



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

---

## TESIS

VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍAS RENOVABLES EN  
TEOTONGO, OAXACA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA:  
PÉREZ CRUZ EDGAR

PROFESOR ASESOR:  
DR. GABRIEL LEÓN DE LOS SANTOS



MÉXICO, D.F.

2013

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a toda mi familia por el apoyo incondicional que he recibido para lograr mis metas.

Principalmente a mis padres, Olga Cruz Sampedro y Francisco Pérez Simón, que nunca dudaron en brindarme el apoyo que necesité y por el cariño que siempre me han dado.

A mi hermano Ulises, que siempre fue un ejemplo para seguir sus pasos y que me llevaron a convertirme en ingeniero.

De forma especial a mis abuelos Valeria, Melquiades, Guadalupe y Anselmo de los cuales he aprendido muchas cosas sobre la vida a través de su experiencia.

A todos mis maestros, que me mostraron el camino del conocimiento.

A mis amigos, con los cuales he compartido grandes momentos y de los cuales tengo recuerdos muy gratos.

Al Dr. Gabriel, por apoyarme en el desarrollo de esta tesis.

También agradezco a todas las personas que he conocido a lo largo de mi vida, porque de todas ellas he aprendido algo.

A la máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por darme la oportunidad de ser uno de sus integrantes.

Edgar Pérez Cruz

## ÍNDICE

<b>Resumen</b>	4
<b>Objetivo general</b>	5
<b>Justificación</b>	5
<b>Metodología</b>	6
<b>Capítulo 1. Estado actual de los recursos energéticos</b>	7
1.1 Introducción	8
1.2 Reseña histórica	9
1.3 Energía, sus fuentes y formas de aprovechamiento	10
1.4 Energía solar	13
1.5 Energía eólica	15
1.6 Producción y consumo mundial de energía	16
1.7 Producción y consumo nacional de energía	17
1.8 Beneficios y oportunidades de las fuentes renovables de energía	18
1.9 Conclusiones	19
<b>Capítulo 2. Recursos y necesidades en el municipio de Teotongo, Oaxaca</b>	20
2.1 Introducción	21
2.2 Ubicación y perfil socio demográfico del municipio de Teotongo	22
2.3 Condiciones orográficas y climatológicas	28
2.4 La seguridad alimentaria en el estado de Oaxaca	32
2.5 Proyecto de captación de agua pluvial	33
2.6 Análisis y definición del problema	35
2.7 Conclusiones	36
<b>Capítulo 3. Búsqueda de información, análisis y generación de soluciones</b>	37
3.1 Introducción	38
3.2 Potencial energético, solar y eólico, en el municipio de Teotongo	39
3.3 Normales climatológicas	43
3.4 Propuesta de cultivo y método de riego	45
3.5 Análisis de la información y generación de soluciones	47
3.6 Conclusiones	49

<b>Capítulo 4. Viabilidad técnica y económica</b>	50
4.1 Introducción	51
4.2 Recursos hídricos	52
4.3 Cálculo del ciclo hidráulico	59
4.4 Evaluación técnica del sistema fotovoltaico	70
4.5 Evaluación técnica del sistema interconectado a la red eléctrica	79
4.6 Evaluación técnica del sistema con motobomba	82
4.7 Evaluación económica	84
4.8 Conclusiones	95
<b>Capítulo 5. Impacto ambiental y social</b>	96
5.1 Introducción	97
5.2 Desarrollo sostenible	98
5.3 Impacto ambiental	100
5.4 Impacto social	106
5.5 Conclusiones	108
<b>Conclusiones finales</b>	109
<b>Índice de tablas</b>	110
<b>Índice de figuras</b>	111
<b>Índice de gráficas</b>	112
<b>Índice de fotografías</b>	112
<b>Glosario</b>	113
<b>Bibliografía</b>	114
<b>Páginas electrónicas consultadas</b>	117
<b>Anexos</b>	118

## **Resumen**

La disponibilidad de energía proveniente de fuentes renovables como el sol y el viento representa una oportunidad para diseñar sistemas que aprovechen estos recursos energéticos en proyectos que fomenten el desarrollo regional.

A partir de una visita al municipio de Teotongo ubicado en la región Mixteca del Estado de Oaxaca, se obtuvo información sobre un proyecto de captación pluvial realizado por el Barrio Piedras Negras, que tiene como finalidad el riego de un terreno y reforestación de zonas erosionadas. La falta de asesoramiento técnico y los pocos recursos económicos han impedido la conclusión del proyecto, que necesita un sistema de bombeo para trasladar el agua del reservorio a la zona de riego.

A través de una búsqueda de información se obtuvieron los datos climatológicos y el potencial energético solar y eólico de la zona. El análisis de estos datos mostró que la región cuenta con la suficiente energía solar para implementar sistemas que puedan aprovecharla; por otra parte, el recurso eólico es escaso, variable y con un mercado menos desarrollado para baja potencia que la tecnología fotovoltaica.

La propuesta de cultivo por parte de los pobladores es la siembra de nopal, que se adapta a las condiciones ambientales de la región. Optando por el recurso solar, se dimensionó el sistema de bombeo a partir de la cantidad de agua capturada y de las necesidades del cultivo seleccionado.

Se realizó una evaluación técnica y económica entre los sistemas de bombeo con motor de combustión interna, con energía de la red eléctrica y con energía solar fotovoltaica. Técnicamente todas las alternativas son posibles. La evaluación económica mostró que la alternativa más rentable es el bombeo con motor de combustión interna y la más cara el bombeo con energía fotovoltaica.

Se analizó el impacto ambiental de cada alternativa. El sistema de bombeo de combustión interna genera mayor cantidad de gases de efecto invernadero, por el contrario, el sistema con energía fotovoltaica no genera estos gases.

Se plantean los beneficios sociales que se generarían al incluir un sistema de bombeo para mejorar el desarrollo y producción de los cultivos, que contribuyen a la mejora de la calidad de vida de los habitantes de esta población.

## **Objetivo general**

Determinar la viabilidad de la instalación de un sistema de bombeo agrícola, en el municipio de Teotongo, Oaxaca, a partir de los recursos solares y convencionales de la zona donde se ubica el proyecto agrícola que desarrollan los Integrantes del Barrio Piedras Negras.

## **Justificación**

Esta región es pobre en recursos hídricos y sufre las consecuencias de la erosión provocada por una intensa ganadería durante muchos años. Los ingresos por habitante son escasos, lo cual dificulta costear un proyecto que pueda proporcionarles la energía eléctrica para bombear agua hacia los terrenos de cultivo. Sin embargo, las fuentes energéticas como el sol y el viento podrían ser suficientes para suplir estas necesidades.

