text{an}}) \quad 9)$$

The cost of an intake (10, 15, 20 and 25) years ( $\text{CC}_{\text{n years}}$ ) in the following expression is obtained:

$$\text{CC}_{\text{n years}} = \sum_1^n (\text{Tar}_{\text{years n}} * \text{En} * 365) \quad 10)$$

The total cost of facilities including CFE grid supplied electricity rates for farmers ( $C_{\text{TotTar}}$ ) for different years is calculated according to equation (11):

$$C_{\text{TotTar}} = C_{\text{Acom}} + [C_{\text{mtr}} * \text{Dist}] + \text{CC}_{\text{n years}} \quad 11)$$

After obtaining the above, the total cost of network construction CFE with SFV installation costs are compared.

For the minimum distance to justify the installation of SFV in terms of energy meters to be used, taking into account both construction costs and installation network as costs for paying energy m n years we locate the point costs equal SFV n energy and total construction costs of network ( $C_{\text{TotTar}}$ ) i.e. when:

$$C_{\text{SFV m En}} = C_{\text{TotTar}} \quad 12)$$

El costo total de las instalaciones de red eléctrica CFE incluyendo las tarifas de energía suministrada para agricultores ( $C_{TotTar}$ ) durante diferentes años se calcula de acuerdo con la ecuación (11):

$$C_{TotTar} = C_{Acom} + [C_{mtr} * Dist] + CC_{n años} \quad (11)$$

Una vez obtenidos los anteriores, se comparan los costos totales de construcción de red de CFE con los costos de instalación de SFV.

Para obtener la distancia mínima de justificación de la instalación de SFV en función de la energía  $m$  que se desea utilizar y tomando en cuenta tanto costos de construcción e instalación de red como costos por el pago de  $m$  energía por los  $n$  años debemos localizar el punto de igualdad de costos de SFV de  $n$  energía y costos totales de construcción de red  $C_{TotTar}$  es decir cuándo:

$$C_{SFV m En} = C_{TotTar} \quad (12)$$

O bien:

$$C_{SFV m En} = C_{Acom} + [C_{mtr} * Dist] + CC_{n años} \quad (13)$$

De la ecuación anterior la distancia mínima de justificación de instalación de SFV es:

$$Dist = \frac{C_{SFV m En} - CC_{n año} - C_{Acom}}{C_{mtr}} \quad (14)$$

Para determinar los costos de instalación así como las tarifas de energía eléctrica elegimos de acuerdo con las normas de distribución - construcción - instalaciones de CFE para redes aéreas de media y baja tensión el sistema de distribución de tipo A; es decir, 3 fases-4 hilos (3 F-4 H) con una tensión nominal entre fases de los circuitos de media tensión de los sistemas de distribución de 13, 23 y 33 Kv (CFE, 2006).

## Resultados y discusión

Costos de construcción de redes de CFE. En la construcción de líneas aéreas de distribución en zonas rurales se utilizan cables mixtos de aluminio con refuerzo de acero galvanizado (ACSR) de calibres 477 kCM (1 kCM=0.5067 mm<sup>2</sup>) y cobre hasta 250 kCM en la escala de calibres del "American Wire Gage" (AWG) y postes de concreto (PC). Los costos por construcción de redes eléctricas aéreas se presentan en el Cuadro 1 (CFE, 2013).

Or:

$$C_{SFV m En} = C_{Acom} + [C_{mtr} * Dist] + CC_{n años} \quad (13)$$

In the above equation the minimum distance justification SFV installation is:

$$Dist = \frac{C_{SFV m En} - CC_{n year} - C_{Acom}}{C_{mtr}} \quad (14)$$

To determine the installation costs as well as electricity rates we choose according to the distribution rules - construction - CFE facilities for aerial networks and low voltage distribution system type A; namely, 3-phases 4 wire (3 F-4 H) with a voltage between the phases of medium voltage circuits distribution systems 13, 23 and 33 kV (CFE, 2006).

## Results and discussion

Construction costs of CFE networks. In the construction of overhead distribution lines in rural areas mixed aluminium cables are used with galvanized reinforced steel (ACSR) caliber 477 KCM (1 KCM=0.5067 mm<sup>2</sup>) and copper up to 250 KCM on the size scale of "American Wire Gage" (AWG) and concrete posts (PC). Costs for construction of overhead electrical networks are presented in Table 1 (CFE, 2013).

### Rates for the power supply

Domestic rates. Applied to energy services intended for domestic use only. There are 7 different ranging from \$0.561 to \$2.76 for 1 kWh in 2013 depending on the application month, place, consumption, average temperature - low, etc.

Agricultural tariffs. In 4 different rates (9, 9M, 9N and 9CU) rate 9 corresponds to the cost of service to pump water for irrigation at low voltage and costs are equal to the 9M (in the first 5000 kWh per month) that exclusively serves agricultural pumping service for medium voltage outdoor lighting as well as the place where the pumping equipment is installed. Table 2 presents this rate in 2013 and observed that there is a monthly increase.

