

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA**



**FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA DEL USO DE
PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS EN UNA GRANJA
PORCINA**

JOSÉ RODRIGO TREJO ROLDÁN

Licenciado en Zootecnia

GUATEMALA, MARZO DE 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA**



**FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA DEL USO DE PANELES
SOLARES FOTOVOLTAICOS EN UNA GRANJA PORCINA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD

POR

JOSÉ RODRIGO TREJO ROLDÁN

Al conferírsele el título profesional de

Zootecnista

En el grado de Licenciado

GUATEMALA, MARZO DE 2,015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	M.Sc. Carlos Enrique Saavedra Vélez
SECRETARIA:	M.V. Blanca Josefina Zelaya de Romillo
VOCAL I:	Lic. Sergio Amílcar Dávila Hidalgo
VOCAL II:	M.Sc. Dennis Sigfried Guerra Centeno
VOCAL III:	M.V. Carlos Alberto Sánchez Flamenco
VOCAL IV:	Br. Javier Augusto Castro Vásquez
VOCAL V:	Br. Andrea Analy López García

ASESORES

M.Sc. ASTRID JOHANA VALLADARES AREANO

LIC. ZOOT. SERGIO ANTONIO HERNÁNDEZ DE LA ROCA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con lo establecido por los reglamentos y normas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de graduación titulado:

FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA DEL USO DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS EN UNA GRANJA PORCINA

Que fuera aprobado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Como requisito previo a optar al título profesional de:

LICENCIADO EN ZOOTECNIA

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** Por ser el pilar de la vida. Sin El nada sería posible.
- A MIS PADRES:** Estuardo y Sandra, la semilla que sembraron hace ya varios años, está dando frutos. Ustedes regaron esa semilla con valores, amistad, consejos, disciplina, amor y entrega. Esto es gracias a ustedes. Juntos hemos completado esta meta. ¡MUCHÍSIMAS GRACIAS!
- A MIS HERMANOS:** Estuardo, Alex y Julio. Gracias por acompañarme en cada momento importante de mi vida. Sus buenos consejos y ayuda colaboraron en mi formación como persona y profesional.
- A MI FAMILIA:** Abuelas, tías, tíos, primas y primos, muchas gracias por sus palabras de apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por abrirme sus puertas y permitirme formar parte del selecto grupo de guatemaltecos que egresan de sus aulas.

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Por brindarme todos los conocimientos que me serán necesarios para desempeñarme como un zootecnista íntegro y ejemplar.

ASESORES

Lic. Zoot. Antonio Hernández y M.Sc. Astrid Valladares, gracias por su amistad y la confianza depositada en mi persona. Junto con sus aportes pudimos elaborar un trabajo de calidad, relevante y de interés nacional.

EVALUADOR

Lic. Zoot. Douglas Ruano, por su juzgamiento constructivo en mejora de esta tesis de grado.

CATEDRÁTICOS

Gracias por compartirme sus conocimientos. En muchos encontré amistad sincera.

AGROPECUARIA CAUCHO S. A.

Por permitirme el acceso a sus instalaciones y poder recopilar información para la elaboración de esta tesis.

AMIGOS

Synthy Padilla, Christa Aguilar, Guillermo Abascal, Emilio Aguilar y Guillermo Chavarría.

Juntos hicimos un excelente equipo de trabajo, gracias por ayudarme a escalar este peldaño.

COMPAÑEROS

Veterinarios y zootecnistas, con quienes compartí buenas y malas experiencias a lo largo de mi paso por la facultad.

LESLY DÍAZ

Gracias por todo su apoyo. Siempre su buena actitud y ayuda hicieron más fáciles mis días por esta carrera.

A

Álvaro Cruz, Luis Corado, Albert Lozano, Francesc Oriol, Oli Méndez, Paola Biegansky, Mario Ardon y Ana Palala muchas gracias por su apoyo en el desarrollo de esta tesis.

A

Ing. Agro. Carlos Gerle, Murphy Brown LLC, The Ohio State University, John Beardmore, Med. Vet. Leonidas Ávila Palma y M.Sc. Carlos Saavedra por ampliar mi visión sobre el desarrollo de la porcicultura moderna.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Fuentes renovables de energía.....	4
3.1.1 Energía solar.....	6
3.1.1.1 Energía solar térmica.....	6
3.1.1.2 Energía solar fotovoltaica.....	7
3.1.1.2.1 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica..	7
3.1.1.2.2 Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas...	7
3.1.1.2.3 Elementos de un sistema solar fotovoltaico...	8
3.2 Situación actual de la energía solar fotovoltaica.....	10
3.3 Antecedentes de energía solar en Guatemala.....	10
3.4 Ventajas de energía solar.....	14
3.5 Costos de la energía solar fotovoltaica.....	14
3.5.1 Costos de inversión.....	15
3.5.2 Costos de manteamiento y operación.....	15
3.5.3 Costos de reemplazo.....	16
3.6 Situación porcina nacional.....	16
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	18
4.1 Materiales.....	18
4.2 Metodología.....	18
4.2.1 Localización.....	18
4.2.2 Análisis técnico.....	18
4.2.3 Análisis financiero.....	20
4.2.3.1 Período de recuperación de inversión.....	20

4.2.3.2 Valor actual neto (VAN).....	20
4.2.3.3 Tasa interna de retorno.....	21
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
5.1 Análisis técnico.....	23
5.1.1 Determinación de la ubicación de la instalación.....	23
5.1.2 Determinación de las cargas.....	27
5.1.3 Estudio de generación.....	30
5.1.4 Presupuesto de equipos.....	33
5.2 Análisis financiero.....	34
VI. CONCLUSIONES.....	38
VII. RECOMENDACIONES.....	39
VIII. RESUMEN.....	40
SUMMARY.....	39
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
X. ANEXOS.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1	
Potencial de recursos renovables para Guatemala.....	6
Cuadro No. 2	
Regla de decisión.....	21
Cuadro No. 3	
Índices reproductivos de Granja La Palmera.....	26
Cuadro No. 4	
Desglose de carga mensual de Granja La Palmera.....	29
Cuadro No. 5	
Historial de consumo de energía eléctrica de Granja La Palmera.....	31
Cuadro No. 6	
Propuesta del sistema solar fotovoltaico en la Granja La Palmera.....	32
Cuadro No. 7	
Resultado del estudio generacional.....	33
Cuadro No. 8	
Descripción de presupuesto de equipos.....	34
Cuadro No. 9	
Resultados de los análisis financieros.....	36

Cuadro No. 10

Flujo de caja proyectado a 20 años.....37

Cuadro No. 11

Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica.....49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1	
Tipos de energía renovable.....	5
Figura No. 2	
Demanda y oferta de paneles solares fotovoltaicos en el mundo.....	12
Figura No. 3	
Desglose de costos de un sistema fotovoltaico.....	15
Figura No. 4	
Mapa de radiación solar global horizontal de Guatemala.....	25
Figura No. 5	
Precio en quetzales de KW/h promedio por distribuidor 2014.....	27

I. INTRODUCCIÓN

La energía solar considerada como una energía renovable, es hoy en día, una realidad y una necesidad. Según World Wildlife Fund for Nature (WWF) en su “Informe Planeta Vivo 2012” los recursos de la Tierra disponibles para el 2013 fueron consumidos en tan solo 8 meses y de continuar así, el déficit sería tal, que para el año 2025 dos planeta Tierra no serían suficientes.

Se ha excedido la Biocapacidad de la Tierra, consumiendo más recursos de los que se deben y produciendo más dióxido de carbono del que la tierra puede absorber; esto da como resultado: una huella de carbono más agresiva, efectos invernaderos que crean más y peores desastres, fuentes de agua más escasas y un aire más contaminado. (PRB, 2012)

No está de más hacer referencia que vivimos en una sociedad donde las necesidades energéticas futuras exceden en mucho a las proyecciones existentes. Los costos se encuentran en una espiral ascendente, los conflictos por combustibles fósiles van en aumento y sus reservas en tal declive que muy pronto serán historia. (Montgomery, 1986)

La energía eléctrica a través de la mecanización de los procesos, se convierte en pilar de la producción porcina intensiva. Con energía eléctrica llevamos a cabo tareas como ventilación, calefacción, acarreo, distribución y administración de alimento, además de ser vital para el funcionamiento de computadoras y sensores que registran información sensible para la toma de decisiones.

Por lo anteriormente descrito, queda claro, que es imposible hacer funcionar una granja porcina moderna sin energía eléctrica.

El punto de origen de esta investigación, está basado en la ausencia de investigación, está basado en la ausencia de investigaciones de carácter científico a nivel nacional que involucren la energía solar fotovoltaica en explotaciones animales y que al mismo tiempo consideren: 1) la preocupación existente por el medio ambiente y su deterioro, 2) la crisis energética actual y sus perspectivas a futuro, 3) y la producción de alimento de origen animal en granjas altamente tecnificadas.