## Metodología

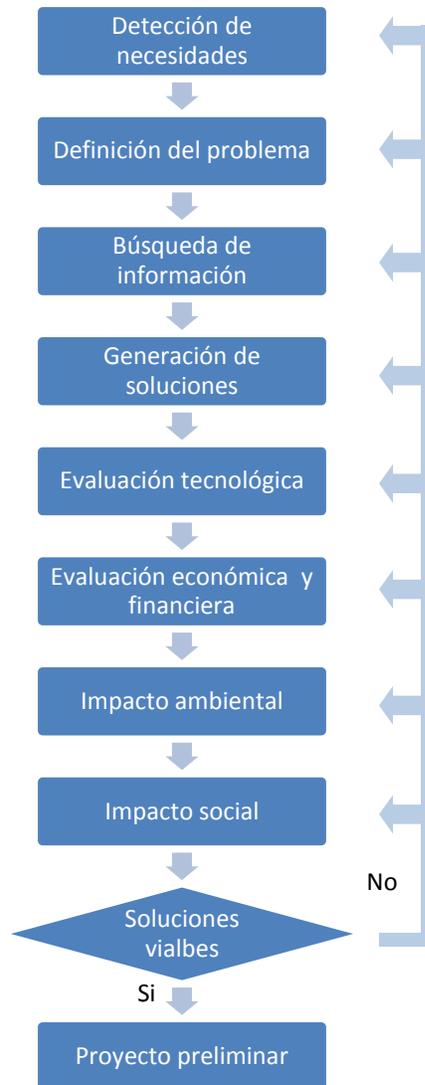


Figura1.1 Diagrama del estudio de viabilidad.  
(Murcia, 2009, pág. 9, adaptación propia)

# CAPÍTULO 1

---

## ESTADO ACTUAL DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



## **1.1 INTRODUCCIÓN**

La búsqueda de fuentes energéticas ha representado para la humanidad una necesidad continua a través de la historia. El descubrimiento de fuentes energéticas fósiles como los hidrocarburos y el carbón mineral han sido el sustento para el acelerado desarrollo de la sociedad, sin embargo, actualmente se sufre el impacto ambiental ocasionado por el uso desmedido de estas energías, uno de sus efectos más notorios es el cambio climático cuyas consecuencias ha provocado fenómenos meteorológicos más frecuentes y extremos.

Existen problemáticas sociales incluso en naciones productoras de petróleo como México, que presenta una disparidad en ingresos y calidad de vida de sus habitantes, situaciones ante las cuales no podemos ser indiferentes y a pesar de representan los retos actuales también son nuevas oportunidades, principalmente para el desarrollo de tecnología que aproveche fuentes de energía menos contaminantes.

México no solo es un país petrolero, cuenta con una gran diversidad de fuentes energéticas, entre las cuales destacan las fuentes de energías renovables como la solar, eólica y geotérmica. Con el aprovechamiento de las energías renovables es posible disminuir la dependencia de los hidrocarburos, se logra abatir la dificultad de llevar energía eléctrica a lugares inaccesibles fomentando el desarrollo económico de comunidades marginadas, a demás, se reduce el impacto ambiental de nuestras acciones sobre la naturaleza. Estos son los beneficios que presentan y en los que se basa la importancia de su estudio. Pero sus aplicaciones aún son reducidas, en comparación con otras tecnologías disponibles, su alto costo y la escasa disponibilidad de personal calificado para su instalación, operación y mantenimiento impiden su expansión en el mercado mundial.

## **1.2 RESEÑA HISTÓRICA**

El hombre primitivo disponía solo de la energía de su cuerpo, proveniente de los alimentos que consumía. Con el descubrimiento del fuego logró cocinar, calentarse, defenderse de animales, desplazarse por la oscuridad y también para desarrollar nuevas herramientas.

Al desarrollar la agricultura logra capturar la energía del sol en las plantas que le servirán de alimento, domina la fuerza de los animales para sustituir la fuerza humana, construye la vela de los barcos y aprovecha la energía del viento que le permite navegar más rápido y por más tiempo.

El descubrimiento de los metales permitió desarrollar instrumentos más complejos y mejoraron la productividad agrícola. En esta etapa la madera fue el recurso natural más utilizado. Se crearon los primeros molinos hidráulicos y después los molinos de viento.

A finales del siglo XVIII y a principios del siglo XIX en Europa y principalmente en Inglaterra se originó la revolución industrial, marcando la transición de un sistema basado en la agricultura y la ganadería a uno basado en la producción de tecnología, manufactura e industria. El carbón fue la fuente energética que logró abastecer las necesidades de energía en la industria. Los problemas demográficos y el cambio de la forma de vida de las personas se hicieron presentes.

El siglo XX se caracterizó por el uso de una nueva fuente energética, el petróleo y sus derivados. La dependencia de los hidrocarburos hasta la actualidad nos hace vulnerables a las fluctuaciones de su precio y de su abastecimiento.

La investigación y el desarrollo de proyectos de otras fuentes energéticas como la energía nuclear, la hidráulica y las renovables son prioridad para este nuevo siglo.

### **1.3 ENERGÍA, SUS FUENTES Y FORMAS DE APROVECHAMIENTO**

Cualquier alteración en la posición, propiedades, constitución o estado de un sistema determinado requiere la realización de un trabajo. Los cuerpos tienen cierta capacidad de realizar trabajo, que puede tener origen en su constitución, en la posición que ocupan en un campo gravitatorio o eléctrico o en su estado de movimiento. A esta capacidad de realizar trabajo que poseen los cuerpos, cualquiera que sea su causa, se le denomina energía. Dado que la energía permanece latente en el cuerpo, mientras no se manifiesta explícitamente en forma de trabajo, su medida se lleva a cabo evaluando el trabajo que puede generar; o bien determinando el trabajo que ha sido necesario realizar para llevar al cuerpo o sistema al estado actual. El trabajo y la energía tienen las mismas dimensiones, las de una fuerza multiplicada por un espacio ( $ML^2T^{-2}$ ) y se miden en las mismas unidades ( $Kgm^2s^{-2}=Joule$ ).

#### **Formas de la energía**

Las diferentes manifestaciones de la energía es lo que comúnmente conocemos como las diferentes formas de energía, como pueden ser la cinética, potencial, térmica, química, electromagnética, luminosa, la inherente a la masa, etc. y la suma de estas formas representa la energía total de un sistema.

#### **Fuentes de energía**

La energía en la tierra, continuamente fluye del espacio hacia ella y viceversa, durante este flujo se transforma y almacena en reservorios conocidos como fuentes de energía. Las principales fuentes son la nuclear, la energía solar con sus diferentes manifestaciones y la gravitacional.