Rate 9CU for irrigation with only charge rate, this rate benefits the set within the agreement of energy for the field; is a special rate for any natural or legal person who has pumped for irrigation in the country. This fee will be applied stimulus for electricity used in the operation of the pumping of water for agricultural irrigation productive subjects enrolled in the

**Cuadro 1. Costo de construcción de redes aéreas (precios a junio de 2013 MN).****Table 1. Cost of construction of overhead networks (June 2013 prices MN).**

| Por kilómetro de línea de distribución aérea (rural) poste de concreto                                   |                                                    |                   |                          |                  |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|------------------|---------------------|
| Descripción                                                                                              | Materiales y equipo de instalación permanente (\$) | Mano de obra (\$) | Diseño del proyecto (\$) | Supervisión (\$) | Costo total/km (\$) |
| 1C-3F-4H-33 kV-477-AWG-ACSR-PC (Rural)                                                                   | 268 605.13                                         | 116 110.48        | 1 445.06                 | 1 894.93         | 388 055.61          |
| Costo por conexión de línea de 3 fases: \$ 2.011.83                                                      |                                                    |                   |                          |                  |                     |
| Costo de Acometidas de media tensión para distancia máxima de poste a 35 m (para propósito de reembolso) |                                                    |                   |                          |                  |                     |
|                                                                                                          | Materiales y equipo de instalación permanente (\$) | Mano de obra (\$) | Tipo                     | Total (\$)       |                     |
| Acom Aéreo 3F MT 13 KVAAC (CFE CA-MT 101)                                                                | 1 760                                              | 1 177             | Trifásico                | 2 937            |                     |

**Tarifas para el suministro de energía eléctrica**

Tarifas domésticas. Se aplican a los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico. Existen 7 diferentes que van de \$0.561 hasta \$2.76 por 1 kWh en el año 2013 en función del mes aplicación, lugar, consumo, temperatura media - mínima, etc.

Tarifas agrícolas. De 4 diferentes tarifas (9, 9M, 9CU y 9N) la tarifa 9 corresponde al costo del servicio para bombeo de agua para riego agrícola en baja tensión y los costos son iguales a la 9M (en los primeros 5000 kWh por mes) que sirve exclusivamente a servicio para bombeo agrícola en media tensión así como al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo. En el Cuadro 2 se presenta esta tarifa durante el año 2013 y se observa que existe un incremento mensual.

**Cuadro 2. Tarifa 9M. Costo por energía (\$/kWh).****Table 2. Rate 9M. Energy cost (\$/kWh).**

| Rango  | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1-5000 | 3 217 | 3 281 | 3 347 | 3 414 | 3 482 | 3 552 | 3 623 | 3 695 | 3 769 | 3 844 | 3 921 | 3 999 |

Tarifa 9CU de estímulo para riego agrícola con cargo único, esta tarifa es un beneficio que está establecido dentro del acuerdo de la energía para el campo; es una tarifa especial para toda persona física o moral que cuente con bombeo para riego agrícola en el país. Esta tarifa de estímulo se

list of beneficiaries of agricultural energy, energy given up by the fee for the Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food. The cost of this is \$0.5 for 1 kWh for the year 2013.

The 9N rate is a night rate for pumping water for irrigation, the cost per energy of this rate is \$0.25 for 1 kWh for the year 2013.

Electricity rates for 10 previous years. In Tables 3 and 4 collection presents the annual rate over the past 10 years from 2003-2013 domestic rates 1 (basic, intermediate and over) and agricultural and without subsidy (9M and 9CU, the annual percentage increase for each of the years ( $In_{year,n}$ ) and the average percentage of 10 years ( $In_{an}$ ) and with these a projection of fees estimations for the following years (n) was prepared until 2038.

For domestic rates in the last 10 years the basic rate increased 43%, with the average of 4.3% per year, down from 5.95% to 3.62%, the intermediate rate in the last 2 years under so getting the average percentage increase this is lower than the previous rate.

aplicará para la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos agropecuarios, hasta por la cuota energética determinada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. El costo de esta es de \$ 0.5 por 1 kWh para todo el año 2013.

La tarifa 9N es de estímulo nocturna para bombeo de agua para riego agrícola, el costo por energía de esta tarifa es de \$0.25 por 1 kWh para todo el año 2013.

Tarifas de energía eléctrica durante 10 años anteriores. En los Cuadros 3 y 4 se presenta la recopilación de la tarifa anual durante los 10 años anteriores desde 2003 a 2013 de las tarifas domésticas 1 (básica, intermedia y excedente) y agrícolas sin y con subsidio (9M y 9CU, el porcentaje de aumento anual para cada uno de los años ( $In_{año\ n}$ ) y el porcentaje promedio de los 10 años ( $In_{an}$ ) y con estos se elaboró una proyección de las tarifas aproximadas durante los siguientes años (n) hasta el 2038.

However, it is noteworthy that the increase should be similar in both cases because the cost of the intermediate rate will always be higher than the cost of the basic rate, so for subsequent calculations by an increase of 4.3% is taken, the excess rate is the highest among the domestic. Meanwhile, according to an official receipt for payment of a consumer, the cost of electricity production in July 2013 is \$4.11 for 1 kWh, then domestic rates have the subsidy.

The Table 4 shows that the price difference in rates from one year to another has a constant value of \$0.02 as annual increment, which we will use for subsequent calculations.