Este estudio genera información sustancial para la adopción de nuevas tecnologías que orienten la industria animal hacia la producción limpia o “verde”, sin perder la esencia de esta práctica zootécnica que es: la producción de alimento de origen animal que satisfaga las necesidades alimenticias del hombre.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Generar información sobre energías renovables aprovechables en granjas porcinas guatemaltecas.

2.2 Objetivo específico

Evaluar la factibilidad de la instalación de paneles solares fotovoltaicos en una granja porcina estándar, a través de los criterios de evaluación financiera: periodo de recuperación de la inversión, valor actual neto y tasa interna de retorno.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Según Montgomery (1986) la energía es algo que no se puede ver, ni saborear; no produce sonido, sensación alguna, u olor. Tampoco es una sustancia material, sin embargo si la podemos medir y sin la energía la vida dejaría de existir.

La primera ley de la termodinámica establece que la energía en cualquiera de sus formas no puede crearse ni destruirse; sólo se puede cambiar de una forma a otra.

Aunque la energía no se pierde, sí se degrada en un proceso irreversible cumpliendo así la segunda ley de la termodinámica. Por ello, la energía no puede considerarse renovable. Lo que puede renovarse es su fuente (el viento, una caída de agua, los rayos del sol, etc.). Para Alatorre (2009), el término apropiado para esta problemática sería: “Fuentes Renovables de Energía”, más sin embargo, el uso del lenguaje ha llevado a denominarse simplemente energías renovables como una acepción común.

3.1 Fuentes renovables de energía

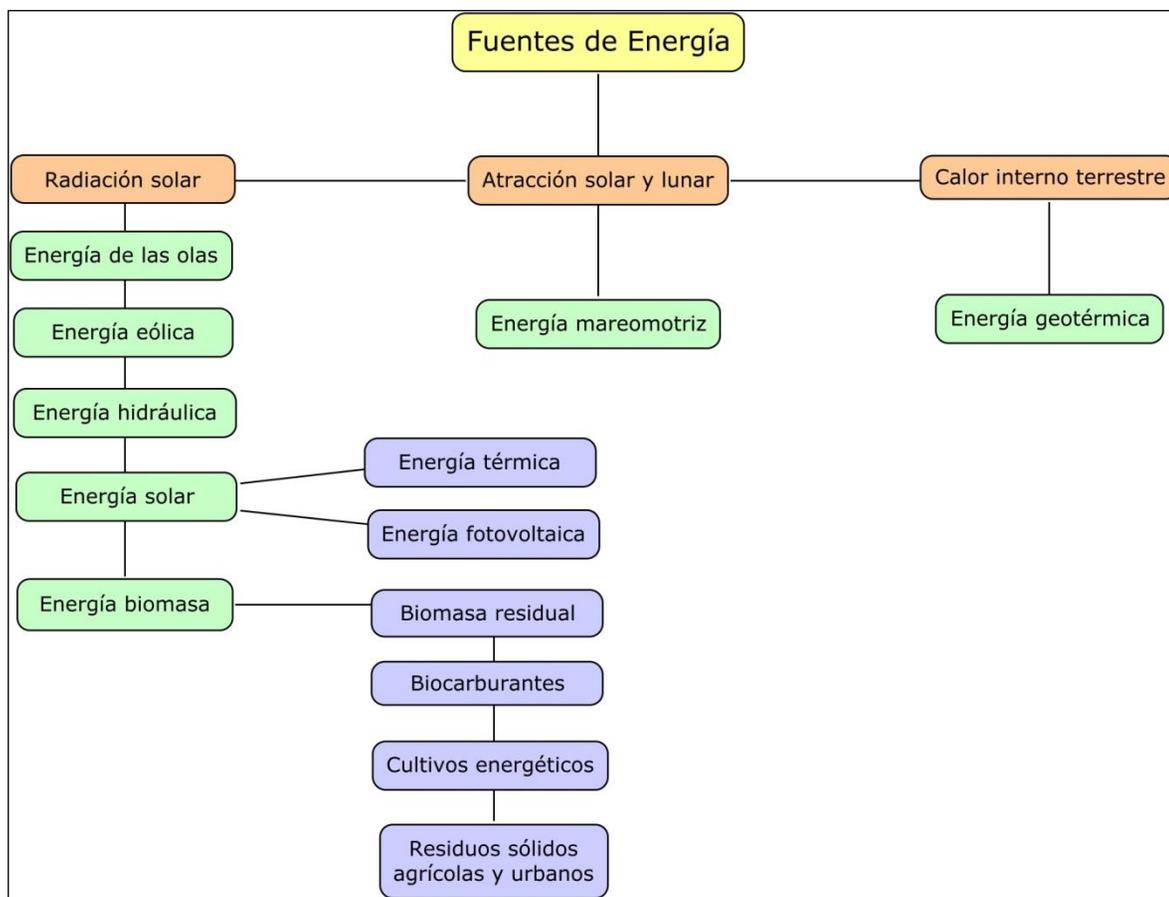
Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, estas fuentes se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua y muy probablemente inagotables. (Alatorre, 2009)

Merino y Mosquera (2006) determinan que las energías renovables son la clave de un modelo energético sostenible que puede cubrir las necesidades

humanas sin poner en peligro el medioambiente, ya que el punto de origen radica en el Sol.

La clasificación actual de las fuentes renovables de energía se detalla en la figura No. 1

Figura No. 1 Tipos de energía renovable



Fuente: Madrid Solar, 2006

Cuadro No. 1 Potencial de recursos renovables para Guatemala

Recurso	Estimado	Aprovechamiento
Petróleo	Recurso de 195,146,605 barriles	Producción de 10.50 barriles/día
Gas natural	No contabilizado	Sin provechar
Potencial Hidroeléctrico	6,000 MW	Aprovechado un 15%
Potencial Geotérmico	1,000 MW	Aprovechado un 5%
Potencial Eólico	280 MW	Sin aprovechar
Potencial Solar	5.3 kW/m²/día	Utilizado en sistemas aislados
Potencial Biomásico	No contabilizado	306.5 MW aprovechados

Fuente: MEM, 2014

El cuadro No. 1 manifiesta el potencial energético solar de Guatemala. La sub explotación de este recurso y su buen rendimiento en kWh/día/m² lo convierten desde cualquier punto de vista en una fuente de oportunidades.

3.1.1 Energía solar

Es la energía del sol que a través de su radiación produce calor e iluminación. Es una energía que necesita sistemas de captación y de concentración para su aprovechamiento y es de tipo constante e intermitente. (Ente vasco de la energía, 2013).

3.1.1.1 Energía solar térmica

Consiste en utilizar la radiación del sol para calentar un fluido que en función de su temperatura, se emplea para producir agua caliente. Por ejemplo: en la calefacción de baja temperatura, aire acondicionado mediante máquinas de absorción, calentamiento de agua, entre otras. (Madrid Solar, 2006)

3.1.1.2 Energía solar fotovoltaica

Es la transformación directa de la radiación solar en energía mediante el

“efecto fotovoltaico”.

La cantidad de energía producida depende del número de celdas solares que se conecten en serie y de la estructura cristalina del semiconductor usado. La vida útil de un panel solar fotovoltaico es entre 25-30 años y la eficiencia de dichos módulos se encuentra generalmente entre 9 y 30%. Tecnología de punta alcanza arriba del 40%.

La energía solar se transforma en energía eléctrica en un proceso que es sin partes móviles, sin ciclos termodinámicos y sin reacciones químicas. Es de duración prácticamente ilimitada, su mantenimiento es mínimo, no produce contaminación y no hace ruido. (Tacza, 2011)

3.1.1.2.1 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica tiene multitud de aplicaciones, desde la aeroespacial hasta juguetes, pasando por la producción de energía en viviendas, industrias y fábricas, especialmente aquellas que requieren del suministro energético de tipo perenne. (Madrid Solar, 2006)

3.1.1.2.2 Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas

- Conectadas a la red (autoconsumo y venta)

Una instalación conectada a la red permite que el excedente de energía eléctrica producida pueda ser vendido o regresado al sistema nacional de electrificación. En caso contrario, habilita la compra de energía al sistema nacional debido a que el sistema consume más de lo que produce. Todo esto gracias a un regulador bidireccional. (Tacza, 2011)

- Aisladas de la red (autoconsumo)

Son aquellas utilizadas en lugares donde no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo. (Tacza, 2011)

3.1.1.2.3 Elementos de un sistema solar fotovoltaico

- Módulo foto-voltaico

Los paneles fotovoltaicos están formados de una serie de celdas fotovoltaicas que convierten la energía de radiación solar en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico. Este efecto se produce cuando el material de la celda solar absorbe parte de los fotones del sol, liberando electrones que se encuentra en el interior de la celda los cuales generan una corriente eléctrica. (Orbegozo; Arivilca, 2010)

Los paneles fotovoltaicos son orientados en dirección sur-norte (hemisferio norte) o norte-sur (hemisferio sur), balanceando la captación entre la mañana y la tarde (radiación directa, reflejada y difusa); generando finalmente un voltaje y una corriente requeridos por las cargas. En la mayoría de casos el elemento base de los paneles es el silicio (silicio es el segundo elemento de mayor abundancia en la corteza terrestre que se obtiene de la arena). (Tacza, 2011)

El funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos se ven afectados principalmente por la latitud; ya que a mayor perpendicularidad de ingreso al panel, el rayo es más intenso. Esta intensidad varía según la época del año, el momento del día y las condiciones atmosféricas, entre otros factores.

