



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN  
HÍBRIDA EÓLICO-FOTOVOLTAICO, PARA EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DE  
POZOS MUNICIPALES, EN EL MUNICIPIO DE PATZICIA, DEPARTAMENTO DE  
CHIMALTENANGO, GUATEMALA**

**José Miguel Ruíz López**

Asesorado por el Ing. Jorge Iván Cifuentes Castillo

Guatemala, enero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN  
HÍBRIDA EÓLICO-FOTOVOLTAICO, PARA EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DE  
POZOS MUNICIPALES, EN EL MUNICIPIO DE PATZICIA, DEPARTAMENTO DE  
CHIMALTENANGO, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ MIGUEL RUÍZ LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. JORGE IVÁN CIFUENTES CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, ENERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilera Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto Padilla González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN HÍBRIDA EÓLICO-FOTOVOLTAICO, PARA EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DE POZOS MUNICIPALES, EN EL MUNICIPIO DE PATZICIA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA**

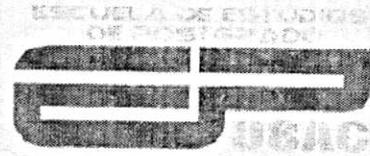
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha.

**José Miguel Ruíz López**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



ADSE-MEAPP-018-2015

Guatemala, 21 de abril de 2016.

Director  
José Francisco González López  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **José Miguel Ruíz López** carné número **2003-13555**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

MSc. Ing. Jorge Ivan Cifuentes Castillo  
Asesor (a)

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

*Jorge Ivan Cifuentes Castillo*  
Máster en Ciencias Ingeniero Mecánico  
Colegiado No. 3413

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
/la

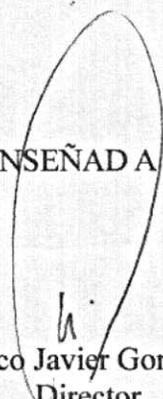


REF. EIME 61.2016.

Guatemala, 4 de OCTUBRE 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN HÍBRIDA EÓLICO-FOTOVOLTAICO, PARA EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DE POZOS MUNICIPALES, EN EL MUNICIPIO DE PATZICIA, DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario **José Miguel Ruiz López,** considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑADA TODOS

  
Ing. Francisco Javier González López  
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Universidad de San Carlos  
De Guatemala

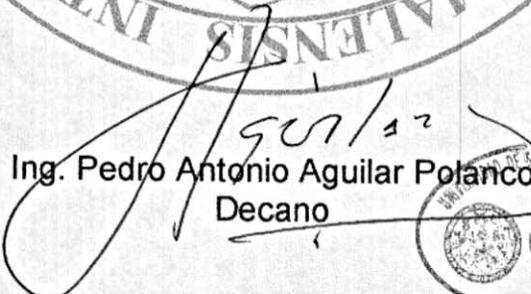


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.D.036.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN HÍBRIDA EÓLICO-FOTOVOLTAICO, PARA EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DE POZOS MUNICIPALES, EN EL MUNICIPIO DE PATZICIA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **José Miguel Ruiz López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, enero de 2017

/cc

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3.1. Descripción del problema .....	7
3.2. Delimitación del problema .....	8
4. JUSTIFICACIÓN .....	9
5. OBJETIVOS .....	11
5.1. Objetivo general .....	11
5.2. Objetivos específicos.....	11
6. ALCANCES .....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Energía renovable fotovoltaica .....	15
7.1.1. Radiación solar .....	15
7.1.2. Irradiancia y constante solar .....	15
7.1.3. Efecto fotovoltaico .....	16
7.1.4. Células fotovoltaicas.....	16
7.2. Energía renovable eólica .....	20

7.2.1.	Energía eólica .....	20
7.2.2.	El viento, su frecuencia y distribución .....	21
7.2.3.	Potencia del viento .....	22
7.2.4.	Conversión de la energía eólica .....	22
7.2.5.	Clasificación de los aerogeneradores .....	23
7.2.6.	Bomba hidráulica.....	25
7.2.7.	Sistemas híbridos de generación eléctrica .....	29
8.	PROPUESTA ÍNDICE .....	33
9.	METODOLOGÍA .....	35
9.1.	Tipos de investigación.....	35
9.2.	Metodología .....	36
9.2.1.	Segunda fase (Recopilación de datos de campo e investigación documental).....	36
9.2.2.	Tercera fase (Estudio técnico).....	37
9.2.3.	Cuarta fase (Estudio económico) .....	41
9.2.4.	Quinta fase (Análisis e interpretación de resultados).....	44
9.3.	Técnicas de análisis de información.....	45
10.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	49

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Sistema autónomo fotovoltaico .....	18
2.	Conversión de energía eléctrica.....	23
3.	Partes del aspa .....	24
4.	Molino de eje vertical.....	25
5.	Clasificación de las bombas .....	26
6.	Bomba sumergible .....	29
7.	Sistema híbrido eólico .....	31

### TABLA

I.	Sistema de extracción de agua .....	38
II.	Radiación promedio .....	38
III.	Velocidad de viento .....	39
IV.	Planta híbrida eólico-fotovoltaica.....	42
V.	Cronograma de actividades .....	46
VI.	Presupuesto .....	47



# 1. INTRODUCCIÓN

En las municipalidades de los departamentos de Guatemala, es de vital importancia el uso de sistemas de extracción de agua de pozo para abastecerse del vital líquido y ser utilizado por las municipalidades, a beneficio de los habitantes en diverso usos. Si bien son comunes los sistemas de extracción a base de combustibles fósiles y sistemas de extracción tradicionales de energía eléctrica, se busca implementar tecnologías basadas en energías renovables, como la energía eólica y solar, esto con el fin de fomentar el uso de alternativas que colaboren al medio ambiente y a su vez beneficien a las municipalidades, reduciendo el costo asociado a los sistemas de extracción con combustibles fósiles y a los sistemas de extracción de energía eléctrica, reduciendo así la tarifa por facturación de energía.

Para ello se investigará el consumo de energía eléctrica por parte de los sistemas de extracción de agua en los pozos, con la finalidad de diseñar una planta con la capacidad de poder suministrar la energía requerida por los sistemas de extracción de agua (bombas, sistemas auxiliares y sistemas de iluminación), basado en la recopilación de datos relevantes para el diseño, como la radiación solar y viento solar de la zona, por último, determinar con base a indicadores de rentabilidad el tiempo de recuperación de la inversión del diseño de la planta híbrida eólica-fotovoltaica.

La metodología se efectuará en cinco capítulos: Recopilación bibliográfica e investigación documental, recopilación de información de campo, diseño de la planta híbrida eólica-fotovoltaica, estudio financiero y análisis e interpretación de resultados.

Para el primer capítulo se hará el levantamiento de información bibliográfica concerniente al aprovechamiento de energía eólica y energía solar, la cual será de utilidad para la propuesta del diseño de la planta híbrido eólico-fotovoltaico.

Para el segundo capítulo, se recopilará información general del área de estudio (Municipio de Patzicia, Chimaltenango donde se hará la recolección de información de datos como: Especificaciones técnicas de los sistemas de extracción de agua (bombas, sistemas auxiliares y sistemas de iluminación), tarifa eléctrica, consumo energético de las bombas (eléctrico/diésel), localización de pozos, distancias entre pozos, optimización del lugar a montar planta híbrida, base de datos de radiación solar y velocidades de viento de diferentes fuentes (Ministerio de Energía y Minas, INSIVUMEH).

Para el tercer capítulo, se procederá a la evaluación técnica de la planta híbrida eólica fotovoltaica con recopilación de campo y bibliográfica realizada en los capítulos anteriores.

En el cuarto capítulo, se llevará a cabo la evaluación económica, para lo cual se efectuarán un cuadro de costos, que involucre el suministro, montaje, pruebas a equipos, puesta en servicio, mantenimiento y gastos indirectos que conllevaría la ejecución del mismo. Todo esto con el fin de hacer una evaluación financiera por medio de indicadores de rentabilidad.