The percentage value of 27.43% obtained for rates 9 and 9M corresponding to the cost of service for pumping water for irrigation is very high so it is important to mention that if this rate continues to increase in this way what some producers pay for 10, 15, 20 and 25 years will be a very high cost per kWh of energy used (39.2, 129.7, 428.4, 1415.2 pesos for 1 kWh respectively), which implied that opt to pay CFE for energy service is not economically viable. We should

### Cuadro 3. Tarifa 1 domésticas.

Table 3. Rate 1 household.

| Básica (rango de 1 - 75 kWh al mes)       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-------------------------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Año                                       | 2002 | 2003  | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012  | 2013  | Prom. |
| Tarifa                                    | 0.49 | 0.52  | 0.54 | 0.58 | 0.61 | 0.63 | 0.65 | 0.67 | 0.70 | 0.72 | 0.75  | 0.77  |       |
| Diferencia                                |      | 0.03  | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02  | 0.03  |       |
| Incremento respecto al año ant.           |      | 5.95  | 5.23 | 6.54 | 5.1  | 3.78 | 3.01 | 3.69 | 3.56 | 3.44 | 3.32  | 3.62  | 4.3   |
| Intermedia (rango de 76 - 125 kWh al mes) |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Tarifa                                    | 0.73 | 0.86  | 0.91 | 0.96 | 1.00 | 1.04 | 1.07 | 1.11 | 1.16 | 1.21 | 1.08  | 0.94  |       |
| Diferencia                                |      | 0.13  | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | -0.13 | -0.14 |       |
| Incremento respecto al año ant.           |      | 17.27 | 5.57 | 5.37 | 4.66 | 3.44 | 2.80 | 4.22 | 4.32 | 4.14 | -10.5 | -12.6 | 2.6   |
| Excedente (desde 126 kWh al mes)          |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Tarifa                                    | 1.69 | 1.81  | 1.91 | 2.02 | 2.12 | 2.2  | 2.27 | 2.36 | 2.45 | 2.55 | 2.65  | 2.76  |       |
| Diferencia                                |      | 0.12  | 0.11 | 0.11 | 0.1  | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.1  | 0.1  | 0.1   | 0.11  |       |
| Incremento respecto al año ant.           |      | 6.83  | 5.85 | 5.69 | 4.86 | 3.8  | 3.03 | 4.04 | 4.07 | 3.91 | 3.98  | 4.07  | 4.5   |



**Cuadro 4. Tarifas agrícolas.**  
**Table 4. Agricultural prices.**

|                                 | 9CU (con estímulo)                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Año                             | 2003                               | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | Prom. |
| Tarifa                          | 0.3                                | 0.32  | 0.34  | 0.36  | 0.38  | 0.4   | 0.42  | 0.44  | 0.46  | 0.48  | 0.5   |       |
| Diferencia                      |                                    | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  |
| Incremento respecto al año ant. |                                    | 6.67  | 6.25  | 5.88  | 5.56  | 5.26  | 5     | 4.76  | 4.55  | 4.35  | 4.17  | 5.24  |
|                                 | 9 y 9M. rango 1 - 5 000 kWh al mes |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Tarifa                          | 0.33                               | 0.42  | 0.54  | 0.68  | 0.86  | 1.1   | 1.39  | 1.76  | 2.23  | 2.84  | 3.60  |       |
| Diferencia                      |                                    | 0.09  | 0.11  | 0.14  | 0.18  | 0.23  | 0.29  | 0.37  | 0.47  | 0.6   | 0.76  |       |
| Incremento respecto al año ant. |                                    | 28.77 | 26.81 | 26.81 | 26.69 | 26.76 | 26.76 | 26.85 | 26.82 | 26.89 | 26.82 | 27.43 |

En el caso de las tarifas domésticas en los últimos 10 años la tarifa básica aumento 43%, con el promedio de 4.3% por año, disminuyendo de 5.95% a 3.62%, la tarifa intermedia en los 2 últimos años bajo por lo cual al obtener el porcentaje promedio de incremento esta resulta menor que en la tarifa anterior.

Sin embargo, es importante mencionar que el incremento debe ser similar en ambos casos ya que el costo de la tarifa intermedia siempre será mayor al costo de la tarifa básica, por lo tanto para cálculos posteriores se toma un incremento de 4.3%, la tarifa excedente es la máxima entre las domésticas. Mientras, según un recibo oficial de pago de un consumidor, el costo de producción de energía eléctrica en julio del 2013 es de \$4.11 por 1 kWh, entonces las tarifas domésticas tienen el subsidio.

En el Cuadro 4 se observa que la diferencia de precio en tarifas de un año a otro tiene un valor constante de \$0.02 como incremento anual, el cual utilizaremos para cálculos posteriores.

El valor del porcentaje de 27.43% obtenido para tarifas 9 y 9 M que corresponden al costo del servicio para bombeo de agua para riego agrícola es muy elevado por lo cual es importante mencionar que si esta tarifa sigue aumentando de esta manera lo que algunos productores pagaran durante los 10, 15, 20 y 25 años será un costo muy elevado por kWh de energía utilizado (39.2, 129.7, 428.4, 1415.2 pesos por 1 kWh respectivamente), lo cual implicara que optar pagar a CFE por un servicio de energía no es viable económicamente.

consider policies should not be aimed in that direction because it is too the annual increase and the calculations take a maximum annual increase of 5% for the calculation of future costs.