- Regulador de carga

Tiene la finalidad de producir el acople correcto entre el módulo, la batería y la carga. Dirige la electricidad generada en los módulos fotovoltaicos hacia el uso final o hacia la batería, hace que la batería dure más tiempo, impide daños en los cables y evita cortocircuitos.

- Baterías solares

Diseñadas especialmente para sistemas fotovoltaicos, elaboradas de plomo – ácido almacenan la electricidad generada por el módulo además de tener una reserva que permite sobrepasar sin problemas varios días sucesivos de baja radiación (días nublados). Su capacidad se mide en amperios-hora y son probablemente el elemento más importante (en sistemas aislados) y más costoso del módulo fotovoltaico.

Una buena batería tiene entre 1,000 a 2,000 ciclos, un porcentaje de auto descarga bajo (2% - 4% mensual), un gran depósito de electrolito (para evitar daños por causa de exceso de gasificación) y gran tolerancia a los ciclos profundos con descargas diarias de 40% - 50%. (Orbegozo; Arivilca, 2010)

- Inversor de voltaje

Es el encargado de invertir o cambiar el voltaje del sistema a los requerimientos del usuario. 12V ó 24V DC a 220V AC, 50 ó 60 Hertz y viceversa.

- Componentes adicionales de un sistema fotovoltaico.

Dependiendo del tipo de instalación, requerimientos y finalidades; los sistemas fotovoltaicos pueden contar con: adaptadores, convertidores, cableado

eléctrico, estructuras de soporte, breakers, fusibles, etc.

3.2 Situación actual de la energía solar fotovoltaica

Con un crecimiento superior al 100%, el éxito de los módulos fotovoltaicos de los últimos años es debido a la **mejoría del costo por unidad de producción**. La energía solar brinda seguridad, confiabilidad de servicio, y desarrollo socio-económico; algo que otras tecnologías productoras de energía eléctrica no han logrado. (Mery; Lacarezza, sf) La energía solar fotovoltaica de ser hace tan solo 5 años atrás una fuente energética fuera de rango, hoy en día y con buenos prospectos a futuro, se presenta como la alternativa energética económica amigable con el medio ambiente.

Datos recopilados HTWT (2012) revelan que el mercado global de paneles solares en 2009 contaba con una capacidad acumulada de 23GW, de 40 GW para 2010 y de 69GW para 2011, esto marca una tendencia de aumento del 42%.

Las proyecciones para el año 2020 indican que habrá una reducción de más del 50% de los precios de los sistemas fotovoltaicos, debido a la producción masiva; los sistemas comerciales y residenciales lograrán alcanzar los valores de generación que tendrán las redes en muchas regiones del mundo, logrando que entre el 2020 y el 2030 estos mismos logren integrarse. Ya para el 2030, los valores a gran escala bajarán de 0.13 a 0.07 USD/kW y se calcula que para el año 2050, la capacidad instalada total en el mundo será igual a 3,000GW, entregando 4500 TWh al año, lo que equivale al 11% de la producción mundial.

En cuanto a la oferta respecta; en el año 2010 se consolidaron dos tendencias: la sobrecapacidad industrial y el predominio del sudeste asiático en la industria manufacturera. Prueba de ello son China y Taiwán, que conjuntamente

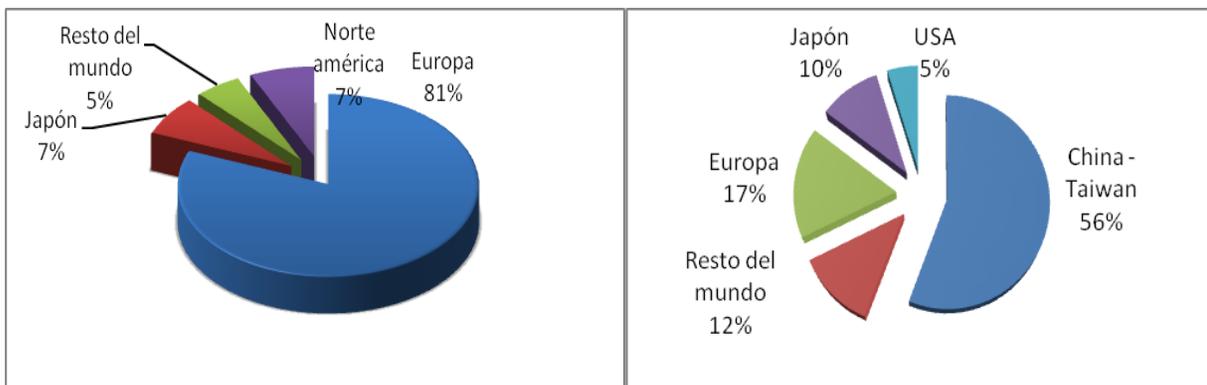
superan el 50% de la producción mundial de células solares seguidos por Estados Unidos y Japón. Ver figura No. 2

El precio de los paneles y los costos nivelados de la energía fotovoltaica de los últimos 35 años han caído en un factor de 100% y 15% respectivamente, haciendo que el valor añadido de los módulos fotovoltaicos ya no esté directamente ligado al sector manufacturero.

La demanda focalizada en Europa (cerca del 81%), especialmente en Alemania, España y Suiza quienes poseen los índices per cápita más altos de energía solar.

Guatemala presenta el comportamiento esperado. El crecimiento del parque solar está en aumento, la oferta y la demanda presentan un crecimiento paralelo en el cual no se vislumbra al corto ni mediano plazo un detenimiento. El consumidor comienza a mostrarse más interesado sobre el uso de la energía solar y los beneficios que pueda presentar a Guatemala y su medio ambiente. (HTWT, 2012)

Figura No. 2 Demanda y oferta de paneles solares fotovoltaicos en el mundo



Fuente: HTWT, 2012

3.3 Antecedentes de energía solar en Guatemala

A pesar de que la energía solar fotovoltaica es una tecnología relativamente nueva, ya existen proyectos puestos en marcha a grande, mediana y pequeña escala tanto en el área pública como privada, en lo residencial y en lo industrial.

Para impulsar las energías renovables (como la solar), en Guatemala existen incentivos para este tipo de proyectos, principalmente exenciones fiscales y arancelarias, los cuales se contemplan en la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable y en el Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable.

Según Carmen Urizar¹ Presidenta de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), Guatemala posee una tendencia hacia el uso de energías renovables del 63% anual. Esto quedó plasmado en la licitación PEG 01 (Plan Expansión Generación) del año 2010 donde fueron adjudicados 219 MW en energías renovables incluyendo la solar, la PEG 02 del año 2012 de 600 MW donde se adjudicaron 55 MW en energía solar y cerca del 80% en energías renovables con una inversión total de USD 1,450 millones. La PEG 03 a realizarse en el presente año, espera adjudicar otros 250 MW a la generación de energía por medio de sistemas fotovoltaicos.

Otro antecedente de relevancia es la realización del congreso "Impulsando a Los Protagonistas del Crecimiento en Generación Energética a Partir de Recursos Renovables Guatemala 2014-2020" a cargo del Ministerio de Energía y Minas y los actores implicados en la generación de energía renovable en el país. En el evento se analizaron las posibilidades de Guatemala de seguir creciendo en la producción de energía limpia, abriendo oportunidades a la inversión externa por

¹ V Congreso de Producción Más Limpia. 2013. Guatemala, GT. Comunicación personal.

medio de licitaciones, que de lograrse podrían disminuir el costo de la energía eléctrica entre el 25% y 30% en a partir de mayo 2015.

En cuanto a proyectos de relevancia se refiere; el parque fotovoltaico más grande de Guatemala y Centroamérica “SIBO”, ubicado en Estanzuela, Zacapa, requirió US\$ 14 millones para la instalación de 20,320 paneles con la capacidad de generar 5 MW (una sexta parte de lo que produce la hidroeléctrica Chixoy) y pudiendo abastecer hasta 24,000 usuarios, salvando el uso de 50,000 galones de bunker. Este proyecto que inició labores el 1 de mayo del presente y posiciona a Guatemala como pionera de la región.

Otro proyecto de relevancia nacional es llevado a cabo en el Colegio Evelyn Rogers, quien instaló 345 paneles solares y posee una producción de 85.5 kW/hora. Este parque se pagará en su totalidad en un plazo de 5 años además de reducir la huella de carbono por 65 toneladas, que salvaría al menos 2,700 árboles por año.