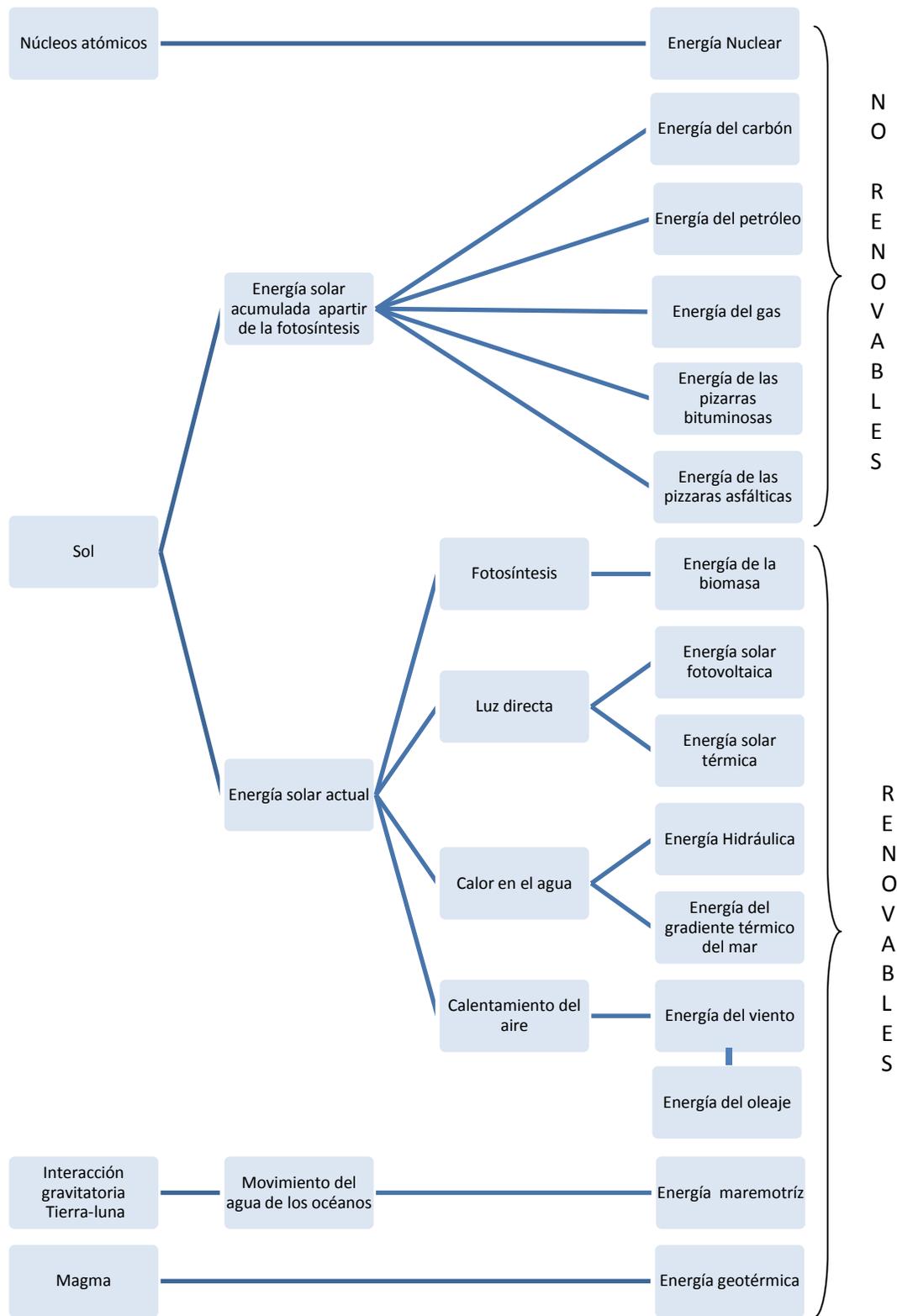


Figura 1.2. Clasificación de las fuentes energéticas.  
(Carta, 2009, pág. 28, adaptación propia)

## **Energía renovable**

“Consiste en energía que es producida o se deriva de fuentes que se renuevan indefinidamente, tales como en el caso de la energía hidráulica, solar y eólica, o de fuentes producidas de forma sostenible, tales como la biomasa”. (Gonzales, 2009, pág. 6).

## **Energía no renovable**

Una fuente de energía no renovable es aquella que está almacenada en cantidades inicialmente fijas, usualmente en el subsuelo, el tiempo que tardan en regenerarse es de millones de años y no se puede comparar al ritmo de su extracción, estos recursos se agotan conforme se consumen. Las reservas disponibles dependen de la factibilidad técnica y económica de su explotación, del descubrimiento de nuevos yacimientos, del ritmo de extracción y consumo.

Se distinguen dos grupos:

- Fuentes de energía fósil

Se le llama energía fósil a la que se obtienen de ciertas sustancias que se produjeron en el subsuelo a partir de la acumulación de grandes cantidades de residuos orgánicos, hace millones de años. Dentro de estas fuentes destacan el petróleo, el carbón mineral y el gas natural.

- La energía nuclear

Es la energía almacenada en los núcleos de los átomos, en el momento de su formación y mantiene unidos a los protones y neutrones.

## **1.4 ENERGÍA SOLAR**

El sol es una estrella, formada por gases, con un diámetro de  $1.39 \times 10^9$  m, se encuentra a una distancia media de  $1.5 \times 10^{11}$  m de nuestro planeta.

La energía radiante proveniente del sol tiene su origen en una serie de reacciones de fusión, de las cuales la más importante es aquella en que cuatro átomos de hidrógeno se fusionan para dar un átomo de helio, dos positrones y dos neutrinos. En esta reacción se produce una transformación de masa en energía radiante de 26.2 Mev, que equivalen a  $4.19 \times 10^{-12}$  J. El sol emite energía al espacio a un ritmo de  $3.85 \times 10^{26}$  W, de esta cantidad, a la tierra llegan  $175\,945 \times 10^{12}$  W = 175 945 TW de energía radiante, comparándolo con el consumo global actual de energía primaria, que es de 17 TW el ritmo al que llega energía solar a la tierra es 10 349 veces el del consumo por los seres humanos, en este momento.

La energía producida en el sol se transmite por el espacio en forma de ondas electromagnéticas, que se desplazan a una velocidad de 300 000 Km/s, tarda aproximadamente 8 minutos y 20 segundos en llegar a la tierra, la cantidad de energía que llega hasta el límite de la atmósfera por unidad de superficie, dispuesta perpendicularmente a la dirección de la radiación incidente, y por unidad de tiempo, tiene un valor de  $1367 \text{ W/m}^2$ , a este valor se le conoce como constante solar.

### **Transformación de la energía solar sobre la tierra**

Para alcanzar la superficie terrestre la radiación solar debe atravesar la atmósfera donde experimenta diversos fenómenos de reflexión, absorción y difusión que disminuyen la intensidad final.

El total de energía solar que llega a la atmósfera es de 1 559 280 TWh en un año, comparando esta cifra con la cantidad consumida mundialmente es aproximadamente 15 000 veces más.

De ella, el 30% se refleja al espacio, sin llegar a la superficie; tras desencadenar distintos fenómenos de la atmósfera a la superficie, el 70% es irradiado al espacio en forma de radiación infrarroja de onda larga.