Comparison of construction costs CFE networks taking into account the annual increase in tariffs and installation of SFV. In Figure 1, the cost of network construction CFE depending on the distance between the closest pole network are shown and the place where the facility is required (red diagonal line CFE) (Eq. 1), as well as costs of materials, installation and maintenance of SFV (horizontal lines) (software) and network construction costs plus payment of agricultural tariff with stimulus (9CU) at different years (jagged line) (Eq. 11).

While CFE increases installation costs per meter as the distance between the nearest post CFE and the greenhouse increases (continuous diagonal red line), the SFV installation costs remain constant at different distances, only changes its cost with reference to energy to be consumed (horizontal lines). Also in Fig lines show total costs for network construction plus the costs generated by the payment of the fare with stimulus according to energy consumption for 10, 15, 20 and 25 years (continuous colored lines)

In order to determine the installation distance justifiable greenhouse SFV intersection points are located, i.e. the point where the line installation cost SFV supplying energy n (horizontal lines) intersects (equal cost) with the line cost

Se debe considerar que las políticas no deben ir encaminadas en ese sentido ya que es demasiado el aumento anual y para los cálculos se toma como máximo un incremento anual de 5% para los cálculos de costos futuros.

Comparación de costos de construcción de redes por CFE tomando en cuenta el incremento anual de las tarifas e instalación de SFV. En la Figura 1 se muestran los costos de construcción de redes de CFE en función de la distancia entre el poste de red más cercano y el lugar donde se requiere la instalación (línea diagonal roja CFE) (ec. 1), así como los costos de materiales, instalación y mantenimiento de SFV (líneas horizontales) (de software) y los costos por construcción de redes más el pago de la tarifa agrícola con estímulo (9CU) a diferentes años (líneas irregulares) (ec. 11).

Mientras que Comisión Federal de Electricidad aumenta los costos de instalación por metro a medida de que la distancia entre el poste de CFE más cercano y el invernadero aumenta (línea roja continua diagonal), los costos por instalación de SFV se mantienen constantes en diferentes distancias, solo cambia su costo con referencia a la energía que se desea consumir (líneas horizontales). También en la figura se muestran las líneas de los costos totales por construcción de red más los costos generados por el pago de la tarifa con estímulo de acuerdo a la energía de consumo durante 10, 15, 20 y 25 años (líneas continuas de color).

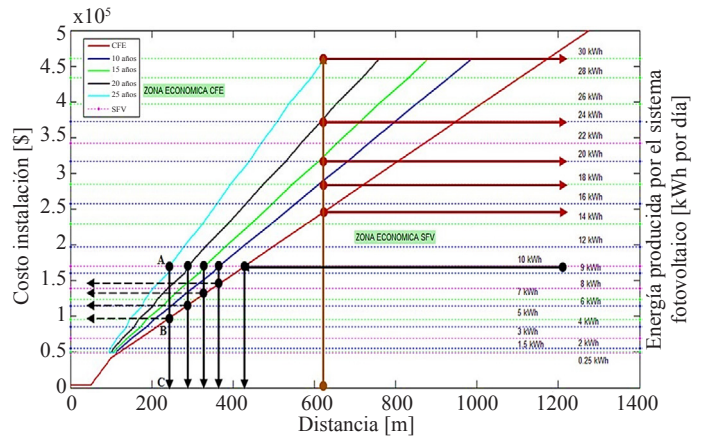
Para determinar la distancia justificable de instalación de SFV en invernadero se localizan los puntos de intersección, es decir el punto en donde la recta de costo de instalación del SFV que suministra energía (líneas horizontales) se intersecta (costos iguales) con la línea del costo por construcción de red de CFE ( $C_{consCFE}$ ) (línea diagonal roja) o con las líneas de color. Si trazamos una línea recta vertical hacia el eje x (distancia) a partir de este punto de intersección obtenemos la longitud mínima de justificación de la instalación de SFV en función de la energía n que se desea utilizar (tomando en cuenta solo el costo por construcción de red de CFE) y de los años de servicio.

Por lo tanto en la Figura 1 se observan dos zonas:

Zona por debajo de la curva; Esta es la zona donde resulta más económica la instalación de SFV en el invernadero para suministrar la energía que se consume.

Zona por encima de la curva; Esta es la zona donde resulta más económica la construcción de redes de CFE para suministrar la energía.

network construction CFE ( $C_{consCFE}$ ) (red diagonal line) or colour lines. If we draw a straight vertical line to the x axis (distance) from this point of intersection obtain the minimum length to justify the installation of SFV in terms of energy n we want to use (taking into account only the cost of construction Network CFE) and years of service.



**Figura 1. Comparación del costo total durante 10, 15, 20 y 25 años por redes CFE, pagando la tarifa 9CU y los costos de instalación de SFV.**

**Figure 1. Comparison of total cost for 10, 15, 20 and 25 years for CFE networks 9CU paying the fee and installation costs SFV.**

Thus in Figure 1 two zones are observed:

Area under the curve, this is the area where the facility is cheaper SFV in the greenhouse for supplying the energy consumed.