Por último, se hará el análisis de los resultados obtenidos en los distintos capítulos y se interpretaran los resultados obtenidos.

Por lo que se espera aportar con el estudio técnico y económico, una posible solución, que contribuirá a la municipalidad de Patzicia Chimaltenango a

reducir costos y fomentar el uso de energías alternativas renovables de beneficio al ambiente.



## 2. ANTECEDENTES

En Guatemala el aprovechamiento de la energía fotovoltaica es en su mayoría a nivel doméstico para iluminación y consumo de muy baja potencia, mientras que el aprovechamiento de energía eólica es para uso de bombas de agua e iluminación. Según Giron M. (2005), al año 2002 se tienen en Guatemala instalados 2,972 sistemas fotovoltaicos en 77 comunidades y 11 departamentos, en tanto que no se tiene un estimado para el aprovechamiento de la energía eólica a nivel domiciliar.

En Guatemala el uso de sistemas fotovoltaicos a escala menor para beneficio de comunidades es una realidad palpable.

En el año 2008, se llevó a cabo proyectos de suministro e instalación de 140 sistemas fotovoltaicos para iluminación. Las comunidades beneficiadas según MEM. (2014), son las siguientes: Caserío Chitomax, aldea Los Pajales, municipio de Cubulco, departamento de Alta Verapaz, con 49 sistemas instalados, El Palmar, municipio de Rabinal, Baja Verapaz, con 36 sistemas instalados y Carchelá, municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, con 55 sistemas instalados, sumando en total una inversión de Q721,110, ejecutándose con fondos propios de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas.

Figuroa O. (2014), refiere en un artículo de Prensa Libre, se llevó a cabo un programa con el fin de beneficiar a las aldeas de Xeputul 1 y 2, y Tzibanay, en San Juan Cotzal, Quiche, mediante la instalación de paneles solares para beneficiar a un centenar de familias y su vez electrificar escuelas y un templo

católico de la aldea Xeputul. Según ENEL. (2014), este proyecto beneficio a las abuelas del lugar, capacitándolas en paneles fotovoltaicos en India, esto con el fin de poder dar el respectivo mantenimiento al sistema fotovoltaico y este pueda brindar el beneficio durante el estimado de su vida útil.

Por otro lado Cardona O. (2011), menciona en un artículo de Prensa Libre, que en la aldea Llano Grande, Chiquimulilla del departamento de Santa Rosa, se ha beneficiado a setenta y siete familias. Estas gozan de los beneficios de la energía eléctrica, luego de la instalación de un sistema de paneles solares gestionada por el Consejo Departamental de Desarrollo (Codede), y que tuvo un costo de Q490,628, aportados por el Gobierno.

Según CODEDE. (2011), en el departamento de Santa Rosa se benefició a 188 familias con proyectos de electrificación mediante sistemas de paneles fotovoltaicos. Entre los más destacados están los siguientes: “Instalación Sistemas Fotovoltaicos, Aldea San Juan Monte Real, Taxisco, Santa Rosa. Cuilapa, Santa Rosa” beneficiando 50 familias con un costo de Q366, 315, “Instalación Sistemas Fotovoltaicos, Caserío Linda Vista, San Juan Tecuaco. Cuilapa, Santa Rosa” beneficiando 48 familias con un costo de Q351, 663 y “Instalación Sistemas Fotovoltaicos, Aldea Talpetate, Victorias, Cintular, Taxisco. Cuilapa, Santa Rosa” beneficiando a 90 familias con un costo de Q769, 261.

Sin embargo, en Guatemala no se tiene documentado ningún sistema eólico a pequeña escala y tampoco un sistema hibrido eólico-fotovoltaico para extracción de agua de pozo, por ende este trabajo de investigación resulta ser de mucho valor que aportar, para la implementación de sistemas de este tipo a nivel de municipalidad.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Descripción del problema**

Unas de las principales dificultades que afrontan las municipalidades en Guatemala es el bajo presupuesto que les es asignado.

Según Alegria J. (2006), afirma: El presupuesto municipal expresa de manera formal, escrita y planificada, los ingresos que la municipalidad considera que podrá obtener y los gastos o egresos que estima realizar en el mismo periodo. El presupuesto municipal contiene decisiones políticas relativas a ingresos y gastos municipales.

Una parte del recurso financiero asignado se destina para cubrir el costo asociado a los sistemas de extracción de agua de pozo municipal, con sistemas tradicionales conectados a la red de distribución de energía eléctrica, en el caso de Patzicia, Chimaltenango DEOCSA.

Paralelamente se tienen sistemas de extracción de agua de pozo municipal a base de combustibles fósiles, teniendo los inconvenientes de costo de mantenimiento y costos de operación de estos sistemas.

Juntamente el costo de operación tanto para los sistemas de extracción de agua de pozo municipal como los sistemas a base de combustibles fósiles, es de suma importancia en el presupuesto municipal de Patzicia Chimaltenango.

### **3.2. Delimitación del problema**

Se hará énfasis en el estudio de factibilidad técnico-económico de una sola planta híbrida eólico-fotovoltaico, basándose según información recopilada (Bomba de mayor consumo, distancia entre pozos, ubicación de los pozos).

- Pregunta central
  - ¿Será factible técnica y económicamente, la implementación de una planta híbrida eólica-fotovoltaica que pueda suministrar la energía requerida para los sistemas de extracción de agua de pozos municipales de Patzicía, Chimaltenango?
  
- Preguntas auxiliares
  - ¿Se contará con la suficiente radiación solar y velocidades de viento para generar la potencia requerida para los sistemas de extracción de agua de pozo?
  
  - ¿Cuál es el monto de inversión de la planta híbrida eólico-fotovoltaico?
  
  - ¿Cuál es el lapso en años, para recuperar la inversión?

## 4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de protocolo de trabajo de graduación, se rige bajos los requerimientos de investigación de la Maestría de Energía y Ambiente de la Escuela de Postgrado de la Universidad San Carlos de Guatemala, bajo el lineamiento de energía renovable y no renovable.

De León, H. (2008), menciona que las empresas eléctricas a nivel regional y nacional no están en capacidad de suministrar suficiente energía para sus clientes y además hay un desabastecimiento de energía eléctrica en zonas rurales por falta de instalaciones.

Por la razón antes mencionada es de suma importancia el fomento del uso de fuentes de energía renovable como la eólica y fotovoltaica en zonas rurales, incentivando así al uso de energías provenientes de fuentes renovables como la generación fotovoltaica y eólica.

Por ende, la propuesta de un diseño híbrido eólico-fotovoltaico es en parte una solución para el municipio de Patzicia Chimaltenango, respecto a la creciente demanda energética. Por otra parte, se tendrá como beneficio el ahorro en la facturación de energía eléctrica, por el consumo de los sistemas de extracción de aguas de pozos municipales, beneficiando de esta manera a la municipalidad del municipio de Patzicia, Chimaltenango, y así mismo al pueblo de Patzicia Chimaltenango, porque se tendrán más recursos disponibles y opciones para el desarrollo integral del pueblo.



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

Evaluar la factibilidad técnica y económica en la implementación de un diseño híbrido eólico-fotovoltaico autónomo de generación eléctrica, para suministrar energía a un sistema de extracción de agua de pozo del municipio de Patzicía, Chimaltenango.

### **5.2. Objetivos específicos**

1. Determinar los niveles promedio de radiación solar y velocidad de viento que se registran en la zona, para generar la suficiente potencia requerida por los sistemas de extracción de agua de pozo.
2. Determinar con base a un estudio económico, el monto de la inversión de la planta híbrida eólica-fotovoltaica.
3. Determinar el tiempo de retorno de la inversión con base a un estudio económico.