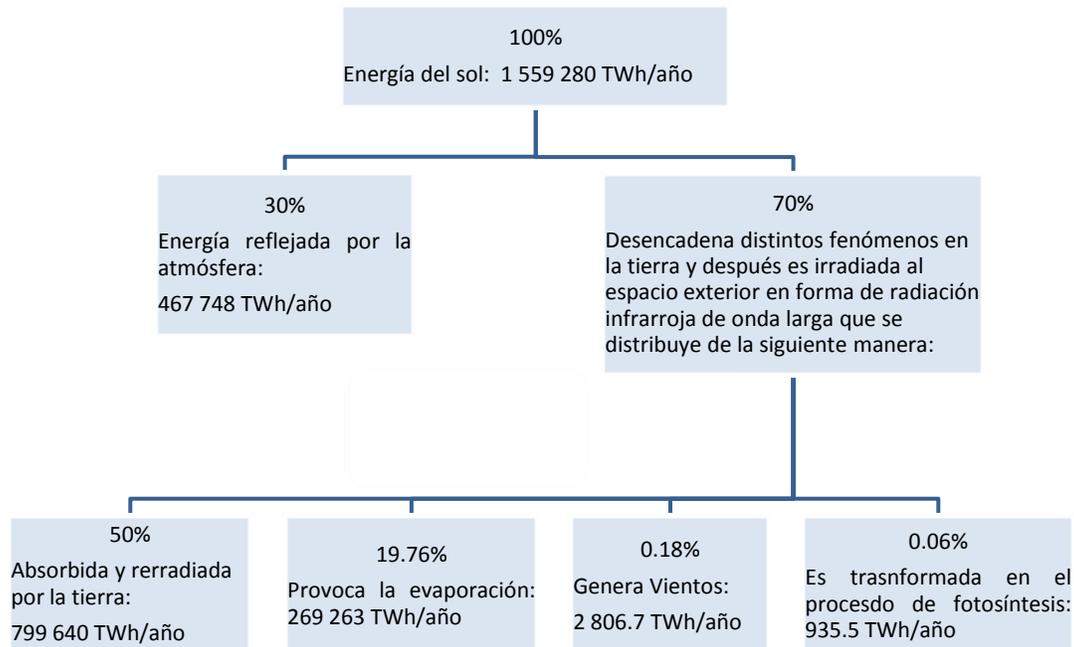


Figura 1.3. Distribución de la energía solar incidente en la Tierra.  
(Carta, 2009, pág. 29, adaptación propia)

### Formas de aprovechamiento

Existen dos formas de aprovechar la energía solar, de las cuales se diversifica el uso final que se les puede dar.

- **Energía solar térmica:** Es aquella donde se utiliza una parte del espectro electromagnético del sol para producir calor. El calor de baja temperatura (<100°C) se transforma mediante colectores térmicos y se emplea para calefacción en viviendas, edificios y piscinas. El uso de concentradores de radiación permite obtener temperaturas suficientemente elevadas como para evaporar un fluido, dotarlo de energía de expansión capaz de mover turbinas y generar electricidad.
- **Energía Fotovoltaica:** Es aquella que se obtiene al convertir parte del espectro electromagnético del sol en electricidad mediante el uso de paneles fotovoltaicos. Se puede utilizar para alimentar la iluminación y el funcionamiento de electrodomésticos de bajo consumo energético.

## 1.5 ENERGÍA EÓLICA

Los vientos son movimiento del aire, o corrientes convectivas, que se originan por el calentamiento diferencial producido en distintos puntos geográficos que reciben cantidades diferentes de radiación solar. Debido a la posición de la tierra con respecto al sol, los rayos solares inciden perpendicularmente en el ecuador y calientan más la superficie de la tierra; el aire al calentarse se hace menos denso y asciende a las capas altas de la atmósfera dejando una zona de baja presión. En los polos el aire es más denso y desciende aumentando la presión. Aproximadamente solo un 2% de la energía solar que llega a la tierra se convierte en energía eólica, en teoría, los vientos distribuyen anualmente  $2.5 \times 10^5$  kWh y  $5 \times 10^5$  kWh.

El aire se mueve desde las zonas de alta presión a las de baja presión. Durante el día, el agua de los océanos permanece relativamente más fría que la superficie terrestre. El aire caliente se dilata, pierde presión y es reemplazado por el aire fresco que viene del mar. Durante la noche el ciclo se invierte. La corteza terrestre se enfría más rápidamente, mientras que el agua del mar conserva mejor el calor acumulado durante el día.

### Formas de aprovechamiento

El aire porta energía cinética al moverse y puede ser convertida en otras formas de energía para ser aprovechada. Para aprovechar esta energía se utilizan distintos dispositivos conocidos como turbinas eólicas y generadores eólicos.

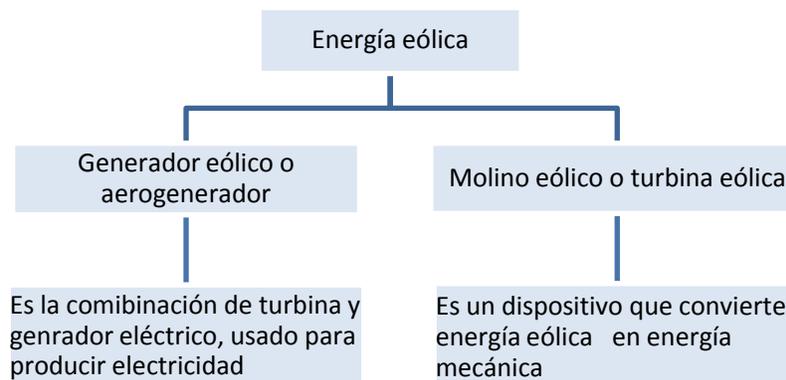


Figura 1.4 Dispositivos para aprovechar la energía eólica.

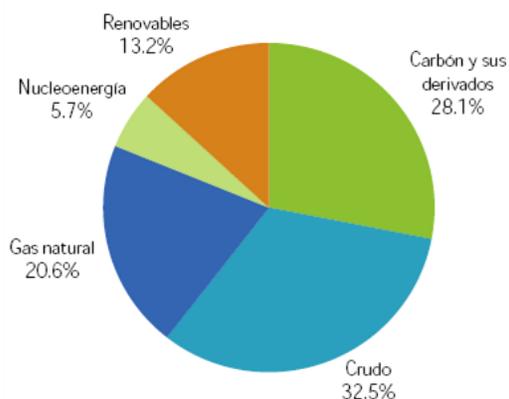
(Fuente propia)

## 1.6 PRODUCCIÓN Y CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA

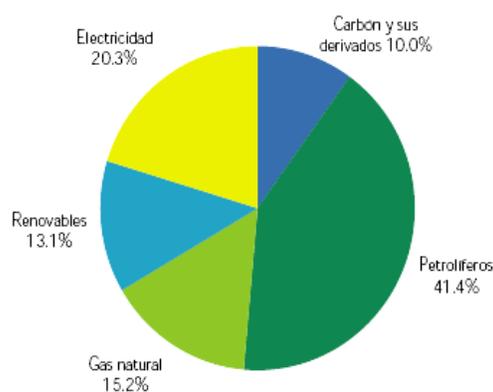
La producción mundial de energía se enfoca principalmente en la explotación de recursos no renovables como el carbón, petróleo y gas natural, que abastecen la demanda energética a nivel internacional. En 2009 esta producción totalizó 12,291.75 millones de toneladas equivalentes de petróleo (gráfica 1.1). La producción de energía a partir de fuentes renovables representó poco más del trece por ciento, su aporte no es comparable con las otras fuentes, sin embargo cada vez tiene mayor presencia e importancia.

La oferta total de energía a nivel mundial sumó 12,149.8 Mtep en 2009. China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón fueron los países con mayor oferta. México ocupó la décimo quinta posición, un puesto por debajo de su ubicación en 2008. (Balance Nacional de Energía, 2010).

El consumo mundial de energía, aproximadamente un sesenta y seis por ciento (gráfica 1.2), consistió principalmente de productos petrolíferos, el carbón y el gas natural. Esto muestra la gran dependencia, a nivel mundial de los recursos no renovables, a demás, su explotación y consumo está estrechamente relacionada con la generación de gases de efecto invernadero y con la degradación de los sistemas ecológicos.