Area above the curve, this is the area where the construction of networks CFE is cheaper to supply energy.

As an example, if a farmer or producer wants to build a greenhouse at a distance of approximately 620 meters last post CFE network:

- a) The cost of installation or connection or network is \$257 259 pesos.
- b) With this cost can be installed SFV 15 kWh consumption per day, so if consumption is less feasible to install a SFV.
- c) For 10 years of use ñ the cost of using energy CFE is increased to \$284 415.00 pesos n l to installation or SFV is always justified and when a í energy is used for up to 18 kWh per d m ay as to maximum and producers with lower power SFV and will have a corresponding gain.

A manera de ejemplo, si un agricultor o productor desea construir un invernadero a una distancia aproximada de 620 metros del último poste de red de CFE:

- a) El costo de instalación y conexión de la red es de \$257 259 pesos.
- b) Con este costo se puede instalar un SFV de consumo de 15 kWh por día, entonces si los consumos son menores es viable instalar un SFV.
- c) Para 10 años de uso se aumenta el costo del uso de energía de CFE hasta \$ 284 415.00 pesos y la instalación de SFV se justifica siempre y cuando se utilice una energía de hasta 18 kWh por día como máximo y los productores con SFV de menor consumo ya van a tener una ganancia correspondiente.
- d) Entonces, si el agricultor utilizara la energía durante 15, 20 y 25 años (lo cual es la vida útil de los SFV) la energía de consumo máxima justificable para el uso de SFV aumenta a 20, 24 y 30 kWh por día respectivamente y las ganancias de menor consumo aumentan considerablemente.

De igual manera, si el agricultor lo que desea es utilizar una energía máxima de 10 kWh al día para su invernadero:

- a) el costo será \$169, 563.00 pesos (línea horizontal); y
- b) la distancia máxima entre el invernadero y la red de CFE considerando solamente costos de construcción y conexión es de 420 m y al utilizar la energía durante 10, 15, 20 y 25 años esta debe ser de 365, 330, 290 y 244 m respectivamente, considerando los gastos eléctricos con las tarifas establecidas y el aumento que estas tienen anualmente; dicho de otra forma esta es la distancia mínima justificable para la instalación de SFV en el invernadero.

Resultados parecidos presenta Reineke (1993) que muestra que es más económico el uso de SFV que la extensión de redes de electricidad a partir de una distancia de 150, 1 500 y 2 500 m para un consumo de 0.33, 1.6 y 3.3 kWh por día respectivamente, mientras que la distancias justificables para uso de SFV obtenidas anteriormente para estos consumos diarios son menores (115, 122 y 150 m) bajo esta tarifa 9CU la cual es más económica.

De la Figura 1 y de acuerdo con la ecuación 15 se puede obtener el porcentaje de pago de esta tarifa (9CU) respecto al costo total para 10, 15, 20 y 25 años es de 14, 22, 31 y 43% respectivamente para cualquier consumo.

- d) So if the farmer used the energy for 15, 20 and 25 years (which is the only service life of the SFV) the energy consumption may justifiable to use SFV increased to 20, 24 and 30 kWh per day respectively and earnings increase considerably lower consumption.

Similarly, if the farmer want to use a maximum energy of 10 kWh per day for greenhouse: a) the cost will be \$169 563.00 pesos (horizontal line); b) the maximum distance between the greenhouse and the network of CFE considering only construction costs and connection is 420 m by using the energy for 10, 15, 20 and 25 years, this is 365, 330, 290 and 244 m respectively considering the electricity costs with established rates and these have increased annually; in other words this distance is the minimum justifiable to install the greenhouse SFV.

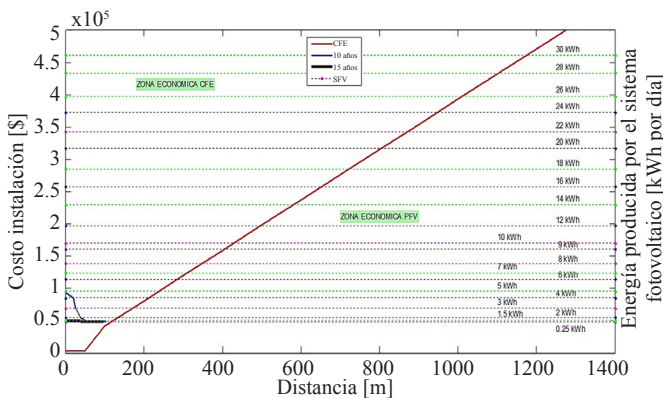
Similar results presented Reineke (1993) showing that it is more economical to use SFV that the extension of electricity networks from a distance of 150, 1 500 and 2 500 m for a consumption of 0.33, 1.6 and 3.3 kWh per day respectively, while the distances justifiable use of SFV obtained previously for these daily intakes are lower (115, 122 and 150 m) 9CU under which this rate is more economical.

In the Figure 1 and in accordance with Equation 15 can obtain the percentage of payment of this fee (9CU) for total cost to 10, 15, 20 and 25 years is 14, 22, 31 and 43% respectively for any consumption.