## 6. ALCANCES

El alcance del presente trabajo de investigación se limita al estudio de factibilidad técnico y económico de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para un pozo en el Municipio de Patzicia, Chimaltenango, con amplios beneficios en diferentes áreas siendo estas las siguientes:

- La municipalidad por ahorro en la tarifa por consumo de energía eléctrica, debido a los sistemas de extracción de aguas de pozo.
- Estudiantes de las distintas ramas profesionales que estén relacionadas con los proyectos de energías renovables, para que tengan la capacidad de analizar de forma clara y objetiva la importancia de utilizar recursos renovables energéticos en Guatemala.
- Proyectos de investigación de la Escuela de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala y de otras instituciones relacionadas con el tema.
- Estudios de factibilidad técnicos y económicos de sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos.

Teniendo claro que el estudio de factibilidad técnico y económico no se hará para todos los pozos, si no limitándose a un solo pozo que tenga la mayor importancia técnica y económica.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Energía renovable fotovoltaica**

A continuación se describe la energía renovable fotovoltaica.

#### **7.1.1. Radiación solar**

“La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias” (Herrera, 2011, pág. 15).

Dicho en otras palabras, la radiación solar es una fuente renovable e inagotable de energía, disponible para proyectos fotovoltaicos.

Según mapa solar del Ministerio de Energía y Minas actualizado a diciembre del 2014, en el municipio de Patzicia, del departamento de Chimaltenango, la radiación solar es de aproximadamente 5.8Kw/m<sup>2</sup>, lo que es un dato positivo en cuanto a la generación de energía fotovoltaica que se puede obtener en el municipio.

#### **7.1.2. Irradiancia y constante solar**

Gonzales, A. (2009), hace mención que la radiación emitida por nuestro Sol en todas las direcciones es captada parte de esa radiación por la Tierra, de manera que puede establecerse una magnitud llamada constante solar, GSC, como energía por unidad de tiempo y unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación, para la distancia media entre el Sol y

la Tierra. El valor de la constante solar puede estimarse asumiendo el Sol como un cuerpo negro a una temperatura de 5.762 K; se obtiene un valor de la constante solar de 1.359 W/m<sup>2</sup>, experimentalmente se permite aceptar un valor de 1.353 W/m<sup>2</sup>.

En horas pico de un día despejado y que el panel solar esté dispuesto a una inclinación y orientación adecuadas, la irradiancia en el mismo puede ser aproximadamente de 1 kW/m<sup>2</sup>, pero incluso en esas condiciones ideales no se puede esperar obtener más de 150 W de potencia eléctrica neta en un panel de 1 m<sup>2</sup> de superficie.

### **7.1.3. Efecto fotovoltaico**

Gonzales, A. (2009), resalta el hecho en que la luz incidente (radiación electromagnética) y los fotones transmiten energía a los electrones del semiconductor, algunos de estos electrones atravesarán el muro de potencial, siendo lanzados fuera del semiconductor formándose una corriente eléctrica. A todo este proceso en el cual se genera una corriente eléctrica se le llama efecto fotovoltaico, el cual es el principio fundamental en el que se basa la generación de energía fotovoltaica.

### **7.1.4. Células fotovoltaicas**

Uno de los fundamentos básicos para la generación de energía fotovoltaica es la tecnología con que están hechos las células fotovoltaicas, que a su vez forman parte de los paneles solares.

Domínguez, H. (2012), hace mención que la evolución de la tecnología fotovoltaica se aprovecha haciendo uso de materiales sólidos, más

puntualmente los semiconductores como el silicio y germanio, en donde se ha encontrado una eficiencia dentro de los límites tolerables para la conversión de energía luminosa o eléctrica.

A continuación se detalla los tipos de células fotovoltaicas:

- Silicio mono cristalino

Como su nombre lo indica, este tipo de células fotovoltaicas están hechas de un solo cristal de silicio de alta pureza. Según Domínguez, H. (2012), las células de silicio monocristalino tienden a tener una eficiencia del 18% y algunos fabricantes garantizan una vida útil de hasta 25 años.

- Silicio poli cristalino

Las células fotovoltaicas de silicio poli cristalino están hechas de varios cristales de silicio, se caracteriza por un color azul más intenso que las células monocristalinas. Según Domínguez, H. (2012), las células de silicio policristalino tienden a tener una eficiencia del 14% y algunos fabricantes garantizan una vida útil de hasta 20 años, teniendo como ventaja menor costo a las células monocristalinas.

- Silicio amorfo

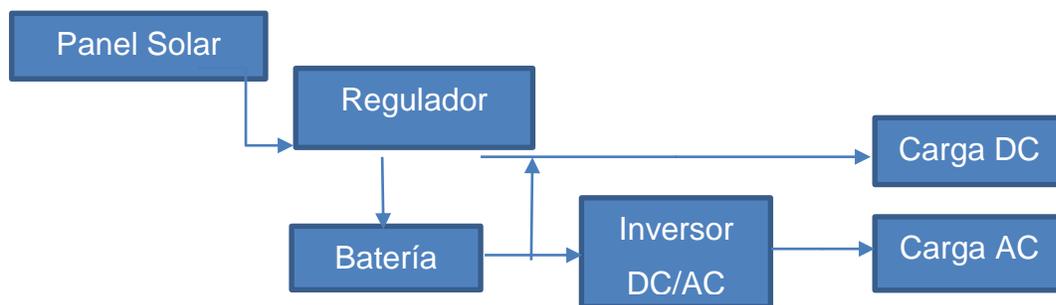
Ese tipo de células se usan son las que se utilizan en relojes y calculadoras. La palabra amorfo significa carencia de estructura geométrica es decir el silicio no se ha cristalizado. Según Domínguez, H. (2012), en la actualidad su eficiencia ha subido hasta establecerse en el rango promedio de 8% y promete incrementarse.

Si bien todos los tipos de células son bastante usados, en el área de generación fotovoltaica las células monocristalinas y policristalinas son las comúnmente usadas, sin embargo tomando en cuenta que es para beneficio de la municipalidad de Patzicia, del departamento de Chimaltenango, se inclinaría la balanza en cuanto a tecnología policristalina.

- **Sistemas fotovoltaicos autónomos**

Un sistema fotovoltaico autónomo no es más que un sistema aislado de la red eléctrica que funciona independientemente. Domínguez, H. (2012) lo describe como un sistema que tiene una total autonomía energética y estos principalmente se desarrollan en sitios que por motivos económicos y técnicos, no es viable construir una red de distribución eléctrica, por lo que la mejor opción es un sistema autónomo fotovoltaico.

Figura 1. **sistema autónomo fotovoltaico**



Fuente: elaboración propia.

Un sistema fotovoltaico autónomo es ideal para lugares sin acceso a tendido eléctrico, por lo cual es una alternativa efectiva para un sistema para extracción de agua de pozo municipal, teniendo en cuenta que los pozos en los

municipios están en lugares distantes donde es imposible el tendido eléctrico y por lo general las bombas existentes son a base de combustibles fósiles.

Un sistema fotovoltaico autónomo está conformado principalmente por: paneles solares, regulador, acumuladores e inversor.

- Panel Solar

Los paneles solares: son módulos conformados en serie por células fotovoltaicas hechas de silicio policristalino, silicio monocristalino o silicio amorfo como se describió anteriormente.

La función principal del panel: es captar la energía disipada por el sol en forma de ondas electromagnéticas y por medio de las células fotovoltaicas convertirlas en energía eléctrica.

- Regulador

Un regulador de voltaje es un equipo fundamental en los sistemas fotovoltaicos autónomos. Según Cruz, E. (2010), este equipo se encarga de regular la tensión y corriente generado por los paneles hacia las baterías y de igual manera de las baterías hacia los receptores (Cargas).