Gráfica 1.1. Producción Mundial de energía primaria.<sup>1</sup>



Gráfica 1.2. Consumo mundial de energía.<sup>2</sup>

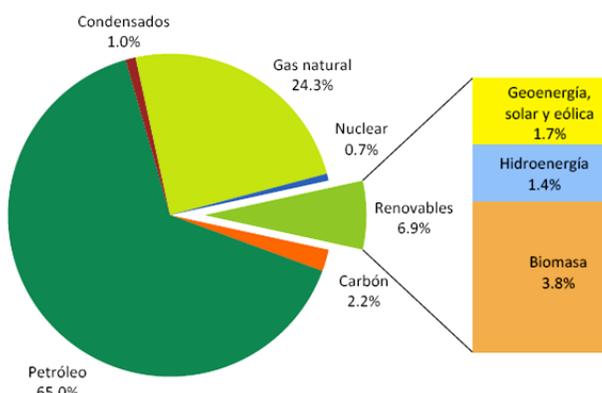
<sup>1</sup> Balance nacional de energía, 2010.

<sup>2</sup> Ibídem.

## 1.7 PRODUCCIÓN Y CONSUMO NACIONAL DE ENERGÍA

México es un productor de petróleo, sin embargo cuenta con variados recursos renovables con el potencial suficiente para aumentar su producción energética de forma estratégica.

En 2010 la producción nacional de energía primaria totalizó 9,250.7 PJ (Gráfica 1.3), de los cuales el sesenta y cinco por ciento corresponden al petróleo y poco más del veinticuatro por ciento al gas natural, mientras las energías renovables representaron solo el siete por ciento. El consumo total de energía en petajoules se muestra en la tabla 1.1.



Gráfica 1.3. Estructura de la producción primaria 2010.

(Balance Nacional de Energía, 2010).

	Petajoules	Estructura porcentual (%)
Consumo final total	4 815.67	100
Consumo no energético total	225.63	5.31
Petroquímica de Pémex	115.78	3.40
Otras ramas	109.84	1.91
Consumo energético total	4 590.04	94.69
Transporte	2 227.79	45.50
Industria	1 306.83	27.71
Residencial, comercial y público	908.33	18.57
Agropecuario	147.10	2.92

Tabla 1.1. Consumo final total de energía 2010.

(Balance Nacional de Energía, 2010).

## **1.8 BENEFICIOS Y OPORTUNIDADES DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA**

Las actividades de los diversos sectores y agentes económicos en México tienen como fuente principal de energía el consumo de hidrocarburos y sus derivados; condicionándose a las variaciones de su precio debido a los problemas internacionales y a la disminución de reservas.

“Las energías renovables pueden satisfacer las mismas necesidades que los otros tipos de energía. Pueden suministrar energía a explotaciones agrícolas, empresas rurales, viviendas y edificios utilizados para el ejercicio de actividades terciarias”<sup>3</sup>.

- **Beneficios medioambientales:** Las tecnologías de las energías renovables tienen menos impactos medioambientales, emisiones contaminantes, que las energías convencionales.
- **Son una fuente inagotable:** Este tipo de energías no desaparecerán nunca, a diferencia de aquellas que su cantidad es finita y algún día se agotarán.
- **Impulsan el empleo y la economía regional:** Las inversiones en proyectos de energías renovables utilizan recursos materiales y humanos para construir y mantener las instalaciones, en lugar de importar recursos energéticos costosos. La economía regional y el propio municipio se benefician, al generar empleos, recursos económicos y proveer de suministro energético local.
- **Seguridad energética:** Al aumentar el uso de fuentes renovables disminuye la dependencia energética en los países exportadores de energía.

---

<sup>3</sup> Fuentes de energías renovables, FAO, ficha metodológica 1 y 2.

## **1.9 CONCLUSIONES**

Las actividades humanas están intrínsecamente ligadas a la continua necesidad de proveerse de fuentes energéticas para desarrollarse. Actualmente esta dependencia se centra en las fuentes de energía fósil, lo cual hace vulnerables económicamente a la mayoría de sectores sociales debido a la variación de sus precios.

En México la dependencia energética tiene como fuentes principales al petróleo y el gas natural. Estas fuentes de energía son las principales generadoras de gases de efecto invernadero, contribuyendo al deterioro de ecosistemas y al cambio climático.

El beneficio de la explotación de fuentes renovables de energía puede verse como una oportunidad para reducir el consumo de hidrocarburos en sectores estratégicos, disminuyendo la generación de CO<sub>2</sub> y la dependencia de los precios internacionales. También representa una oportunidad para reducir inversiones en la electrificación de zonas alejadas y de difícil acceso.

México cuenta con una amplia gama de fuentes renovables de energía como la solar y la eólica, las cuales se encuentran ampliamente distribuidas a lo largo del territorio. Su explotación es una oportunidad para desarrollar actividades productivas que fomenten el crecimiento económico y mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad.

# CAPÍTULO 2

---

## RECURSOS Y NECESIDADES

### EN EL MUNICIPIO DE TEOTONGO, OAXACA



## **2.1 INTRODUCCIÓN**

La región Mixteca situada en el noreste del estado de Oaxaca, presenta un clima extremo, la escasa vegetación, aunque adaptada de forma natural, es frágil ante los agentes externos como la agricultura y la deforestación, actividades introducidas por el hombre.

La microrregión Chocholteca, ubicada dentro de la región Mixteca, en un pasado fue rica en cultura y tradiciones, sin embargo, los procesos en los que se vio inmerso el país transformaron casi por completo su forma de vida, sobreviviendo solo algunas costumbres de vital importancia como el Tequio, una forma de trabajo comunitario cuyo fin es el beneficio colectivo.

El municipio de Teotongo presenta una elevada migración que se remonta a principios del siglo pasado y cuyo origen es la dificultad de producción en tierras de cultivo, principal actividad de los pobladores.

A través de una visita realizada a la comunidad, se obtuvo información sobre un proyecto de captación pluvial, que por diversas situaciones se encuentra inconcluso y no aporta el beneficio esperado. Ante esta situación se propuso contribuir en el desarrollo del proyecto mediante la identificación del sistema de bombeo más adecuado, que aproveche el recurso hídrico al máximo y presente las mejores ventajas técnicas y económicas. La implementación de un sistema de bombeo incrementaría la producción agrícola, beneficiaría económicamente a los pobladores, ayudará en la reactivación de tierras productivas que fueron erosionadas y abandonadas.

## 2.2 UBICACIÓN Y PERFIL SOCIO DEMOGRÁFICO DEL MUNICIPIO DE TEOTONGO

El municipio de Teotongo, pertenece al distrito de Teposcolula, ubicado en la región Mixteca del estado de Oaxaca. Geográficamente se localiza en la parte noreste del estado, en las coordenadas 97°32' longitud oeste, 17°44' latitud norte y a una altura de 2060 metros sobre el nivel del mar. La superficie total del municipio es de 39.55 km<sup>2</sup> que representa el 0.04 % del Estado.