Por otro lado tenemos la instalación de 28 paneles solares con fines académicos en Universidad del Valle de Guatemala (UVG) junto con la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), producen 17,527 kW/h al año, economizando alrededor de Q28,324 anuales.

Otros proyectos importantes son: San Jerónimo, Tacuilula, Rio Hondo I, II y III en el este del país, Horus I, los 9 proyectos piloto que la CNEE administra y el primer sistema de electrificación solar aislado en Uaxactún, Peten por parte del INDE.

3.4 Ventajas de energía solar

A continuación se detalla una lista de ventajas y desventajas las cuales pueden servir como marco de referencia para la toma de decisiones sobre la factibilidad de la energía solar.

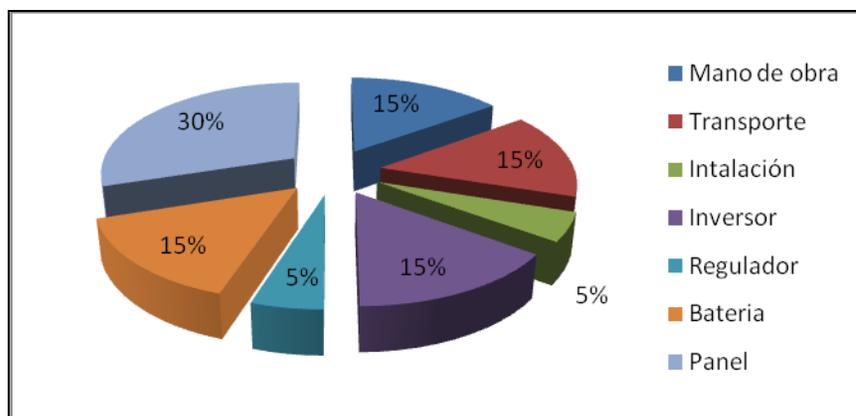
3.5 Costos de la energía solar fotovoltaica

Los costos de inversión es la principal causa por las cuales los sistemas solares fotovoltaicos son altamente criticados. También encontramos que la instalación de un sistema solar depende de varios factores como lo son: 1) los precios internacionales del mercado fotovoltaico, 2) disponibilidad local de distribuidores e instaladores de equipos fotovoltaicos, 3) ubicación y demanda energética de los usuarios, 4) características de equipos necesarios para satisfacer la demanda energética (en calidad, cantidad y capacidad), 5) distancia y la facilidad de acceso entre el lugar de venta de los equipos y el lugar donde se instalará el sistema, por último 6) los márgenes de ganancia de vendedores e instaladores de equipos (generalmente entre el 10-30%)

La principal razón por la cual los costos de inversión suelen ser altos en países como Guatemala, es debido la falta de industrias que fabriquen y elaboren paneles, baterías y el resto de materiales necesarios para la instalación y mantenimiento de sistema fotovoltaicos. Esto provoca que los materiales deban de ser importados aumentando los precios de compra de cada uno de ellos.

En cuanto a la mano de obra se refiere, existen profesionales y escuelas guatemaltecas especializadas en la energía solar fotovoltaica, por lo cual esto no representa un problema, sin embargo, la presencia de mano de obra calificada no lo convierte en un rubro precisamente barato.

Figura No. 3 Desglose de costos de un sistema fotovoltaico



Fuente: Biomass Users Network 2002

3.5.1 Costos de inversión

Son aquellos en los que se incurre para la compra, transporte e instalación de los equipos fotovoltaicos. Estos costos pueden representar un 70-75 % del costo del sistema a lo largo de toda su vida útil.

3.5.2 Costos de mantenimiento y operación

Son aquellos en los que se debe incurrir durante toda la vida útil de los equipos para conservar en buenas condiciones el sistema fotovoltaico. Representan entre 3-5 % del costo total del sistema a lo largo de toda su vida útil.

3.5.3 Costos de reemplazo

Son aquellos en los que se debe incurrir cuando las baterías llegan al fin de su vida útil. Generalmente, esto sucede después de 3 - 5 años de uso, pero depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a

los que fue sometida la batería. Estos costos representan 20 - 27 % de los costos totales del sistema a lo largo de toda su vida útil.

3.6 Situación porcina nacional

La carne de cerdo es actualmente la de mayor producción y mayor consumo a nivel mundial. De un total de 101,867,000 TM (2007), producidas en todo el mundo, el Instituto Nacional de Estadística (INE) estima que más de 2,326 TM fueron de origen guatemalteco (Ola, 2010).

Guatemala como principal productor de carne de cerdo del istmo, su crecimiento ha quedado plasmado a través de los años; en 1993 el consumo promedio de carne de cerdo por habitante era de 1.41Kg/año; en 2003 era de 2.86 Kg/año y para 2007 era de 3.5Kg/año demostrando así un incremento del 284%. El primer semestre del 2014 marcó un precedente a corto plazo con incrementos en demanda y precios. La porcicultura es la segunda línea de producción animal de mayor importancia en el país; aportando un 1.7% del Producto Interno Bruto (PIB) y 15.8% del Producto Interno Bruto Agrícola (PIBA). Crea 10,000 empleos directos y 60,000 indirectos. Además de generar anualmente 100 millones de dólares en comercio nacional. (Ola, 2010)

La población porcina según APOGUA (2014) a nivel tecnificado y semi-tecnificado es de 21,605 vientres. Estos están concentrados específicamente en Escuintla, Guatemala y Sacatepéquez; con los cuales se satisface entre 91% y el 93% de la demanda actual de productos porcinos (Escobar, 2008 y Ola, 2010 respectivamente). Dejando un nicho comercial de entre el 5% y el 10% las importaciones.

La profesionalización de los sistemas porcinos se ha incrementado año con año. Prueba de ello es que hace tan solo diez años, únicamente el 10% de las

granjas reunían los estándares nacionales de higiene (COGUANOR). Hoy es el 48%, lo que significa gran interés por la tecnificación de estos sistemas con inversiones de aproximadamente USD 4.92 millones (Q40 millones).

Los sistemas porcícolos modernos de Guatemala se caracterizan por poseer métodos de producción continuos, la intensificación de la producción ha permitido que el conocimiento adquirido por los productores genere el desarrollo de tecnologías innovadoras, genética, infraestructura, automatización e investigación de procesos dando como resultado estrategias de manejo que promueven el aumento en la productividad por área y mayor eficiencia en el uso de recursos (agua y energía). La porcicultura tecnificada usa alimentos balanceados, practicas sanitarias y de manejo, en instalaciones especializadas con computadoras y sensores que controlan la temperatura, ventilación, suministro de agua y comida, reciclaje de aguas, alarmas, calentadores, humedad, aire acondicionado, entre muchas otras herramientas que utilizan energía eléctrica las 24 horas, 7 días a la semana y su suministro debe de estar garantizado para su buen funcionamiento. (Silva, 2008)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

Para el presente trabajo se requirió de:

- Computadora profesional
- Software de diseño arquitectónico en 2D y 3D
- Software PVsyst
- Spray Mount
- Cartón Presentación
- Material diverso de oficina
- Centros de referencia nacionales e internacionales
- Investigador

4.2 Metodología

4.2.1 Localización

La fase experimental fue llevada a cabo en Granja La Palmera, en el municipio de El Asintal departamento de Retalhuleu. Se sitúa a 197 km de ciudad de Guatemala, a una altura de 540 metros sobre el nivel del mar. Dicho lugar presenta las siguientes características: temperatura media mínima de 20°C y máxima de 34°C, precipitación pluvial anual mínima de 2,000mm y máxima de 3,500mm, humedad relativa del 75% y es perteneciente a la zona de vida: Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido). (Cruz, 1982)

4.2.2 Análisis técnico

Paso No. 1: Ubicación de la instalación

En la elaboración del análisis técnico, específicamente para la ubicación y

determinación de la instalación solar fotovoltaica (granja porcina) a estudiar, se tomó en cuenta la base de datos de la Asociación de Porcicultores de Guatemala (APOGUA, 2014) y el mapa de irradiación solar global horizontal del Ministerio de Energía y Minas.

En combinación de dichas fuentes, se seleccionó una granja porcina tipo multiplicadora que cumple con las siguientes características:

- Ser una granja tecnificada (sus procesos son dependientes de energía eléctrica).
- Por su ubicación posee alto potencial para generar energía solar.
- Innovación continua – tecnificación constante (naturaleza de un sistema tecnificado).
- Elevado costo kW/h en la región.

Paso No. 2: Determinación de cargas

A través de una matriz simple de tres factores, se determinó el consumo energético (cargas) de la explotación previamente seleccionada. Esta información sirvió como punto de partida para la elaboración del estudio generacional.

Paso No. 3: Estudio de generación

Teniendo conocimiento de la naturaleza del sistema, sus requerimientos, limitantes y su potencial generacional, se procedió a la realización del estudio de generación computarizado a través del software PVSyst®. Este realiza una simulación de sombras y una interacción de su posición respecto del Sol.