- Sistema de almacenamiento

Un sistema de almacenamiento no es más que un conjunto de acumuladores o baterías, que se conectan en serie para suministrar mayor tensión o en paralelo para suministrar mayor corriente. La configuración en que se conecten dependerá de las exigencias y los requerimientos del sistema. De León, H. (2008),

nos aclara que la energía que podría almacenar una batería está directamente relacionada a su capacidad que se mide en A/h.

- Inversor  
Prado, C. (2008), lo describe como un sistema electrónico de conmutación que convierte la corriente directa en corriente alterna.
- El inversor es un equipo indispensable en los sistemas fotovoltaicos, debido a que por lo general las cargas que deseamos alimentar son cargas en corriente AC, por tal motivo este es un equipo intrínseco en los sistemas fotovoltaicos tradicionales.

Todos estos equipos descritos anteriormente son los que conforman un sistema autónomo fotovoltaico. Cabe resaltar que es de vital importancia conocer el espacio con el que se cuenta para calcular el área disponible, y así poder estimar la cantidad de paneles a instalar, obteniendo de esta manera la potencia que se podría generar. De igual manera se estaría dimensionando el banco de baterías y el inversor en base a la capacidad del sistema y los requerimientos de diseño.

## **7.2. Energía renovable eólica**

A continuación se describe la energía renovable eólica.

### **7.2.1. Energía eólica**

Gonzales, A. (2009), define la energía eólica, como una energía cinética de una masa de aire en movimiento. El origen de estas masas de aire está

relacionado a la intensidad de radiación solar proveniente de nuestro sol, las cuales producen corrientes ascendentes y descendentes que forman esta circulación de masas de aire.

Según mapa eólico del Ministerio de Energía y Minas actualizado a diciembre del 2014, en el municipio de Patzicia, del departamento de Chimaltenango, la velocidad del viento es de aproximadamente 5.6 a 6.4 m/s, lo que es un dato positivo en cuanto a la generación de energía eólica que se puede obtener en el municipio.

### **7.2.2. El viento, su frecuencia y distribución**

Para poder aprovechar con mayor eficiencia la energía cinética obtenida del viento, no basta con conocer solo la velocidad promedio, se debe conocer las velocidades de viento y los intervalos de duración de estos. Esto es a lo que Perdomo, P. (2009), denomina la distribución de frecuencia de las velocidades de viento.

La velocidad y dirección del viento no son constantes y tienden a ser variables durante el día, en diferentes alturas, diferentes meses del año y aun en diferentes años, por lo que contar con un historial de la frecuencia y distribución del viento, es fundamental para poder predecir la potencia que se podría esperar con un sistema de generación eólico. Para ser capaz de calcular el contenido de energía del viento en determinado lugar, es de vital importancia calcular potencia promedio.

### 7.2.3. Potencia del viento

Perdomo, P. (2009), calcula la potencia por medio de la siguiente expresión:

$$P=1/2 \times m \times v^2$$

P = potencia

m = masa;  $m = \rho Av$

$\rho$  = densidad del aire

A = Área (m<sup>2</sup>)

v = velocidad (m/s)

Sustituyendo  $\rho Av$  por m se obtiene:

$$P=1/2 \times \rho Av \times v^2$$

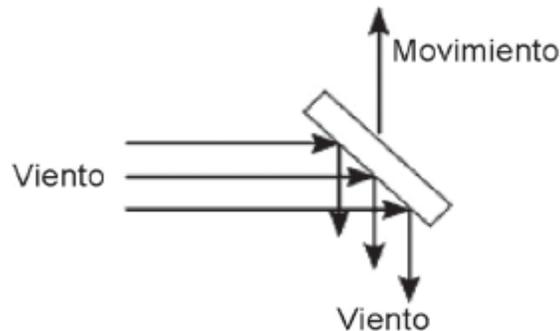
Que finalmente queda de la siguiente forma:

$$P=1/2 \times \rho A \times v^3$$

### 7.2.4. Conversión de la energía eólica

Perdomo, P. (2009), resalta el hecho de aprovechar y generar energía eléctrica utilizando como fuente renovable el viento, esta tiene que ser captada y transformada de cinética a eléctrica. Esto se lleva a cabo por medio de una turbina, la cual gira debido al viento que choca en las aspas de la turbina, haciendo girar el eje de un generador que a su vez produce energía eléctrica.

Figura 2. **Conversión de energía eléctrica**



Fuente: Perdomo, (2012, pág. 9).

### 7.2.5. **Clasificación de los aerogeneradores**

Aunque hay varias formas de clasificar los aerogeneradores, estos son mayormente clasificados en aerogeneradores de eje horizontal y de eje vertical, en función de su eje de rotación:

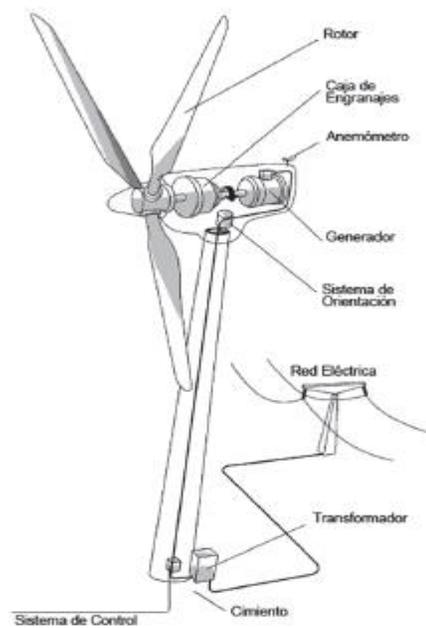
- Aerogeneradores de eje horizontal

Los aerogeneradores de eje horizontal son los más comunes y más utilizados. Deben mantenerse en posición paralela al viento, lo que exige una orientación previa, de modo que incida sobre las palas y haga girar el eje. Herrera, V. (2011), los aerogeneradores se clasifican en:

- De baja o media potencia (0-50 kW): Estos aerogeneradores tienen bastantes aspas y son utilizadas por lo general en áreas rurales para viviendas.

- De alta potencia (más de 50 kW): Tienden a tener por lo general tres aspas de perfil aerodinámico, pero también suelen haber de cuatro aspas. Necesitan vientos de más de 9 m/s.

Figura 3. **Partes del aspa**



Fuente: Perdomo, (2012, pág. 24).

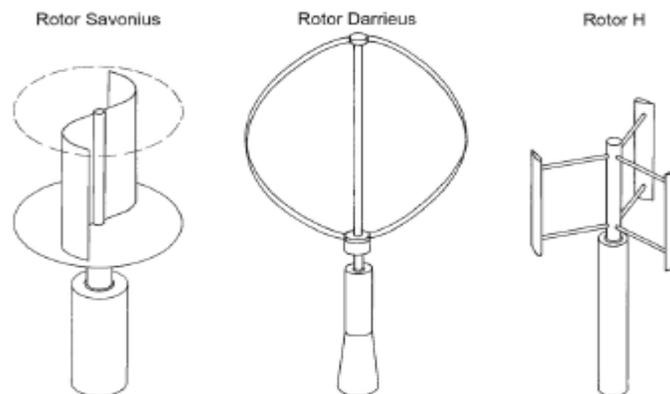
- Molinos de eje vertical.

Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección.

Herrera, V. (2011), resalta el hecho que el desarrollo tecnológico esta menos avanzado que el de eje horizontal y su uso es escaso, aunque tiene

perspectivas de crecimiento. No necesitan orientación y ofrecen menos resistencia al viento.

Figura 4. **Molino de eje vertical**



Fuente: Perdomo, (2012, pág. 26).