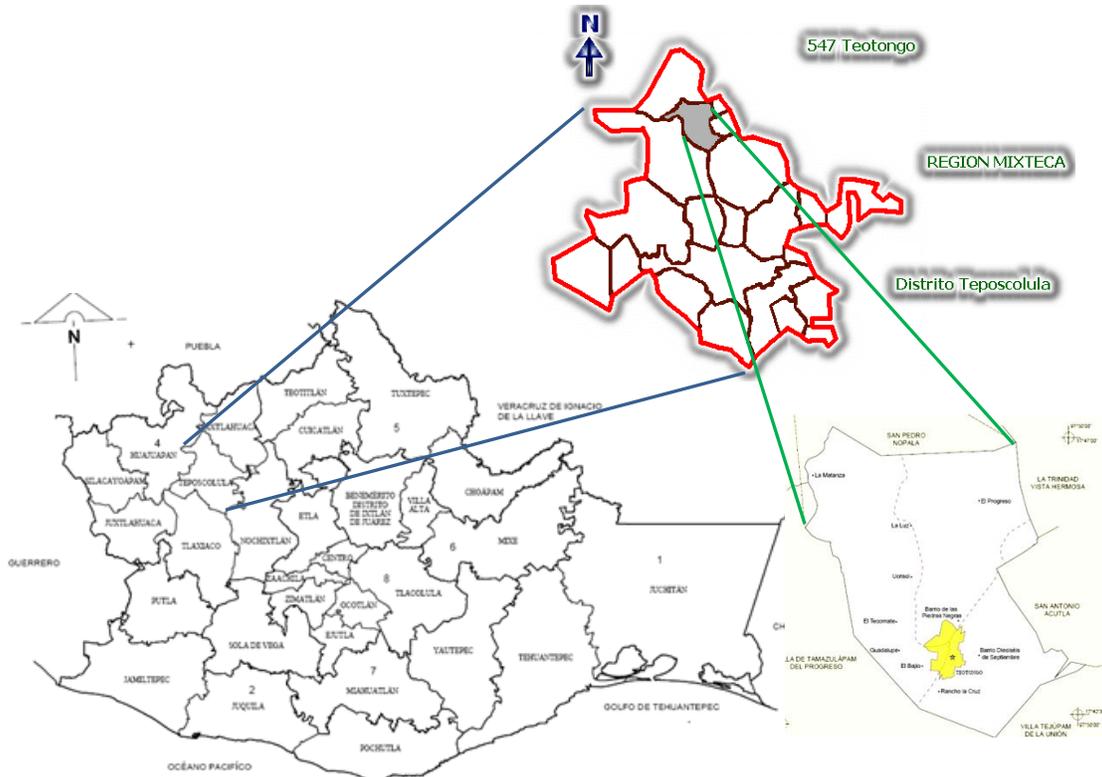


Figura 2.1. Ubicación geográfica de Teotongo.  
(INEGI, adaptación propia).

Étnicamente pertenece a la microrregión Chocholteca, zona habitada por uno de los catorce grupos de origen étnico del estado de Oaxaca, conocido por los nombres de chochos, comprende un total de 17 municipios, correspondientes en su mayoría al distrito de Coixtlahuaca y al distrito de Teposcolula.

Los chochos o chocholtecas se llaman a sí mismos *Runixa Ngiigua*, que significa "los que hablan el idioma", en tanto que la lengua se denomina Ngiigua.

## **Antecedentes históricos**

La Comisión Nacional Para los Pueblos Indígenas de México presenta en su página electrónica la siguiente información sobre el grupo étnico Chocholteco.

En la época prehispánica, los pueblos de Coixtlahuaca fueron densamente poblados, en algunos de ellos convivían hablantes de diversas lenguas indígenas. El valle de Coixtlahuaca lo integraban chochos, mixtecos e ixcatecos.

Hace 2 500 años, el valle de Tehuacán también era ocupado por hablantes de chocho-popoloca; el territorio se redujo hace 1 000 años, aproximadamente, por la expansión de los nahuas hacia el sur y de los mixtecos hacia el norte.

Coixtlahuaca tuvo su mayor esplendor hacia mediados del siglo XV, época en la que acudían al mercado de ese lugar comerciantes de la Costa, del Golfo de México y del Altiplano Central, lo que indica la importancia que tuvo en ese tiempo. Alfonso Caso, al referirse a la región de Coixtlahuaca, sostiene que ésta era el hábitat de los chochos o popolocas de Puebla.

Durante el siglo XVI, después de la Conquista, la población indígena disminuyó considerablemente debido a la hambruna, el trabajo excesivo a que fueron sometidos y las epidemias de viruela en 1520 y 1593, de sarampión en 1531, y tifo en 1576. La población chocholteca se vio afectada a tal grado que, en 1597, sólo quedaba la mitad de tributarios en los pueblos de Coixtlahuaca.

Nicolás Gissi (2009) menciona el origen del pueblo de Teotongo:

Existe poca información documental sobre el origen de Teotongo. De acuerdo con la información de algunos de sus habitantes que hace referencia a títulos primordiales, los primeros asentamientos datan de los años 1300 y 1400 bajo el nombre Xadëduxö, que en lengua chocholteca significa “Pueblo del sol o por donde se oculta el sol”. El pueblo de Santiago Teotongo se funda por los Dominicanos entre los años 1600 y 1680. De años posteriores la tradición oral refiere a una localidad sumamente poblada, en algún tiempo rica en recursos. Todavía por el periodo de 1945 a 1950 este territorio se encontraba muy poblado, la migración comenzó a tener auge a partir de la construcción de la carretera panamericana durante el periodo del presidente Miguel Alemán.

## **Cosmogonía y religión**

### Comisión Nacional Para los Pueblos Indígenas de México

Originalmente la población chocholteca creía en un Dios del Universo, se le denominaba Da'aní ndiú naa'rjuí, que quiere decir nuestro Padre Dios del Universo o del Cielo y también se dice: Da'andiú que es igual al Padre de Dios, o simplemente ndiú que significa Dios. A la llegada de los frailes dominicos (1550), se incrementó la conversión de la población a la religión católica.

Los chochos, como la mayoría de los grupos indígenas de México, han sido influenciados en todos los aspectos de su vida por la religión católica. Sólo conservan algunos elementos relacionados con su antigua religión, como el de formar montones cónicos de piedras, que son colocados por los viajeros en los caminos que unen a los pueblos chochos. La razón de esta costumbre es la creencia de que si salen de viaje y no colocan estas piedras, no regresarán a su pueblo. Es común también oír hablar de curanderos en algunos pueblos chochos, que realizan diversos trabajos para curar enfermos y se asegura que invocan los espíritus de sus antiguos dioses.

La religión que profesan los chochos es una mezcla de catolicismo y de religiosidad prehispánica, predominando de manera clara la primera, puesto que los acontecimientos más importantes de su vida y sus ceremonias como el bautismo, la comunión y los auxilios espirituales en caso de muerte son ritos católicos.

## **Lengua**

El idioma chocholteca proviene del ancestral tronco proto-otomangue, del cual surgió la lengua otomangue, que a su vez dio origen a las lenguas zapoteca, mixteca, popoloca, mazateca, ixcateca, y chocho o chocholteca. Esta última se diferenció del resto hace aproximadamente 800 años.

## **Actividad artesanal**

Las actividades más importantes, por involucrar a un mayor número de artesanos, eran la elaboración de cobijas "lanillas" y gabanes (cotones) de lana que obtenían del ganado ovino de la región, y los sombreros de palma. La actividad textil ha disminuido

considerablemente, aún subsiste el tejido de sombreros de palma y de fibra sintética, aunque también tiende a desaparecer, por la poca demanda que tiene.