The figure above shows cost fares stimulus (9CU), but there is also the case of farmers who are not registered to that standard which must pay the fee irrigation medium-voltage stimulus (9M) whereby the 2 other cost comparison shows now considering 9M irrigation rate without stimulation 10, 15, 20 and 25 years, the area under the curve is higher, i.e. it is much more economically viable to pay the costs of the PV system. In general we can say that from a minimum justifiable distance of 50 m from the nearest post and greenhouse photovoltaic technology is economically competitive to supply the energy used in this considering spending rate to 10 years.

Considering the costs to be paid by the energy that is consumed in 10 and 15, can be seen in Figures 2 and 3 it is no longer economically viable to build networks of CFE for consumption from 4.8 to 1.5 kWh per day correspondingly

La figura anterior muestra costos de tarifas con estímulo (9CU), pero también existe el caso de los agricultores que no están inscritos a ese padrón los cuales deben de pagar la cuota de riego de media tensión sin estímulo (9M) por lo cual en la Figura 2 se muestra otra comparación de costos ahora considerando la tarifa 9M de riego sin estímulo a 10, 15, 20 y 25 años, el área bajo la curva es mayor, es decir resulta mucho más viable económicamente pagar los costos de la instalación fotovoltaica. En general podemos decir que a partir de una distancia mínima justificable de 50 m entre el poste más cercano y el invernadero la tecnología fotovoltaica es competitiva económicamente para suministrar la energía que se utiliza en este tomando en cuenta el gasto de la tarifa a 10 años.



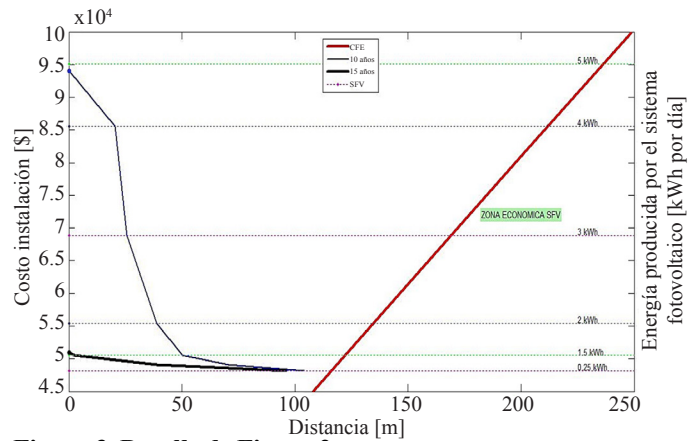
**Figura 2. Comparación del costo total durante 10, 15, 20 y 25 años por redes CFE, pagando la tarifa 9M y los costos de instalación de SFV.**

**Figure 2. Comparison of total cost for 10, 15, 20 and 25 years for CFE networks 9M paying the fee and installation costs of SFV.**

Si consideramos los costos que hay que pagar por la energía que se consumirá en 10 y 15 años, se puede observar en las Figuras 2 y 3 que ya no es económicamente viable la construcción de redes de CFE para consumo a partir de 4.8 y 1.5 kWh por día correspondientemente ya que solamente los costos por el pago del consumo energético resultan ser mayores a los costos de instalación de SFV. Al extender los costos a 15, 20 y 25 años los costos por el pago del consumo energético resultan ser mucho mayores a los costos de instalación de SFV y es viable instalar SFV de cualquier consumo en lugares donde ya existe la red eléctrica de CFE.

Sin tenemos un invernadero cerca o inclusive dentro de nuestra vivienda, en este caso podemos abastecer de la energía que utilizamos en la vivienda a nuestro invernadero y pagar las tarifas domésticas. Para este caso en la figura siguiente se muestra la comparación tomando en cuenta las tarifas de consumo doméstico (1 básica, intermedia y excedente) a diferentes rangos.

since only the costs for the payment of energy consumption appear to be greater than the costs of installation of SFV. By extending costs 15, 20 and 25 years for paying the costs of energy consumption prove to be much greater than the costs of installing and viable SFV install any consumption in places where there is already CFE's power grid.



**Figura 3. Detalle de Figura 2.**  
**Figure 3. Detail of Figure 2.**

But we have a greenhouse near or even inside our home, in this case we can supply the energy we use in our greenhouse housing and paying domestic rates. For this case in the figure below shows the comparison taking into account the rates of domestic consumption (1 Basic, intermediate and over) at different ranges.

According to Figure 4, if the farmer uses consumption per day maximums are:

The basic fee we can have a daily 2.5 kWh maximum consumption for 10, 15, 20 and 25 so that the distances between the house and the network of minimum CFE justification for the use of SFV is 140, 120, 97 and 70 meters respectively.

In the interim fee we can have a daily 4 kWh maximum consumption for 10, 15, 20 and 25 years hence the distances between the house and the network of minimum CFE justification for the use of SFV is 169, 142, 109 and 68 meters respectively.

The surplus rate can be used any more than 4 kWh per day energy so that the distances between the house and the network of CFE minimum of justification for the use of SFV is 200 m for 10 years. However for use for 15, 20 and 25 we can see that it is no longer economically viable to build

De acuerdo con la Figura 4, si el agricultor utiliza los consumos máximos por día tenemos:

En la tarifa básica se puede tener un consumo máximo diario de 2.5 kWh durante 10, 15, 20 y 25 años por lo que las distancias entre la vivienda y la red de CFE mínimas de justificación para el uso de SFV es de 140, 120, 97 y 70 metros respectivamente.