### 7.2.6. **Bomba hidráulica**

- Definición

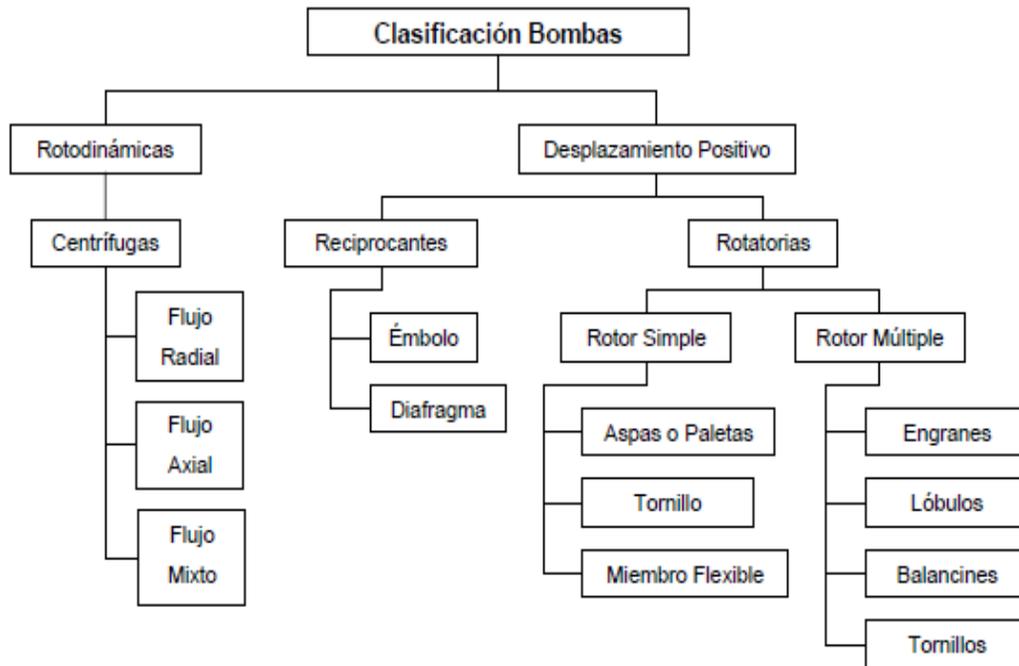
“Es un dispositivo mecánico usado para mover fluidos de una presión baja a una presión alta”. (Pineda, 2009, pág. 4).

Una bomba hidráulica es una máquina electromecánica que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Por lo general, el uso de una bomba hidráulica se usa para aumentar la presión en un líquido agregando energía al sistema hidráulico, para trasladar el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

- Clasificación

Según Pineda, (2009), las bombas se clasifican en dos grandes grupos, bombas rotodinámicas y bombas de desplazamiento positivo. En la siguiente ilustración se apreciará claramente la clasificación de las bombas.

Figura 5. **Clasificación de las bombas**



Fuente: Pineda, (2009, pág. 4).

Es importante resaltar que para sistemas de extracción de agua en pozos o nacimientos, la clase de bombas a utilizar son bombas centrifugas.

- Bombas Centrifugas

La bomba centrífuga, también llamada bomba roto dinámica, es hoy en día la bomba de mayor uso y más utilizada para bombear líquidos en general. Según Avendaño, (2009), las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente rodete.

Las bombas centrífugas se clasifican de la siguiente manera:

- “Bomba de carcasa seleccionada
- Bomba monobloc
- Bomba de doble aspiración
- Bomba axial
- Bomba horizontal de múltiples escalonamientos
- Bombas verticales de múltiples escalonamientos
- Bombas de pozo profundo
- Bombas sumergibles
- Motor de gasolina o Diésel” (Avendaño, 2009, pág. 11).

De todos los tipos de bombas centrífugas que existen, la más usada para la extracción de agua ya sea de pozo o de un nacimiento, son las bombas sumergibles.

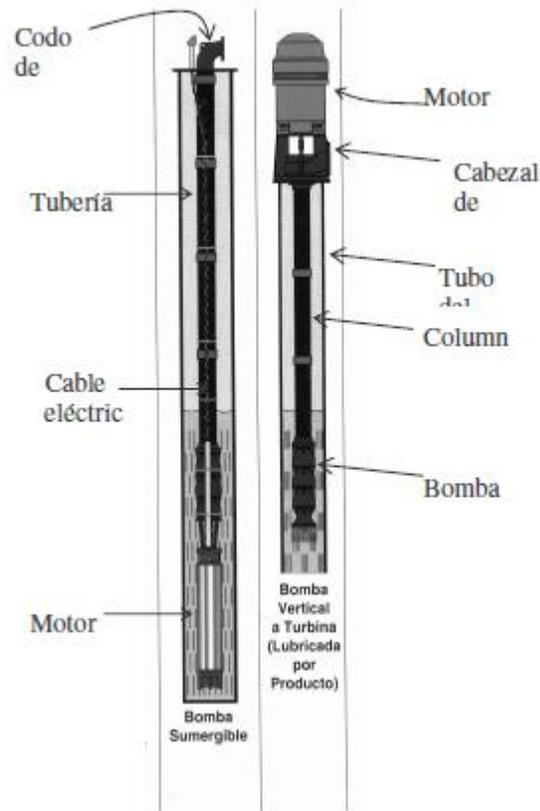
- Bombas sumergibles

Para el caso de los sistemas de extracción de agua en pozos, ha sido necesario construir un tipo especial de bombas para este caso, por ello se inventaron las bombas sumergibles. Una bomba sumergible es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. Avendaño, (2009), resalta el hecho que estas bombas permiten la extracción de agua sin la construcción del pozo ancho convencional, pues basta una perforación de diámetro suficiente para introducir la bomba.

Zelada, (2005, pág. 28), clasifica las partes de una bomba sumergible se clasifican de la siguiente manera:

- “El motor eléctrico con el cabezal y engranaje (este último solo si es necesario),
- La columna, la cual, comprende el eje de transmisión con sus cojinetes y tubo de conducción,
- La bomba, o juego de tazones e impulsores, y
- El tubo de succión y coladera”. (Zelada, 2005, pág. 28)

Figura 6. **Bomba sumergible**



Fuente: Zelada, (2005, pág. 28).

### 7.2.7. **Sistemas híbridos de generación eléctrica**

- Definición

“Un sistema de energía renovable híbrido, es un sistema en el cual dos o más fuentes de energía renovable (solar, eólica, térmica, hidráulica, combustión) se integran para proveer electricidad o calor o ambos, a la misma demanda.” (Herrera, 2011, pág. 33).

Un sistema híbrido es una opción ideal en lugares con aprovechamiento de dos fuentes de energía renovable, ya que de haber un déficit en alguna fuente, se tiene disponible otra fuente de energía disponible, por lo cual este tipo de sistemas de una u otra manera siempre podrá generar energía eléctrica para el consumo.

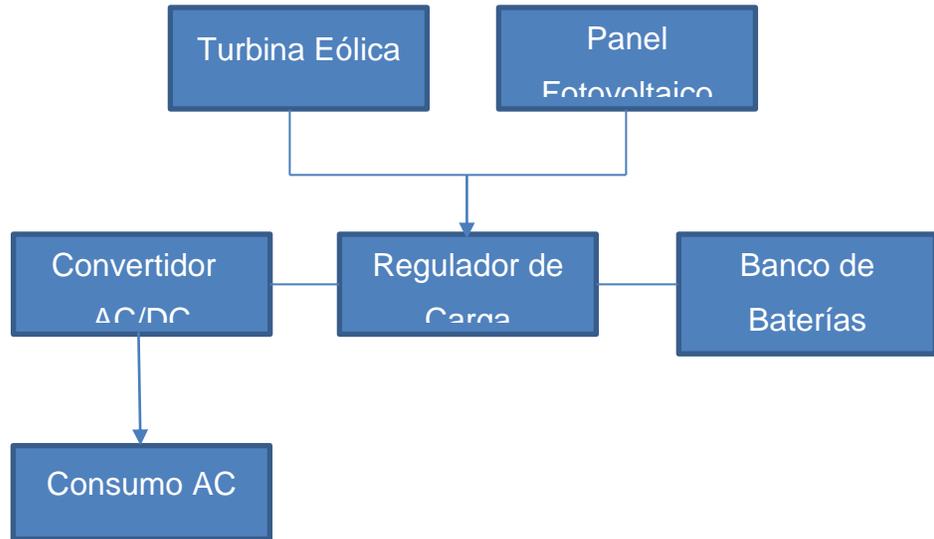
- Sistema híbrido eólico-fotovoltaico

Un sistema híbrido eólico-fotovoltaico es el que se basa de fuentes de energía provenientes del sol y del viento.