Paso No. 4: Presupuesto de equipo

En esta última etapa del análisis técnico, se elaboró el presupuesto de

equipos necesarios para el establecimiento del sistema solar fotovoltaico con las especificaciones que el estudio generacional proporcionó.

4.2.3 Análisis financiero

La viabilidad del proyecto fue analizada a través de tres distintos métodos de evaluación financiera, estos son:

- Periodo de recuperación de inversión
- Valor actual neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)

4.2.3.1 Periodo de recuperación de inversión

La fórmula utilizada para el cálculo del periodo de recuperación de inversión fue la siguiente:

$$PR = \left[\begin{array}{l} \text{Número de años antes} \\ \text{de la recuperación total} \\ \text{de la inversión} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Costo no recuperable al} \\ \text{inicio de la recuperación} \\ \text{total del año} \\ \hline \text{Flujos totales de efectivo} \\ \text{durante la recuperación} \\ \text{total del año} \end{array} \right]$$

Fuente: Peñate, 2008

4.2.3.2 Valor actual neto (VAN)

La fórmula utilizada para el cálculo del valor actual neto fue la siguiente:

$$VAN = BN_0 + \frac{BN_1}{(1 + iop)} + \frac{BN_2}{(1 + iop)^2} + \frac{BN_n}{(1 + iop)^n}$$

Fuente: Peñate, 2008

Dónde:

- VAN = Valor actual neto
- N = Último periodo de vida útil de proyecto
- BNo = Beneficio neto año "0"
- BN1 = Beneficio neto año "1", etc
- (1+iop) = Intereses de oportunidades elevado a cada año

Cuadro No. 2 Regla de decisión

Valor	Significado	Decisión a tomar
VAN > 0	La inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida	El proyecto puede aceptarse
VAN < 0	La inversión producirá perdidas por debajo de la rentabilidad exigida	El proyecto debería de rechazarse
VAN = 0	La inversión no producirá ni ganancias ni perdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario, la decisión deberá basarse en otros criterios

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.3 Tasa interna de retorno

La fórmula utilizada para el cálculo de la tasa interna de retorno fue la siguiente:

$$TIR = i1 + \frac{VPN1}{VPN1 - VPN2} \times (i2 - i1)$$

Fuente: Peñate, 2008

Dónde:

- TIR = Tasa interna de retorno
- i = Tipo de interés
- VPN = Valor presente neto

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis Técnico

5.1.1 Determinación de la ubicación de la instalación

Granja La Palmera es una granja multiplicadora estándar dividida en áreas de maternidad y gestación, juntas con capacidad para 450 vientres. Esta granja fue seleccionada para el presente estudio por cumplir con los siguientes requisitos:

- 1) Ser una granja tecnificada (sus procesos son dependientes de energía eléctrica)

Los sistemas porcinos intensivos o tecnificados son aquellos que tienen un sistema de crianza de animales de “producción en línea” los cuales maximizan la cantidad de carne producida, mientras se minimizan los costos. (Cox, 2007)

La producción pecuaria intensiva o tecnificada además, se caracteriza por densidades de confinamiento muy altas, altas tasas de crecimiento y mecanización (tecnología) así como bajos requerimientos de personal pero muy bien cualificados; estas son características que en su totalidad Granja La Palmera posee y que a través de la mejora continua de sus procesos ha adquirido.

Por otro lado FCV (2012) clasifica los sistemas de producción porcina por su número de vientres, siendo las clasificaciones las siguientes:

- Menos de 50 vientres: sistema extensivo, poco o nulo tecnificado, producción de subsistencia o complementaria de otras producciones agrícolas y de granja. Generalmente pastoreo.

- Entre 61 y 200 vientres: criadero comercial, genera utilidades moderadas, sistemas mixtos de confinamiento y pastoreo; comenzando a utilizar mecanización de procesos y tecnología.
- Establecimientos con más de 200 vientres: Sistemas intensivos con producción planificada e integradas verticalmente en la cadena productiva. Uso de tecnología moderna, capacitación constante, traza, sigue y cumple metas y objetivos.

Tomando la literatura previa como punto de partida, Granja La Palmera se posiciona fácilmente en el segmento de granjas tecnificadas o intensivas.

Esta explotación cuenta con instalaciones específicas para la actividad; además de tecnología como: iluminación, criadoras, bombas de agua, ventiladores, refrigeradores, conservadoras, computadoras, sensores, generadores, etc., las cuales trabajan estrictamente con energía eléctrica.

Sería imposible mantener los flujos productivos de esta granja, sin suministro de energía eléctrica de calidad.

2) Por su ubicación posee alto potencial para generar energía solar

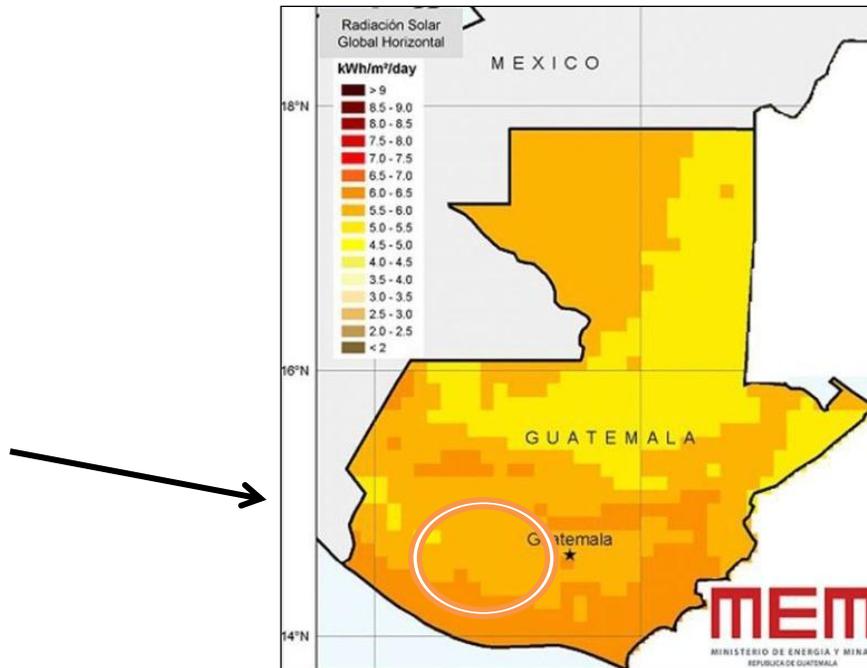
Existen dos elementos sumamente importantes en la implementación de sistemas solares fotovoltaicos. Granja La Palmera cumple con ambos, estos son:

- Contar con las características climatológicas apropiadas y,
- Contar con potentes índices de irradiación solar por metro cuadrado.

Según el Ministerio de Energía y Minas (MEM) y el mapa de radiación solar global horizontal de Guatemala publicado en su sitio web, en áreas como en la

que se encuentra Granja La Palmera (Retalhuleu) existen entre 6-7 kWh/m²/día en condiciones óptimas. Ver figura No. 4

Figura No. 4 Mapa de radiación solar global horizontal de Guatemala



Fuente: MEM, 2014

3) Innovación continua – tecnificación constante (naturaleza de un sistema tecnificado)

La intensificación de un sistema de producción animal significa “automatización de procesos”. Para poder automatizar y ser más eficientes en explotaciones animales se necesitan de nuevas y mejores tecnologías, que requieren de energía eléctrica de forma abundante y constante para su buen funcionamiento. De no poseer suministro eléctrico serían incapaces de poder cumplir el objetivo para el cual fueron diseñados.

La maximización de operaciones es inversamente proporcional a la presencia

de la mano de obra. Esto significa, que un sistema no puede orientarse a la intensificación absoluta sin primero poder asegurar su abastecimiento de energía eléctrica actual y sus proyecciones de consumo a futuro.

Prueba de lo anteriormente descrito se presenta en el cuadro No. 4. En este cuadro se evalúan los principales índices reproductivos en dos distintos periodos de 20 semanas cada uno (tiempo necesario para que todas las cerdas reproductoras hayan tenido mínimo una gestación y maternidad completa).

La mejora significativa de los valores del segundo periodo sobre los de por si buenos valores del periodo número uno, son muestra que Granja La Palmera se encuentra en innovación continua y tecnificación constante de sus procesos. La adopción y evaluación de nuevas tecnologías (que en su totalidad requieren de energía eléctrica) así como de técnicas porcícolas modernas permiten hacer un buen uso de los recursos animales creando beneficios económicos, de rentabilidad y de estabilidad para la granja.