Fotografía 2.2. Artesanías de la región chocholteca. (Fuente propia).

### **Organización social**

La organización del trabajo comunitario es el tequio. Entre los chocholtecas se da un alto nivel de operación para estas labores, así como también para las actividades propuestas por el Estado en beneficio de las comunidades. Actualmente, ya no existen autoridades tradicionales; sin embargo, se conserva un gran respeto por los ancianos. El compadrazgo juega un papel relevante dentro de las relaciones de este grupo. La organización familiar predomina en todas las actividades productivas, en ellas participan todos los miembros de la familia, desde los cinco o seis años de edad hasta los 80 años o más.

Hernández Sandalio (1980) menciona la siguiente información sobre el tequio

El tequio es un sistema de organización rural que consiste en la reunión de un grupo de personas o de toda una comunidad, para prestar su servicio de mano de obra gratuita con el objetivo de lograr la realización de una obra común y de beneficio colectivo. Los pueblos de la Mixteca, por tradición, mediante el tequio, llevan a cabo diversas obras tales como; apertura o limpia de caminos, limpia de canales, construcción de aulas escolares, puentes o alcantarillados, preparación de tierras y siembra de cultivos agrícolas.

## **Migración**

Se afirma que hubo una primera migración hacia Veracruz en los años 1913 y 1914, los relatos orales dan muestra de esto:

*“Cuando llega una hambruna, no hay que comer, entonces empieza a salir nuestra gente [...] y salieron con toda la familia, se fueron y fundaron nuevos pueblos allá, Pueblo Nuevo, Rancho Nuevo, hecho por puros paisanos, esa fue la primera migración que hubo de nuestro pueblo”.* (Gissi, 2009, pág. 139).

La segunda migración Chocholteca, hacia la Ciudad de México, comenzó a principios de 1940. Algunos testimonios hacen referencia a las causas que los indujeron a migrar.

*“Migré a la ciudad de México por cuestiones económicas, no se daba el maíz, no se daba nada, era temporal, estaba duro para conseguir de comer, entonces a los veinte años emigré para la ciudad de México”.* (Gissi, 2009, pág. 140).

Recientemente el estado de Oaxaca presentó una tasa neta migratoria negativa de -0.6 durante el periodo 2005-2010. (INEGI, 2010). Es decir, la cantidad de personas que abandonaron el estado fue mayor de las que llegaron.

El problema migratorio hacia los centros urbanos sigue presente y se observa una menor participación de los migrantes en las actividades de la comunidad original.

*“ya no es igual que antes [...] ya la gente participa muy poco, porque ya no es el mismo interés que antes, porque hoy en día desafortunadamente tenemos que tener una retribución económica para que nosotros podamos sobrevivir”.* (Gissi, 2009, pág. 133).

### Actuales carencias en el municipio de Teotongo

A pesar de que el municipio no se considera de alta prioridad en cuanto a problemáticas sociales, esto no significa que esté exento de ellas, según los estudios del Consejo Nacional de evaluación de la Política de Desarrollo Social, CONEVAL, más de la mitad de los pobladores del municipio se encuentran en alguna situación de pobreza, estas cifras se muestran en la Tabla 2.1 con información de consejo nacional de información CONAPO.

	POB_TOT	ANAL10	SEE10	SAGUAE10	IM_2010	GM_2010
Teotongo	519	12.532	1.9108	4.430	-0.779	Alto
La luz	113	16.25	15.625	15.625	0.180	Alto
El progreso	78	16.923	12	20	-0.166	Alto
El tecomate	72	26.785	3.846	11.538	-0.226	Alto
Guadalupe	7	71.428	0	20	0.555	Alto
La matanza	93	20	4.1666	4.1666	-0.173	Alto
La cruz	17	16.666	0	50	-0.659	Alto
Piedras Negras	14	0	14.285	28.571	-0.862	Medio
Dieciséis de septiembre	32	5	0	25	-0.323	Alto

Tabla 2.1. Características sociales en Teotongo, barrios y rancherías. (CONAPO, 2010)

POB_TOT	Población total
ANAL10	Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta
SEE10	Porcentaje de viviendas particulares sin energía eléctrica
SAGUAE10	Porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada
IM_2010	Índice de marginación 2010
GM_2010	Grado de marginación 2010

La información obtenida muestra que el municipio presenta diversas carencias sociales y un grado de marginación alto, a pesar de que se han implementado diversos programas de ayuda social no han sido suficientes para erradicar estos problemas. Estas carencias propician la migración a centros urbanos en busca de un mejor ingreso económico y una mejor calidad de vida.

## 2.3 CONDICIONES OROGRÁFICAS Y CLIMATOLÓGICAS

### Orografía

La orografía del municipio presenta una topo forma de sierra baja compleja con cañadas ondulada con algunas elevaciones importantes, como el cerro Kugñaduxo.

Las partes bajas del municipio están proporcionadas de la siguiente manera: sierra de laderas tendidas 3.36%, en donde se utiliza para el pastoreo del ganado y algunas zonas de reserva de vegetación; así como la propia reforestación; lomerío con cañadas 1.75%, asociados con llanuras de pendientes menores al 10 %; generalmente son zonas dedicadas a la agricultura de riego, y temporal (51.04%), el resto de la fisiografía municipal, está conformada por lomeríos con una pendiente mayor (30-40 %).

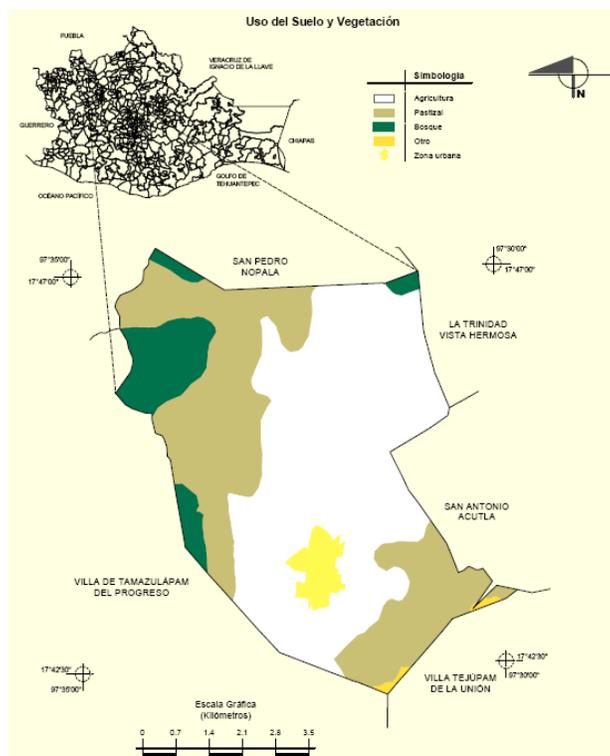


Figura 2.2. Mapa del uso de suelo y vegetación en Teotongo.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, 2008.

## **Clima**

El territorio municipal tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (99.56%) y semi-calido subhúmedo con lluvias en verano (0.44%), con verano cálido, la temperatura media anual es de 16°C con una temperatura mínima de 6° C y la máxima de 24° C; la de los meses fríos (diciembre, enero y febrero) entre 3 y 18°C, periodo en el cual se presentan heladas, en algunos años se han presentado heladas tempranas durante los meses de octubre o noviembre, del mismo modo; existen heladas tardías que se ocurren en el mes de marzo.