En la tarifa intermedia se puede tener un consumo máximo diario de 4 kWh durante 10, 15, 20 y 25 años por lo tanto las distancias entre la vivienda y la red de CFE mínimas de justificación para el uso de SFV es de 169, 142, 109 y 68 metros respectivamente.

En la tarifa excedente se puede utilizar cualquier energía mayor a 4 kWh por día por lo que las distancias entre la vivienda y la red de CFE mínimas de justificación para el uso de SFV es de 200 metros para 10 años. Sin embargo para el uso durante 15, 20 y 25 años podemos ver que ya no es económicamente viable la construcción de redes de CFE para consumo a partir de 10.2, 6 y 4.8 kWh por día correspondientemente ya que solamente los costos por el pago del consumo energético resultan ser mayores a los costos de instalación de SFV.

## Conclusiones

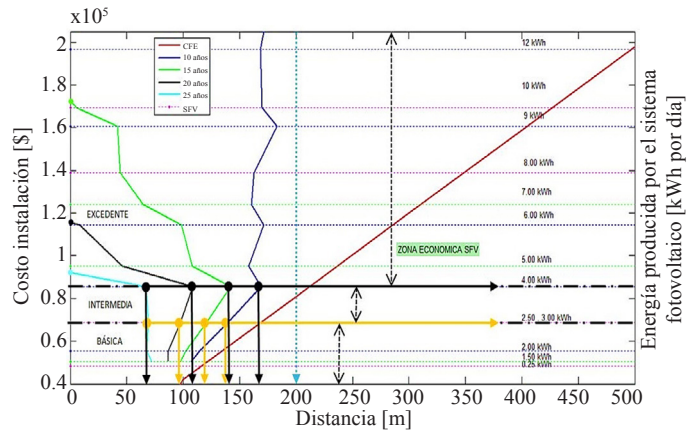
Se analizó y se comparó los costos de SFV hasta 30 kWh por día y los gastos de instalación y conexión a la red y uso de energía durante 10, 15, 20 y 25 años a las diferentes tarifas.

Desde del año 2002 a la fecha existe un incremento anual de  $4.4 \pm 0.1$  % para las tarifas de consumo doméstico básica, intermedia y excedente. Para la tarifa agrícola 9CU (subsidiada por gobierno) un incremento anual fue de 5.24 %, pero el incremento para la tarifa 9M (no subsidiada) es muy elevado - 27% anual.

Para la tarifa 9CU el pago por el uso de energía es de 46.5 % del costo total de 30 kWh durante 25 años.

Se determinó que existen las zonas económicamente viables para la instalación de SFV en función de la energía suministrada, la distancia entre el poste más cercano de CFE y las tarifas de energía.

networks of CFE for consumption from 10.2, 6 and 4.8 kWh per day correspondingly since only the costs for the payment of consumption energy turn out to be greater than the costs of installation of SFV.



**Figura 4. Comparación del costo total durante 10, 15, 20 y 25 años por redes CFE, pagando la tarifa doméstica 1 (Básica, Intermedia y Excedente) y los costos de instalación de SFV.**

**Figure 4. Comparison of the total cost for 10, 15, 20 and 25 years for CFE networks, paying the (basic, intermediate and over) domestic rate 1 and installation costs of SFV.**

## Conclusions

We analysed and compared the SFV costs up to 30 kWh per day and the cost of installation and grid connection and energy use for 10, 15, 20 and 25 at different rates.

From 2002 to date there is an annual increase of  $4.4 \pm 0.1$  % for domestic consumption rates of basic, intermediate and over. For agricultural tariff 9CU (subsidized by government) was an annual increase of 5.24%, but the increase for 9M rate (unsubsidized) is very high - 27% annually.

For 9CU fee payment for the use of energy is 46.5% of the total cost of 30 kWh for 25 years.

We determined that there are economically viable areas for the installation of SFV in terms of the energy supplied, the distance between the closest pole CFE and energy rates.

For customers in the agricultural sector electricity paid by the 9M rate (no stimulus) and 10 and 15 years of using SFV is economically viable for most energy consumed

Para consumidores en el sector agrícola pagados por electricidad la tarifa 9M (sin estímulo) y para 10 y 15 años de uso de SFV es económicamente viable para la energía consumida mayor de 4.8 y 1.5 kWh por día en invernaderos correspondientemente instalar SFV en lugares donde ya existe la red eléctrica de CFE y para 20 y 25 años de uso de SFV es económicamente viable instalarlos para cualquier consumo, ya que solo los gastos por consumo energético durante estos años rebasan los costos de instalación de SFV.

Para las tarifas domésticas básica e intermedia resulta que la distancia mínima de justificación de instalación de SFV va entre los 170 y 70 metros para los 10, 15, 20 y 25 años. Por otra parte, para la tarifa doméstica excedente para 10 años la distancia de justificación es de 200 metros y para 15, 20 y 25 años de uso de SFV es económicamente viable para la energía consumida mayor de 10.2, 6 y 4.8 kWh por día correspondientemente instalar SFV en lugares donde ya existe la red eléctrica de CFE ya que para energías mayores los gastos por consumo energético durante estos años rebasan los costos de instalación de SFV.