Cuadro No. 3 Índices reproductivos de Granja La Palmera

Categoría	Periodo 1	Periodo 2
	05ene – 24may '14	25may – 11oct '14
Lechones Destetados/Hembra Montada/Año	19,62	21,14
Camadas/Hembra Servida/Año	2,22	2,34
Lechones Destetados/Hembra Destetada	8,85	9,04
Promedio de Nacidos Vivos	9,52	9,50
Intervalo destete a 1er Servicio	8,5	7,2
% Hembras Destetadas montadas en 7 días	73,85	80,68

Fuente: Pigknows, 2014

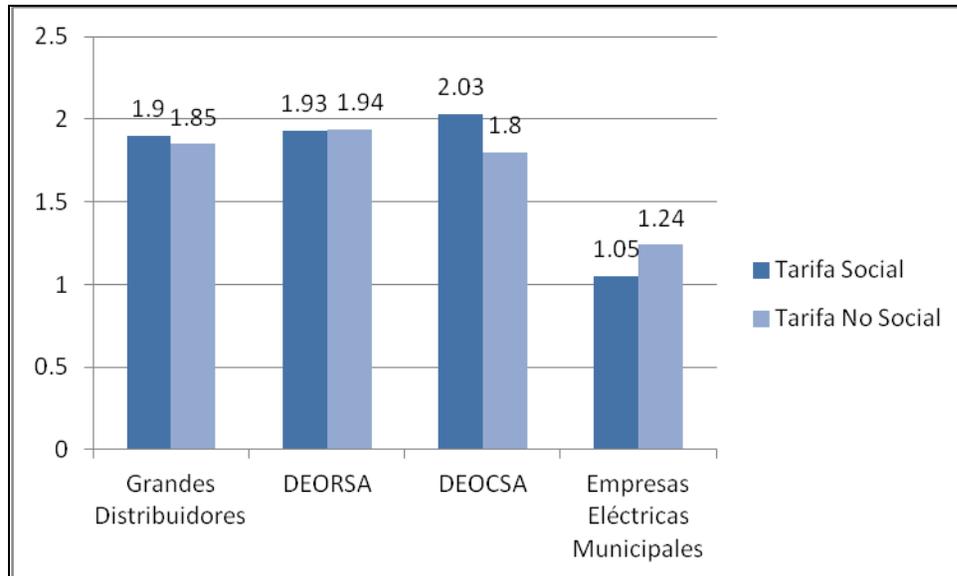
4) Elevado costo kW/h en la región

Los costos fijos de la producción de Granja La Palmera se ven aún más presionados, debido a que el precio de venta del kW/h en el sur occidente del país es el más caro de toda Guatemala. (Boletín estadístico 2014 Vol. 1 No. 1 de la dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, 2014) Ver figura No. 5.

Las irregularidades en el servicio (hasta por periodos de 72 horas) y los constantes apagones, impiden el buen funcionamiento de las tecnologías ya adoptadas.

Otra perspectiva, es el reemplazo continuo (perdidas) por reparaciones parciales o reposiciones totales en equipos, afectados por descargas eléctricas desmedidas que corren continuamente en la red eléctrica del área en mención.

Figura No. 5 Precio en quetzales del kW/h promedio por distribuidor 2014



Fuente: MEM, 2014

5.1.2 Determinación de las cargas

A través de una matriz simple de 3 factores (cuadro No. 5), se determinó la relación que existe entre:

- Cada uno de los elementos que utilizan energía eléctrica de Granja La Palmera,
- Su consumo en vatios (Watts) y,
- El tiempo de uso al día (horas).

El resultado de la relación entre los tres factores anteriores, fue multiplicado por 30 días promedio que tiene un mes y posteriormente por 12 los meses que tiene un año. Esto nos da como resultado, la proyección de energía eléctrica que se consume en la granja anualmente.

El consumo de ambas áreas (maternidad y gestación) es acumulado, leído y facturado en el mismo contador. Esto significa que, el sistema a implementar debe de ser capaz de satisfacer ambas áreas aun cuando la exigencia de cada área esté a su máxima capacidad.

Es necesario aclarar, los flujos de consumo de energía eléctrica varían constantemente, por lo que se pueden presentar variaciones de aumento o decrecimientos influenciados por: flujos operacionales, población animal, horario de operaciones, climatología, mano de obra disponible, actividades diversas, etc. El cuadro No. 5 es una estimación a los consumos reales y los datos ahí mostrados corresponden únicamente la fecha en el cual la estimación fue realizada.

Para todos aquellos elementos a los que no les puede ser calculado su consumo o tiempo de uso como: tomacorrientes, motores de bombeo y equipo

utilizado esporádicamente; de ser significativo les es asignado un consumo estimado y agregado a la matriz, en caso contrario de no poder estimar su uso (por no consumir cantidades significativas que puedan representar mayores variaciones en la estimación) es omitido.

Cuadro No. 4 Desglose de cargas mensual de Granja La Palmera

Cantidad (A)	Tipo	Consumo en Watts (B)	(A X B)	Tiempo de uso al día (horas)	Tiempo de uso al mes (horas)	Consumo mensual (kW/h)
	Maternidad					
32	Lámparas fluorescentes	32	1024	11	330	337,92
81	Lámparas incandescentes	75	6075	20	600	3645
5	Ventiladores industriales	977,6	4888	1	30	146,64
1	Bomba de agua	746	746	6	180	134,28
						4263,84
	Gestación					
23	Lámparas fluorescentes	32	736	1	30	22,08
5	Lámparas fluorescentes	22	110	1	30	3,3
10	Ventiladores industriales	977,6	9776	2	30	293,28
2	Bombas de Agua	746	1492	6	180	268,56
1	Refrigerador 5 pies cúbicos	100	100	24	720	72
1	Frigobar de 1.5 pies cúbicos	60	60	24	720	43,2
						702,42
					Mensual	4.966,26
					Anual	59.595,12

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Estudio de generación

Datos de consumo

La información del consumo eléctrico de Granja La Palmera fue recopilada a través de las facturas eléctricas del proveedor (Energuate, DEOCSA). Esta es la forma más confiable y exacta para realizar el estudio de generación.

Tomando en cuenta el historial de consumo de los últimos 5 meses, se procede a realizar un promedio de consumo mensual.

De la factura eléctrica se extrae el precio kW/h y multiplicándolo por el consumo medio, obtenemos el costo de la energía del promedio mensual.

El sistema solar fotovoltaico fue diseñado para satisfacer el 100% de la factura eléctrica.

Será un sistema interconectado a la red eléctrica nacional, esto significa: en caso que se consuma más energía de la que el sistema es capaz de generar, lo restante puede ser comprado al proveedor y/o en caso contrario, que se genere más energía de la que se consume, el excedente será inyectado a la red y descontada al mismo precio en facturas futuras. Esto es posible gracias a un regulador o inversor bidireccional.

Cuadro No. 5 Historial de consumo de energía eléctrica de Granja La Palmera

Mayo 5,383 kW/h	Junio 4,603 kW/h	Julio 4,413 kW/h	Agosto 4,305 kW/h	Septiembre 4,575 kW/h
Promedio de los últimos 5 meses 4,655.4 kW/h			Costo de la energía del promedio mensual Q9,403.91	
Precio venta de kW/h Q2.02				

Fuente: Elaboración propia

Capacidad del sistema en propuesta

Para la elaboración de la propuesta del sistema solar fotovoltaico fueron tomados en cuenta los siguientes elementos:

- Coordenadas
- Elevación del terreno (msnm)
- Pendiente del terreno
- Orientación del sistema
- Irradiación solar en las coordenadas descritas
- Temperatura ambiente

La inclinación de los módulos fotovoltaicos está relacionada con su capacidad de colecta de radiación solar. Esta se colecta en mayores cantidades cuando se está inclinado en el mismo ángulo de la latitud, también existe un ángulo mínimo de inclinación que debería de ser de 15° facilitando a su vez el drenado de agua y limpieza.

Los módulos deben de estar inclinados hacia el hemisferio sur, pero en países cercanos al ecuador (como Guatemala), las consecuencias de desviaciones de las inclinaciones óptimas son poco importantes. (Orbegozo, 2010)

Cuadro No. 6 Propuesta del sistema solar fotovoltaico en Granja La Palmera

Descripción del emplazamiento		Descripción del sistema fotovoltaico	
Coordenadas	14° 37' 20.57" N 91° 44' 0.06" W	Potencia instalada	33.32 kWp
Elevación	540 msnm	Tipo de módulos	silicio cristalino
Pendiente	2°	Estructura	estructura fija
Orientación	245° sudoeste	Orientación / inclinación	192° (sur)
Irradiación global en plano inclinado	1,869.24 kWh/m ² (anual)	Eficiencia inversor:	97.5%
Temperatura ambiente	23.5 °C (anual)	Pérdidas DC/AC:	1.5% / 1.5%

Fuente: PVSyst

La capacidad energética nominal (potencia) de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios-pico (Wp), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación. (BUN-CA, 2002)

La eficiencia de los módulos FV está influenciada por la temperatura de los módulos. Por lo tanto, a menor temperatura mayor eficiencia (Orbegozo, 2010). Generalmente los sistemas solares fotovoltaicos son posicionados en lugares calurosos y las celdas de silicio son azules, reteniendo cierta cantidad del calor producido por los rayos del sol. Una combinación de rayos del sol, humedad y viento cálido en ciertas circunstancias pueden producir altas temperaturas y reducir la eficiencia de nuestro sistema.