Esta posibilidad se contempla, cuando en el lugar de estudio hay presencia de radiación solar y viento. Estas condiciones son privilegiadas en algunos lugares mas no en todos, por lo que es necesario contar con mapas solares y de viento antes de decidir una de estas opciones.

Los sistemas híbridos son poco común, sin embargo es un sistema que optimizan las mejores condiciones del viento y el sol, complementándose entre sí y garantizado el suministro de energía en el lugar que se destine instalar un sistema híbrido eólico fotovoltaico.

Figura 7. Sistema híbrido eólico



Fuente: elaboración propia.



## 8. PROPUESTA ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	I
ÍNDICE DE TABLAS.....	II
LISTA DE SÍMBOLOS.....	III
GLOSARIO.....	IV
RESUMEN.....	V
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	VI
OBJETIVOS.....	VII
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	IX

### 1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Energía eólica
- 1.2. Energía fotovoltaica
- 1.3. Sistemas de extracción de agua
- 1.4. Sistemas híbridos

### 2. TRABAJO DE CAMPO

- 2.1. Información del municipio
- 2.2. Ubicación geográfica
- 2.3. Demografía
- 2.4. Datos energéticos
- 2.5. Información técnica
- 2.6. Radiación solar
- 2.7. Velocidad de viento
- 2.8. Ubicación de bombas

2.9. Consumo energético bombas

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Consumo energético

3.2. Tarifa eléctrica

3.3. Radiación promedio

3.4. Viento promedio

3.5. Diseño planta híbrida

### 4. ESTUDIO ECONÓMICO

4.1. Equipo a utilizar

4.2. Mano de obra

4.3. Costos

4.4. Indicadores económicos

### 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis Técnico

5.2. Análisis Económico

### 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Discusión estudio técnico

6.2. Discusión estudio económico

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

## 9. METODOLOGÍA

### 9.1. Tipos de investigación

El presente trabajo de investigación será cuantitativo y tendrá dos tipos de investigación. Por un lado será descriptiva, ya que se estarán recopilando valores de radiación solar y viento en las distintas entidades para obtener un promedio de los valores de radiación solar y viento. Por otro lado será correlacional ya que con los promedios de radiación solar y viento se estará relacionado con la potencia que se podría generar en base a los valores de radiación solar y viento.

- Variables e indicadores
- Ubicación de la planta.
- Indicador: latitud, longitud, distancia entre pozos.
- Radiación solar.
- Indicador: W/m<sup>2</sup> (Watts por metro cuadrado de radiación solar).
- Velocidad de viento.
- Indicador: M/s (Metros por segundo de velocidad de viento).
- Potencial energético.
- Indicador: W (Watts de potencia generados por planta híbrida).
- Análisis financiero
- Indicador: TIR (Taza interna de retorno).
- Indicador: VAN (Valor presente neto).
- Indicador: B/C (Relación beneficio/costo).
- Diseño de investigación

El diseño de investigación del presente trabajo, es una investigación no experimental, ya que las variables no serán manipuladas por el investigador y los datos serán recolectados por el investigador en las instituciones encargadas de recolectar las mediciones de las variables de interés, que serán necesarias para el presente trabajo de investigación.

## **9.2. Metodología**

Primera fase (Investigación bibliográfica): En esta primera fase de la investigación es necesario profundizar la investigación y para ello se desarrollarán todos los temas relacionados a la investigación los cuales serán fundamentales para la fase de evaluación técnica y económica, entre los temas que se desarrollaran serán los siguientes:

- Energía eólica.
- Energía fotovoltaica.
- Sistemas de extracción de agua (Bombas).
- Sistemas híbridos (eólico-fotovoltaico).
- Indicadores financieros.

### **9.2.1. Segunda fase (Recopilación de datos de campo e investigación documental)**

Como segunda fase, se investigará todo lo concerniente al municipio de Patzicia, Chimaltenango y en entidades gubernamentales realizando un levantamiento recopilando la siguiente información:

- Ubicación.
- Coordenadas.

- Extensión territorial.
- Altura sobre el nivel del mar.
- Colindancias.
- Estructura espacial.
- Condiciones atmosféricas.
- Humedad relativa.
- Presión atmosférica.
- Nubosidad.
- Radiación solar.
- Velocidad del viento.

Consumo de energía eléctrica de los sistemas de extracción de agua de pozo.

- Ubicación geográfica de los pozos municipales.
- Distancias entre pozos municipales.

### **9.2.2. Tercera fase (Estudio técnico)**

En esta fase de la investigación, se procederá a realizar los siguientes pasos:

Determinar el consumo y tarifa eléctrica de los sistemas de extracción de los diferentes pozos municipales en día, mes y año.

- Determinar el consumo y tarifa eléctrica de los sistemas de extracción de los diferentes pozos municipales en día, mes y año.

Tabla I. Sistema de extracción de agua

SISTEMA DE EXTRACCION DE AGUA						
Pozo	Potencia	Consumo energético día Kw/h	Tarifa Energía	Gasto Día	Gasto Mes	Gasto Año
			<b>TOTAL</b>			

Fuente: elaboración propia.

- Recopilar base de datos sobre las radiaciones solares promedio para el sector con entidades gubernamentales.

Tabla II. Radiación promedio

RADIACIÓN PROMEDIO			
MES	Radiación solar W/m <sup>2</sup> (MEM)	Radiación solar W/m <sup>2</sup> (INSIVUMEH)	Radiación solar W/m <sup>2</sup> (OTROS)
Enero			
Febrero			
Marzo			
Abril			
Mayo			
Junio			
Julio			
Agosto			
Septiembre			
Octubre			
Noviembre			
Diciembre			

Fuente: elaboración propia.

- Recopilar base de datos del el viento promedio para el sector, con entidades gubernamentales.

Tabla III. **Velocidad de viento**

<b>VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO</b>			
<b>MES</b>	<b>Velocidad de viento m/s (MEM)</b>	<b>Velocidad de viento m/s (INSIVUMEH)</b>	<b>Velocidad de viento m/s (OTROS)</b>
Enero			
Febrero			
Marzo			
Abril			
Mayo			
Junio			
Julio			
Agosto			
Septiembre			
Octubre			
Noviembre			
Diciembre			

Fuente: elaboración propia.

- **Diseño hibrido planta eólico-fotovoltaica**
  - **Diseño fotovoltaico:** Para el diseño fotovoltaico se desarrollarán los siguientes pasos:
    - Cálculo de la energía consumida por día.
    - Selección de las horas pico para la aplicación.
    - Dimensionamiento del generador fotovoltaico: número de paneles y su interconexión.
    - Dimensionamiento del sistema de acumulación (Banco de baterías).