Por lo anterior es importante que se preste más atención a este tipo de tecnología. El gobierno debería enfocar programas de apoyo tanto para proyectos domésticos como de comercio, industria y agrícolas ya que el territorio presenta una fuerte radiación solar, en comparación a otros países que recibiendo menos energía solar, ya la están aprovechando considerablemente.

## Literatura citada

- Abd, El-Shafy. L. and Nafeh, A. 2009. Design and economic analysis of a stand-alone PV system to electrify a remote area household in Egypt. *Open Renewable Ener. J.* (2):33-37.
- Ángeles, O. G. 2009. Conservación ambiental y desarrollo rural al aplicarse tecnología fotovoltaica: estudio de caso en Tapanatepec, Oaxaca. IPN (Instituto Politécnico Nacional). 235 p.
- Bermejo, C. M. 2007. La energía solar, una alternativa energética viable para el control climático en invernaderos. España. *Vida rural.* 248: 28-30.
- CFE (Comisión Federal de Electricidad). 2006. <http://www.cfe.gob.mx/industria/informacioncliente/paginas/normas-de-distribucion.aspx>.
- CFE (Comisión Federal de Electricidad). 2013b. <http://app.cfe.gob.mx/aplicaciones/otros/aportaciones/inicio.asp>.
- Norma Mexicana NMX-E-255-CNCP-2013. Invernaderos de cubiertas plásticas - diseño y construcción - especificaciones. DOF (Diario Oficial de la Federación).

4.8 and 1.5 kWh per day in greenhouses correspondingly installed in places and SFV there is a grid of CFE and 20 and 25 years of using SFV is economically feasible to install for any consumer, as only the expenses for energy consumption during these years exceeds the cost of installation of SFV.

For basic and intermediate domestic rates is that the minimum distance justification SFV installation is between 170 and 70 meters for 10, 15, 20 and 25 years. Moreover, for domestic rate over 10 years justification distance is 200 meters and for 15, 20 and 25 years of using SFV is economically viable for most energy consumed 10.2, 6 and 4.8 kWh per day correspondingly SFV installed in places where there is already the grid of CFE since for higher energy costs for energy consumption during these years exceeds the cost of installation of SFV.

Therefore it is important that more attention to this type of technology is provided. The government should focus on support programs for both domestic projects as commerce, industry and agriculture as our territory has a strong solar radiation, compared to other countries that receive less solar energy, and taking advantage considerably.

*End of the English version*



- Fischer, J. R.; Johnson, S. R.; Finnell, J. A. y Price, R. P. 2009. Renewable energy technologies in agriculture - Solar, wind, geothermal, and anaerobic digestion. *Resource.* 4:4-9.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. Conociendo México. Folleto Nacional. Aguascalientes, Aguascalientes. México. 87 p.
- Pérez de los R, M. C. 2007. Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero. Tesis Doctoral. Dpto. de Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica. Universidad de Córdoba, España. 338 p.
- Reineke, M. 1993. Photovoltaic power as a utility service: guidelines for livestock water pumping. Sandia National Laboratories. Albuquerque, New México. 117 p.
- Sánchez, J. A. 2002. Tecnología fotovoltaica aplicada al bombeo de agua. Proyecto de energía renovable para la agricultura. FIRCO-SAGARPA. México. D. F. 262 p.
- Sánchez, M. S. J. 2003. Energías renovables: conceptos y aplicaciones. Fundación Natura. Impreso en Quito, Ecuador. 153 p.
- Sánchez, M. I. 2004. La energía solar y su aplicación a los invernaderos en navarra. *Navarra Agraria, España.* 48:35-44.
- SENER (Secretaría de Energía). 2004. Energías renovables para el desarrollo sustentable en México. México, D.F. 35 p.
- SENER-CFE (Secretaría de Energía-Comisión Federal de Electricidad). 2013. Sector eléctrico nacional, usuarios de energía eléctrica. México. 2 p.

- UACH (Universidad Autónoma Chapingo). 2013. Software. Selección de sistema fotovoltaico para invernadero. <http://sistemas.chapingo.mx/empresas/SICF/>.
- Yano, A.; Tsuchiya, K.; Nishi, K.; Moriyama, T.; Ide, O.; Ishizaka, A. and Toya, M. 2005. Development of a power saving greenhouse side window controller driven by photovoltaic energy. *J. Japanese Soc. Agric. Machin.* 67(2):100-110.
- Yano, A.; Tsuchiya, K.; Nishi, K.; Moriyama, T. and Ide, O. 2007. Development of a greenhouse side-ventilation controller driven by photovoltaic energy. *Biosys. Eng.* 96(4):633-641.
- Yano, A.; Kadowaki, M.; Furue, A.; Tamaki, N.; Tanaka, T.; Hiraki, E.; Kato, Y.; Ishizu, F. and Noda, S. 2010. Shading and electrical features of a photovoltaic array mounted inside the roof of an east-west oriented greenhouse. *Biosys. Eng.* 106(4):367-377.