Se calcula un mínimo basal de pérdidas en cableado, conexiones, cálculos y funcionamiento en general del sistema.

El cuadro No. 8 muestra los resultados proporcionados por el estudio generacional, donde la inversión necesaria para la instalación de un sistema conectado a la red es de Q677,776. Dicho sistema será capaz de satisfacer el 100% de la factura eléctrica de Granja La Palmera.

En este mismo cuadro, podemos ver un proyectado sobre la cantidad de energía a ahorrar y la cantidad en unidades monetarias que este monto representa (si el precio kW/h es constante durante todos los años de vida del proyecto).

Cuadro No. 7 Resultado del estudio generacional

Inversión necesaria Q677,776		Precio por watt instalado Q20.32	
Energía ahorrada por día 155.77 kW/h	Energía ahorrada por mes 4,673 kW/h	Dinero ahorrado por mes Q9,439.72	Dinero ahorrado por año Q113,276.64

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Presupuesto de equipos

En la elaboración del presupuesto de equipos se incluye cada uno de los materiales y elementos necesarios para la elaboración, montaje y puesta en marcha del sistema. Ver cuadro No. 8

Cuadro No. 8 Descripción de presupuesto de equipos

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Total
Paneles solares de silicio cristalino con cubierta de vidrio templado potencia 245W dimensiones 1.65m X 0.99m.	Q2.600,00	136	Q353.600,00
Inversores de inyección a red SMA de 8,000W.	Q38.534,80	4	Q154.139,20
Estructuras de aluminio con capacidad de instalación de 45 paneles solares c/u.	Q23.078,65	2	Q46.157,30
Estructura de aluminio con capacidad de instalación de 46 panes solares c/u.	Q23.591,51	1	Q23.591,51
Módulo de gestión online a distancia.	Q5.520,80	1	Q5.520,80
Equipo de comunicación automática.	Q2.552,00	8	Q20.416,00
Material eléctrico: cableado, elementos de protección, fusibles, paneles, magnetos.	Q35.615,23	1	Q35.615,23
Montaje.	Q19.367,97	1	Q19.367,97
Ingeniería.	Q19.367,97	1	Q19.367,97
			Q677.776,00

Fuente: Elaboración propia

5.2 Análisis financiero

Madrid Solar (2006) establece que, el tiempo de vida de un sistema solar fotovoltaico tradicional puede llegar a ser hasta de 30 años. Un número de años discreto, podría ser de 20 años bajo condiciones normales de uso, descargas y mantenimiento. Ver cuadro No. 10

Los costos de mantenimiento y operación son aquellos en los que se debe incurrir durante toda la vida útil de los equipos para conservar en buenas

condiciones el sistema fotovoltaico. Normalmente, el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos no es más que la limpieza adecuada de los equipos, especialmente de los paneles fotovoltaicos; por lo tanto, los costos de mantenimiento son muy bajos y representan un 3-5 % del costo total del sistema a lo largo de toda su vida útil. (BUN-CA, 2002)

Considerando lo anterior, el análisis financiero fue realizado en base al número de años que el proyecto pueda proveer ganancias o pérdidas a la explotación con un 4% en gastos de mantenimiento.

Se realizó un sondeo sobre las probables tasas a las que se puede trabajar este proyecto y estas fluctuaron entre 9 y 15% según el tipo de banca. El dato concreto puede variar al momento de concretarse el proyecto, pero para efectos de investigación se utilizó una Tasa de Rendimiento Mínima aceptada (TREMA) de 12%, como valor intermedio. Ver cuadro No. 9

El periodo de recuperación de inversión para el proyecto de instalación de 136 paneles solares fotovoltaicos capaces de sustituir el 100% de la factura eléctrica de Granja La Palmera utilizando es de 5.98 años. (Peñate, 2008)

El factor Valor actual neto presentó valores por arriba de cero (0), por lo cual, bajo los resultados presentados se aprueba el proyecto por haber aprobado la regla de decisión anteriormente descrita.

A una tasa del 13% (superior a la TREMA 12%), es la tasa máxima a la que puede ser endeudada la explotación y aun así recuperar la inversión realizada para el desarrollo del proyecto. Este índice financiero (TIR) es otro indicativo de la viabilidad de la instalación de paneles solares fotovoltaicos en Granja La Palmera.

Cuadro No.9 Resultados de los análisis financieros

Periodo de recuperación de inversión	Valor Actual Neto	Tasa Interna de Retorno
5.98 años	Q253.364,17	> TREMA (12%)13%

Fuente: Elaboración propia

VI. CONCLUSIONES

- Uno de los factores determinantes en la factibilidad de la instalación de paneles solares, es el elevado costo de inversión (Q677,776.00). Esto como consecuencia de ser un país importador de todos los elementos necesarios para la instalación de un sistema de este tipo.
- En las condiciones climáticas de Granja La Palmera, si es viable técnicamente y económicamente la instalación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red, capaz de sustituir la factura eléctrica en un 100%.
- El tiempo necesario para el retorno de la inversión de este sistema es considerado aceptable (5.98 años), tomando en cuenta que el rango de años para recuperar la inversión en proyectos de este tipo va de 3 a 6 años.
- Los resultados positivos demostrados en los índices financieros para la evaluación de proyectos: Valor actual neto y Tasa interna de retorno; demuestran la rentabilidad del proyecto planteado, por su capacidad de brindar ganancias a la empresa por sobre los elevados costos de inversión.

VII. RECOMENDACIONES

- Debido a la variabilidad climática de Guatemala, es pertinente realizar investigaciones científicas en diferentes puntos y granjas del país que validen y proporcionen más información sobre sistemas solares fotovoltaicos en explotaciones porcinas.
- Buscar alternativas en tecnología (paneles solares, estructuras y cableado) que satisfagan los requerimientos productivos y demandas del sistema pero ante todo disminuyan la inversión inicial, la cual es un factor determinante en la adopción de sistemas de energía renovables.

VIII. RESUMEN

Factibilidad técnico – económica del uso de paneles solares

fotovoltaicos en una granja porcina.

Palabras clave: Granja porcina, energía renovable, energía solar fotovoltaica, paneles solares.

Se seleccionó una granja porcina tecnificada con excelente ubicación de irradiación solar, innovación continua de sus procesos y que sus costos por factura eléctrica fueran significativos.

La evaluación de cargas en energía eléctrica fue fundamental, sirviendo como punto de partida para el estudio generacional con el objeto de poder cubrir el 100% de la factura eléctrica con energía solar fotovoltaica (59,595.12 kW/h anual).

El presupuesto de equipos arroja valores numéricos correspondientes a: tecnología (136 paneles), materiales y mano de obra necesaria para la puesta en marcha de este sistema el cual tendrá un valor de Q677,776, proyectado para un tiempo de vida de 20.

Este sistema permitirá un ahorro de energía mensual de 4,673 kW/h y dinero ahorrado por año de Q113,276.62.

Bajo el dicho planteamiento los índices financieros: Valor actual neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR) proporcionaron valores de Q253,364.17 y 13% respectivamente. Superando la tasa de rendimiento mínima aceptable establecida previamente de 12%.

El factor VAN presentó valores por arriba de cero (> 0), por lo cual, se espera que este proyecto brinde beneficios en lugar de pérdidas y sea aprobada

su ejecución.

El periodo de recuperación de inversión para el proyecto es de 5.98 años. Tiempo que se encuentra dentro del rango para este tipo de proyectos 5-6 años y muy por debajo del tiempo mínimo de funcionamiento del sistema (20 años).

SUMMARY

Technical - economic feasibility of using photovoltaic solar panels at a pig farm.

Keywords: pig farm, renewable energy, photovoltaic solar energy, solar panels.

A Medium tech pig farm with an excellent location of insolation, continuous innovation of their processes and with significant costs of their electricity bill, was selected.

The evaluation of loads in electrical energy was essential. This works as a starting point for the generational study that would allow us to cover 100% of the electricity bill with photovoltaic solar energy (59,595.12 kW/h annually).

The budget for equipment includes: technology (136 panels), materials and labor required for the implementation of this system, which will cost Q677,776.00 and was designed for a lifetime of 20 years.

This system will allow monthly energy savings of 4,673 kW/h, which means annual savings of Q113,276.62.

Under that approach, the financial indices: Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) provided the results of Q253,364.17 and 13% respectively. Overcoming the minimum acceptable rate of return (MARR), previously established as 12%.

The NPV factor showed values above zero (>0), therefore, this project is expected to provide benefits rather than losses and the approval of its implementation.

The payback period for the project is 5.98 years. This time is between the range for this type of projects (5-6 years) and below the minimum operating time of the implemented system (20 years).