- Dimensionamiento del regulador.
- Dimensionamiento del inversor.
- Dimensionamiento del cableado.
- Cálculo de la energía que utilizará los sistemas de extracción de agua de pozo:
  - Energía DC
  - $EDC = \sum P(DC)_i \cdot t_{di}$
  - $P(DC)_i$  = Potencia nominal del equipo i en W
  - $t_{di}$  = Tiempo diario de uso de la bomba
  - Energía AC
  - $EAC = \sum P(AC)_i \cdot t_{di}$
  - $P(AC)_i$  = Potencia nominal del equipo i en W
  - $t_{di}$  = Tiempo diario de uso de la bomba
  - Consumo total diario
  - $E_t = (EDC / \eta_{BAT}) + (EAC / \eta_{BAT} \cdot \eta_{INV})$
  - Diseño eólico: Para el diseño eólico se desarrollarán los siguientes pasos:
    - Cálculo de la potencia por medio de la ecuación:
    - $P = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3$
    - Donde:
    - $P$  = potencia medida en vatios
    - $\rho$  = densidad de la masa de aire medida en kg/m<sup>3</sup>
    - $C_p$  = coeficiente de potencia máximo de una turbina
    - $\eta$  = eficiencia mecánica y eléctrica de la turbina
    - $A$  = área circular de movimiento de las palas del rotor
    - $v$  = velocidad de la masa de aire en m/s
    - Distribución de la frecuencia de la velocidad del viento.
    - Curva de la velocidad del viento

- Distribución de la frecuencia de la dirección del viento (Rosa de los vientos).
  - Considerar con base a los pasos anteriores el aerogenerador para la planta eólica tomando las siguientes consideraciones:
  - Se activan con viento variable de 2 a 4 m/s (velocidad de “cut-in”).
  - Estar equipados con un dispositivo de control de la potencia cuando el viento alcanza la velocidad de 10-14 m/s (velocidad de corte o nominal).
  - Se paran cuando la velocidad del viento alcanza valores de aproximadamente 20-25 m/s (Velocidad de *cut-off*).
  
- Evaluación técnica del diseño de la planta híbrida eólico-fotovoltaica para todo el sistema de extracción de agua de pozo (Se determinara en base a la radiación y velocidad promedio si es factible técnicamente la instalación de la planta híbrida eólica-fotovoltaica).

### **9.2.3. Cuarta fase (Estudio económico)**

En esta fase de la investigación, se procederá a evaluar la factibilidad económica realizando los siguientes pasos:

Determinar la cantidad de suministro a utilizar como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla IV. **Planta híbrida eólico-fotovoltaica**

<b>PLANTA HIBRIDA EOLICO-FOTOVOLTAICA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL</b>
<b>FOTOVOLTAICO</b>			
Paneles	Un		
Inversores	Un		
Acumuladores	Un		
Estructuras	Un		
Cable	Mt		
Conectores	Un		
Gabinete protección	Un		
<b>EÓLICO</b>			
Aerogenerador	Un		
Inversores	Un		
Estructuras	Un		
Cable	Mt		
Conectores	Un		
Gabinete protección	Un		

- Determinar las labores de montaje de la planta del diseño el sistema de extracción.

<b>PLANTA HIBRIDA EOLICO-FOTOVOLTAICA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL</b>
<b>FOTOVOLTAICO</b>			
Montaje paneles	Un		
Montaje inversores	Un		
Montaje acumuladores	Un		
Montaje estructuras	Un		
Cableado	Mt		
Conectorizado	Un		
Montaje gabinete protección	Un		
<b>EÓLICO</b>			
Montaje aerogenerador	Un		
Montaje inversores	Un		
Montaje estructuras	Un		
Cableado	Mt		
Conectorizado	Un		
Montaje gabinete protección	Un		

Continuación de la tabla IV.

- Se cotizará todo el suministro relacionado a la planta hibrida eólico fotovoltaico.
- Se cotizará todo la labor de montaje relacionado a la planta hibrida eólico fotovoltaico.

PLANTA HIBRIDA EOLICO-FOTOVOLTAICA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
<b>FOTOVOLTAICO</b>				
Paneles	Un			
Inversores	Un			
Acumuladores	Un			
Estructuras	Un			
Cable	Mt			
Conectores	Un			
Gabinete proteccion	Un			
<b>EÓLICO</b>				
Aerogenerador	Un			
Inversores	Un			
Estructuras	Un			
Cable	Mt			
Conectores	Un			
Gabinete proteccion	Un			
			<b>TOTAL</b>	

- Determinar todos los rubros que involucran costos en la implementación de la planta hibrida eólico-fotovoltaico, como lo muestra el siguiente cuadro:

PLANTA HIBRIDA EOLICO-FOTOVOLTAICA		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO TOTAL
<b>SUMINISTRO</b>		
Eólico	Und	
Fotovoltaico	Und	
<b>MONTAJE</b>		
Eólico	Und	
Fotovoltaico	Und	
<b>PUESTA EN SERVICIO</b>		
Eólico-Fotovoltaico	Und	
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>		
Eólico	Und	
Fotovoltaico	Und	
		<b>TOTAL</b>

Fuente: elaboración propia.

- Evaluación económica apoyándose en indicadores de rentabilidad.
- Inversión inicial.
- Amortización y depreciación.
- Tiempo de recuperación de la inversión.
- Estado de resultados.
- Flujo de efectivo.
- Balance general

#### **9.2.4. Quinta fase (Análisis e interpretación de resultados)**

En esta última fase de la investigación, se hará el análisis de todas las fases anteriores y se interpretara las evaluaciones correspondientes, con el fin de dar respuestas a las preguntas de investigación planteadas en el presente documento. Se realizará los siguientes pasos:

- Análisis de la evaluación técnica.
- Análisis de la evaluación económica.
- Interpretación de la evaluación técnica.
- Interpretación de la evaluación financiera.

Se procederá a dar respuesta a la pregunta de investigación central, como a las preguntas de investigación auxiliares.

### **9.3. Técnicas de análisis de información**

Para el análisis de la evaluación técnica se hará uso de estadística descriptiva, utilizando promedios para la determinación de la radiación solar media y la velocidad del viento medio, apoyándose de gráficos y tablas. Para ello se utilizará software como Microsoft Excel para la elaboración de tablas y gráficas para su posterior análisis.

Para el análisis de la evaluación económica se hará uso de matemática financiera, con el fin de poder llevar a cabo un veredicto final de la factibilidad económica de la planta híbrida eólica-fotovoltaica. Se utilizará indicadores financieros como lo son los siguientes:

- TIR (tasa interna de retorno)
- VAN (valor presente neto)
- B/C (relación beneficio costo)

Para los indicadores de rentabilidad, se utilizará Microsoft Excel para la elaboración de cuadros que indiquen la rentabilidad utilizando los indicadores de rentabilidad.

Las técnicas estadísticas a utilizar en este trabajo de investigación será un análisis univariado en cada variable de modo independiente, como análisis de la velocidad del viento y radiación solar, con apoyo de Microsoft Excel, para obtener una radiación promedio y de igual manera una velocidad del viento promedio, según bases de datos obtenidas por entidades.

Tabla V. Cronograma de actividades

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Cronograma											
						mar	2º trimestre			3er trimestre			4º trimestre				
						abr	may	jun	jul	ago	sep	oct					
1		<b>TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>153 días</b>	<b>mar 05/04/16</b>	<b>jue 03/11/16</b>												
2		<b>Fase 1 (Investigación bibliografica)</b>	<b>15 días</b>	<b>mar 05/04/16</b>	<b>lun 25/04/16</b>												
3		Recopilacion información bibliografica	15 días	mar 05/04/16	lun 25/04/16												
4		<b>Fase 2 (Recopilación de campo e investigación documental)</b>	<b>26 días</b>	<b>mar 26/04/16</b>	<b>mar 31/05/16</b>												
5		Recopilación de campo municipio Patzcicia	5 días	mar 26/04/16	lun 02/05/16												
6		Información técnica sobre los sistemas de extracción	5 días	mar 26/04/16	lun 02/05/16												
7		Información general sobre el municipio	2 días	mar 26/04/16	mié 27/04/16												
8		Recopilación de campo a entidades	21 días	mar 03/05/16	mar 31/05/16												
9		Ministerio Energia Y Minas (MEM)	7 días	mar 03/05/16	mié 11/05/16												
10		INSIVUMEH	7 días	jue 12/05/16	vie 20/05/16												
11		Otros	7 días	lun 23/05/16	mar 31/05/16												
12		<b>Fase 3 (Estudio técnico)</b>	<b>41 días</b>	<b>mié 01/06/16</b>	<b>mié 27/07/16</b>												
13		Determinación de la radiación solar promedio	22 días	mié 01/06/16	jue 30/06/16												
14		Determinación de los vientos promedios	22 días	mié 01/06/16	jue 30/06/16												
15		Diseño planta	11 días	vie 01/07/16	vie 15/07/16												
16		Memoria de cálculo	5 días	vie 01/07/16	jue 07/07/16												
17		Planos	6 días	vie 08/07/16	vie 15/07/16												
18		Evaluación técnica	8 días	lun 18/07/16	mié 27/07/16												
19		<b>Fase 4 (Estudio economico)</b>	<b>43 días</b>	<b>vie 08/07/16</b>	<b>mar 06/09/16</b>												
20		Determinar cantidad de suministro	3 días	vie 08/07/16	mar 12/07/16												
21		Determinar cantidad de mano de obra para el montaje	3 días	vie 08/07/16	mar 12/07/16												
22		Cotizar suministro	15 días	mié 13/07/16	mar 02/08/16												
23		Cotizar montaje	15 días	mié 13/07/16	mar 02/08/16												
24		Determinar cuadro de costos para el diseño del sistema de extracción	3 días	mié 03/08/16	vie 05/08/16												
25		Evaluación economica	22 días	lun 08/08/16	mar 06/09/16												
26		<b>Fase 5 (Análisis e interpretación de resultados)</b>	<b>71 días</b>	<b>jue 28/07/16</b>	<b>jue 03/11/16</b>												
27		Análisis evaluación técnica	4 días	jue 28/07/16	mar 02/08/16												
28		Análisis evaluación economica	4 días	mié 07/09/16	lun 12/09/16												
29		Interpretación evaluación técnica	4 días	mié 03/08/16	lun 08/08/16												
30		Interpretación evaluación economica	5 días	mar 13/09/16	lun 19/09/16												
31		Respuesta a preguntas de investigación	5 días	mar 20/09/16	lun 26/09/16												
32		<b>Informe final</b>	<b>28 días</b>	<b>mar 27/09/16</b>	<b>jue 03/11/16</b>												

Fuente: elaboración propia.

## 10. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

En el siguiente cuadro se desglosa los recursos a tomar en cuenta para el desarrollo del trabajo de investigación propuesto.

Tabla VI. Presupuesto

ITEM	DESCRIPCION	COSTO DIA (Quetzales)	COSTO UNIDAD	CANTIDAD	COSTO TOTAL (Quetzales)
	<b>RECURSO HUMANO</b>				
1.	Asesor	Q0.00		0	Q2,500.00
1.	Estudiante	Q0.00		0	Q0.00
1.	Otros	Q50.00		2	Q100.00
	<b>MATERIALES</b>				
2.	Cuadernos		Q5.00	2	Q10.00
2.	Agenda		Q50.00	1	Q50.00
2.	Lapiceros		Q3.00	4	Q12.00
2.	Impresiones		Q50.00	4	Q200.00
2.	Impresiones planos		Q20.00	4	Q80.00
2.	Otros		Q50.00	1	Q50.00
	<b>INSUMOS</b>				
3.	Teléfono	Q10.00		2	Q20.00
3.	Internet	Q10.00		2	Q20.00
3.	Otros		Q50.00	1	Q50.00
	<b>TRANSPORTE</b>				
4.	Gasolina		Q100.00	2	Q200.00
4.	Depreciación vehículo		Q50.00	2	Q100.00
4.	Otros		Q50.00	1	Q50.00
	<b>HOSPEDAJE ALIMENTACION</b>				
5.	Habitación	Q150.00		2	Q300.00
5.	Alimentos	Q100.00		2	Q200.00
5.	Otros	Q50.00		1	Q50.00
	<b>IMPREVISTOS</b>		Q500.00	1	Q500.00
				<b>TOTAL</b>	<b>Q4,492.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Los costos que representa el trabajo de investigación son razonables, por lo que se considera que el trabajo de investigación es factible desde el punto de vista económico y también desde el punto de vista técnico, ya que no se requiere algún aspecto que este fuera del alcance.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alegría, J. (2006). *El Contador Público y Auditor en la Implementación del Sistema Integrado de Administración Financiera Municipal*. Tesis de licenciatura publicada, Universidad San Carlos, Guatemala, Guatemala.
2. Avendaño, A. (2009). *Implementación de Mantenimiento, Predictivo, Preventivo y Correctivo de Acuerdo a la Metodología RCM II En Bombas Centrifugas Grado Alimenticio*. Tesis de licenciatura publicada, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional Azcapotzalco.
3. Cardona, O. (17 de noviembre de 2011). *Energía solar llega a aldeas*. Prensa Libre. Recuperado de <http://www.prensalibre.com/santa-rosa/Energia-solar-llega-aldea-0-592740748>
4. CODEDE, (2011). *Instalación Sistemas Fotovoltaicos, aldea San Juan Monte Real, Taxisco, Santa Rosa*. Cuilapa, Santa Rosa.
5. CODEDE, (2011). *Instalación Sistemas Fotovoltaicos, caserío Linda Vista, San Juan Tecuaco*. Cuilapa, Santa Rosa.
6. CODEDE, (2011). *Instalación Sistemas Fotovoltaicos, aldea Talpetate, Victorias, Cintular, Taxisco*. Cuilapa, Santa Rosa.

7. CODEDE, (2011). *Instalación Sistemas Fotovoltaicos, aldea Llano Grande, Los Cerritos, Chiquimulilla, Santa Rosa*. Cuilapa, Santa Rosa.
8. Cruz E, (2010). *Diseño y simulación del comportamiento de un sistema híbrido de potencia*. Tesis de licenciatura publicada, Universidad de Piura, Peru.
9. De León, H. (2008). *Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería Usac y estudio del aprovechamiento*. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, Universidad San Carlos, Guatemala, Guatemala.
10. Dominguez, H. (2012). *Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en El Covaeb 35 Xalapa*. Tesis de Maestría Energética publicada, Universidad Veracruzana, Guatemala, Veracruz.
11. ENEL, (2014). *Convenio de Cooperación entre Municipalidad de San Juan Cotzal y ENEL Green Power de Guatemala*. Guatemala, Guatemala.
12. Figueroa, O. (5 de febrero de 2014). *Energía Solar ilumina aldeas*. Prensa Libre. Recuperado de [http://www.prensalibre.com/quiche/Energia-solar-ilumina-aldeas\\_0\\_1079292102.html](http://www.prensalibre.com/quiche/Energia-solar-ilumina-aldeas_0_1079292102.html)
13. Giron, M. (2005). *Una aproximación al marco jurídico que incentive al desarrollo de proyectos de energía renovable*. Tesis de

Licenciatura publicada, Universidad San Carlos, Guatemala, Guatemala.

14. Gonzales, A. (2009). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: Editorial PEARSON.
15. Herrera V, (2011). *Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la Generación de energía eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa*. Tesis de licenciatura publicada, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
16. MEM, (2014). *Dirección General de Energía Electrificación Rural Memoria de Labores*. Ministerio de Energía y Minas, Gobierno de Guatemala, Guatemala.
17. Pineda, L. (2009). *Diseño y manufactura del prototipo de una bomba monopaleta*. Tesis de licenciatura publicada, Universidad Nacional Autónoma de México.
18. Perdomo, P. (2012). *Lineamientos para el desarrollo de parques eólicos en Guatemala*. Tesis de licenciatura publicada, Universidad San Carlos, Guatemala, Guatemala.
19. Prado, C. (2008). *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada*. Tesis de licenciatura publicada, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

20. Zelada, V. (2005). *Diseño y selección de equipos de bombeo para agua accionados por motores eléctricos*. Tesis de licenciatura publicada, Universidad San Carlos, Guatemala, Guatemala.