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGER (Asociación de generadores con energía renovable, GT). 2013. Energía renovable (en línea). Consultado 10 oct. 2013. Disponible en www.ager.org.gt/
2. Alatorre, C. 2009. Energías renovables para el desarrollo sustentable en México. Distrito Federal, MX. Forever Print S.A. 70 p.
3. Cox, Janice. 2007. La Producción pecuaria intensiva. Bogotá, Col. Sociedad mundial para la protección animal (WSPA). 49 p.
4. Cruz De la, J. 1982. Clasificación de Zonas Vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, GT. Instituto Nacional Forestal. 42 p.
5. Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el COBAEV 35 Xalapa. Veracruz, MX, Universidad Veracruzana. 172p.
6. Ente Vasco de la Energía. 2009. Energía solar (en línea). Consultado 20 oct. 2013. Disponible en <http://www.eve.es/CMSPages/GetFile.aspx?guid=62739949bde7-4cdc-bcb4-04145ba9b511>
7. Escobar, M. 2008. Estructura de la logística de distribución de una empresa productora de carne porcina en la ciudad de Guatemala. Guatemala, GT, Universidad de San Carlos de Guatemala. 92 p.
8. Hernández, A. 2007. Factibilidad técnico-económica para el establecimiento de una explotación caprina con fines de docencia y producción en la granja de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Guatemala, GT. Univer-

- sidad de San Carlos de Guatemala. 41p.
9. High Technology Waste Treatment. 2012. Situación de la gestión de paneles fotovoltaicos. Madrid, SP. 42p.
 10. INDE (Instituto Nacional de Electrificación, GT). 2013. Energía renovable (en línea). Consultado 30 oct. 2013. Disponible en <http://www.inde.gob.gt/>
 11. Madrid Solar, 2006. Guía de la energía solar. Madrid, SP. Industrias Gráficas El Instalador, S. L. 64p.
 12. Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica/Biomass Users Network (BUN-CA). San José, CR. : Biomass Users Network (BUN-CA).
 13. Martínez. G. 2005. Estrategia y Planificación Financiera. Master Executive Dirección Financiera. Eoi-América / Programa Tical. 88 p.
 14. Merino, L; Mosquera, P. 2006. Energías renovables para todos: Energías renovables. Barcelona, SP. Sacal. 19 p.
 15. Mery, B; Vacarezza, T. (s.f.). Trabajo de investigación “Tendencias actuales de precios y tecnologías en plantas de generación fotovoltaica. Santiago, CH. Pontificia Universidad Católica de Chile. 87p.
 16. Ministerio de Energía y Minas. 2013. Construirán la planta solar más grande del país (en línea). Consultado 10 oct. 2013. Disponible en <http://www.men.gob.gt/2013/09/construiran-la-planta-solar-mas-grande-del-pais/>
 17. Montgomery, R. 1986. Energía Solar: Selección del equipo, instalación y aprovechamiento. Distrito Federal, MX. Editorial Limusa. 295 p.

18. Ola, P. 2010. Análisis de riesgo cualitativo para la identificación de factores vinculados a la potencial ocurrencia de peste porcina clásica en la República de Guatemala. Guatemala,GT. Tesis Lic. Med. Vet. USAC/FMVZ.89 p. Universidad de San Carlos de Guatemala. 89p.
19. Orbegozo, C; Arivilca, R. 2010. Energía Solar Fotovoltaica “Manual Técnico para instalaciones domiciliarias. Deutscher Entwicklungsdienst Lima, (DED). PE. 49 p.
20. Peñate, Moguel, H.S. 2008. Formulación y evaluación de proyectos. Guatemala, GT. Editorial universitaria, USAC. 54p.
21. PCV (2012). Producción de pequeños rumiantes y cerdos, sistemas de producción porcina en la República de Argentina. Facultad de Ciencias Veterinarias. Buenos Aires Argentina, ARG. 24 p
22. Population Reference Bureau. 2012. Cuadro de datos de la población mundial 2012. Washington D.C., US. 20 p.
23. Prensa Libre. 2013. UVG impulsa el uso de energía solar (en línea). Consultado 10 oct. 2013. Disponible en http://www.prensalibre.com/economia/UVG-impulsa-uso-energia-solar_0_553744623.html
24. Puga, M. 2011. VAN y TIR. Santiago de Chile, CH. Universidad Arturo Prat. 4p.
25. Silva, J. 2008. Factibilidad de inversión de un proyecto de producción porcina. Guatemala, GT, USAC. 93 p.
26. Tacza, O. 2011. Energía Solar Fotovoltaico en el Distrito de Orcotuna Región Junin. Lima, PE. 231 p.

27. Valero, D. 2005. Estudio de factibilidad técnico económico financiero para la instalación de una fábrica de bolsas plásticas. Caracas, VZ. 89 p.
28. World Wildlife Fund for Nature. 2012. Informe Planeta Vivo 2012. Artes Gráficas Palermo, s.l. 164 p.

X. ANEXOS

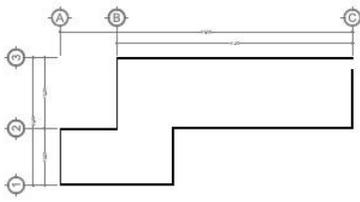
Cuadro No. 11 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica

I. Ventajas	II. Desventajas
-------------	-----------------

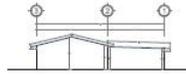
<ul style="list-style-type: none"> -Abundancia de radiación solar en Centroamérica. -La tecnología fotovoltaica permite soluciones modulares y autónomas. -El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo y muy bajo. -Los sistemas fotovoltaicos han experimentado una reducción de precios que cada vez los hace más accesibles. <p>La tecnología de equipos y sistemas fotovoltaicos ha alcanzado un grado de madurez que posibilita su utilización para resolver confiablemente los problemas energéticos de Guatemala.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Distribuidores de equipos fotovoltaicos en Guatemala y países vecinos. -La instalación de los sistemas fotovoltaicos individuales es simple, rápida y sólo requiere de herramientas y equipos de medición básicos. -Marco legal estable y existencia de incentivos legales y fiscales. -Existencia de instituciones de apoyo. -Mercado eléctrico maduro y confiable. -El más bajo costo de electricidad a largo plazo. -Independencia energética y reducción de la factura petrolera. -Energía limpia, no emisión de gases de efecto invernadero además de proveer una imagen verde al país. -Aplicación a grande, mediana y pequeña escala. -Compatible con los programas de electrificación rural. -Periodos de vida arriba de 25 años. 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de experiencia a nivel interno. - Se carece de un inventario confiable de disponibilidad y calidad de recursos. - Se requiere disponer de estudios preliminares para establecer su viabilidad. - La inversión inicial es alta y su costo, son factores que son limitantes. - La disponibilidad de energía es variable y depende de las condiciones atmosféricas.
--	--

Fuente: Elaboración propia

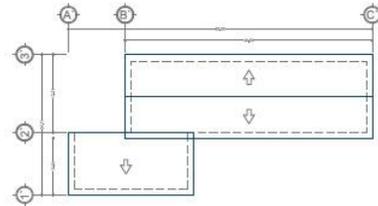
Anexo 1: Planta suelos y techos de las galeras de maternidad y gestación de Granja La Palmera elaboradas en Autocad®, utilizada en el presente estudio.



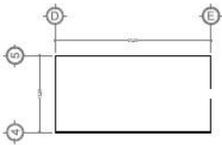
PLANTA GALERA 1



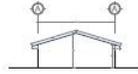
ELEVACION GALERA 1



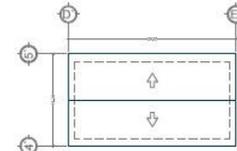
PLANTA DE TECHO GALERA 1



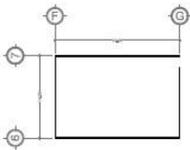
PLANTA GALERA 2



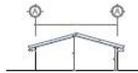
ELEVACION GALERA 2



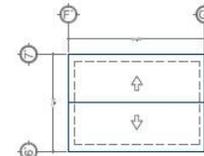
PLANTA DE TECHO GALERA 2



PLANTA GALERA 3



ELEVACION GALERA 3



PLANTA DE TECHO GALERA 3

Anexo 2: Vista exterior de galeras de maternidad y gestación con instalación de paneles solares fotovoltaicos elaboradas en SketchUp®, utilizada en el presente estudio.



Anexo 3: Vista exterior de galeras de maternidad y gestación con instalación de paneles solares fotovoltaicos elaboradas en SketchUp®, utilizada en el presente estudio.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA
FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA DEL USO DE PANELES
SOLARES FOTOVOLTAICOS EN UNA GRANJA PORCINA

f. _____
José Rodrigo Trejo Roldán

f. _____
MSc. Astrid Johana Valladares Areano

ASESOR PRINCIPAL

f. _____
Lic. Zoot. Sergio Antonio Hernández de la

Roca
ASESOR

f. _____
Lic. Zoot. Duglas Ruano García
EVALUADOR

IMPRÍMASE

f. _____
MSc. Carlos Enrique Saavedra Vélez
DECANO