## **Precipitación pluvial**

La precipitación media del municipio es de 700 mm anuales, repartidos en la temporada de lluvias que se extiende desde el mes de mayo hasta octubre en el que puede presentar entre 550 y 625 mm de agua, distribuidos entre 30 y 59 días de lluvia, los meses más lluvioso son septiembre y octubre mientras que la estación seca es de noviembre a marzo. La temporada de lluvias, casi siempre se presenta tarde, en la primera semana del mes de junio. Durante el periodo de lluvias se presenta una interrupción de las lluvias conocida como canícula, en el municipio es bastante marcado y que por las características del suelo es muy difícil mantener la humedad; la canícula tiene una duración aproximada de 30 días, inicia en la tercera semana de julio y termina después del 20 de agosto.

## **Hidrografía**

Las corrientes de agua que son parte del municipio pueden dividirse en dos tipos: las perennes como Zite Mixteco, Chilatole, Segundo y Teotongo y; los intermitentes como el Llano, el Quebracho y el Salado. Todas estas corrientes forman parte de la subcuenca del Río Mixteco. Esto es en la parte de aguas superficiales.

Por otro lado se cuenta con la disponibilidad de agua subterránea, la cual se debe a la presencia del material consolidado a base de rocas calizas. Gracias a esto se cuentan con seis pozos profundos, cinco para uso agrícola ubicados de manera estratégica en diferentes puntos del territorio municipal para abastecer a la mayor cantidad de zonas de cultivo, y

uno para agua potable, este pozo es reciente inaugurado en 2010, y se encuentra cerca del área denominada junta de los ríos.<sup>5</sup>

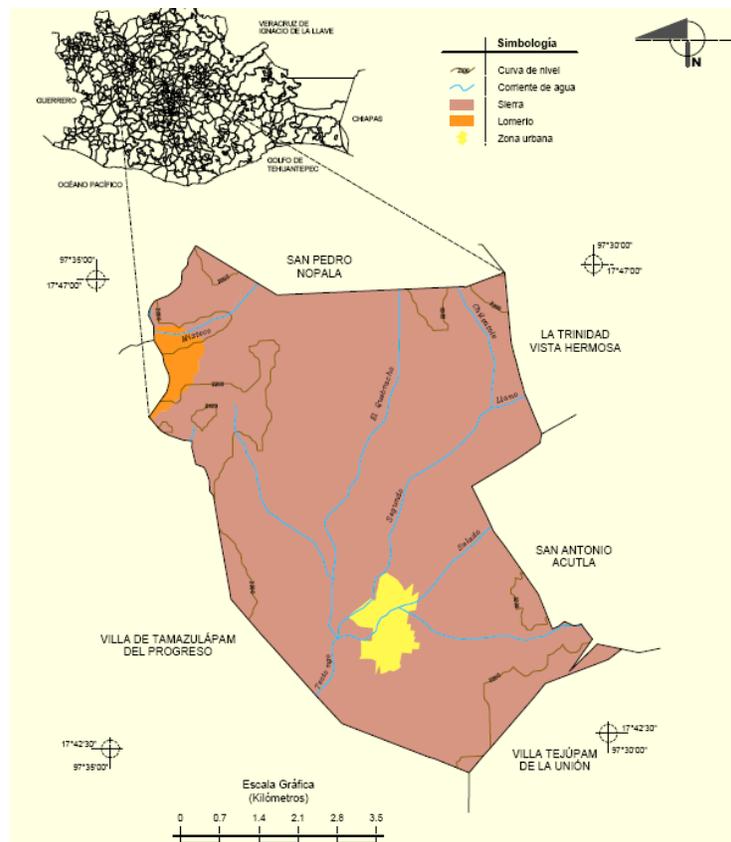


Figura 2.3. Mapa de los recursos hídricos en Teotongo<sup>6</sup>

## Erosión

El problema de erosión que presenta el municipio se menciona en el Plan de desarrollo municipal de Teotongo, 2011-2013

La mayor parte de los suelos existentes se encuentran en condiciones de erosión muy elevadas, alto contenido de calcio, pH alcalino (alrededor de 7.8), alto contenido de carbonatos, estos factores son de vital importancia para la planeación del manejo de los cultivos y la capacitación de los agricultores.

La vegetación que se presenta es una cubierta vegetal de baja densidad en zonas erosionadas de lomerío y pie de cerro, presentando una densidad media en valles y

<sup>5</sup>INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, 2008.

<sup>6</sup> Ibídem.

lomeríos pequeños así como en faldas desmontadas de cerros. Existen algunas zonas donde se presenta especies de transición entre una selva baja caducifolia y especies propias del desierto, sobre todo aquellas especies que han modificado sus hojas en espinas.

Los factores que han propiciado la lenta recuperación de los ecosistemas son el sobre pastoreo de ganado ovino y caprino extracción de leña que se realiza con frecuencia, y en los últimos años, la sustracción de especies en peligro de extinción, como las cactáceas, en especial biznagas.

Dado a la poca cobertura vegetal existente en el área del municipio y a la predominancia de lomeríos, el fenómeno de la erosión, es uno de los problemas que se presenta en la mayor parte de Municipio, lo que ha propiciado una pérdida enorme de suelos fértiles a través de los años y la insuficiente infiltración del agua de lluvia en el subsuelo, trayendo como consecuencia problemas de abastecimiento del agua, principalmente para el consumo humano, misma que se ha ido agravando año tras año. Ante estos problemas, los habitantes, la autoridad municipal y Comisariado de Bienes Comunales han emprendido la realización de obras de conservación de suelo y agua para disminuir los efectos mencionados con anterioridad. Las primeras acciones se da en el año de 1980, con la reforestación de lo que hoy que se conoce como el mirador de Juárez, Es así como se inicia el cuidado del medio ambiente en las áreas comunales, y con los proyectos Captación de Aguas Pluviales en Teotongo.



Fotografía 2.3. El campo en la región Mixteca. (Fuente propia)

## **2.4 LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN EL ESTADO DE OAXACA**

El abasto de productos básicos y la seguridad alimentaria en Oaxaca presentan una serie de problemas y necesidades de carácter prioritario. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), durante la Cumbre Mundial para la Alimentación realizada en 1996, definió que existe seguridad alimentaria "... cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a los alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida sana y activa". La seguridad alimentaria reconoce tres dimensiones en relación a los alimentos: disponibilidad, acceso y uso.

"Algunas de las razones por las cuales se presentan altos niveles de marginación y pobreza se deben a que el desarrollo económico está basado en actividades agrícolas, las cuales no han logrado desarrollarse productivamente" (Gobierno del Estado de Oaxaca, 2004).

- La deficiente o nula planeación de la producción.
- El uso de tecnologías inapropiadas.
- La escasa asesoría técnica y la falta de capacitación.
- La investigación desvinculada de lo productivo.
- La baja productividad.
- Las campañas fitosanitarias aisladas y de poco impacto.
- La exclusión de las organizaciones de productores del abasto y la comercialización.
- La ausencia de sistemas de información del sector agropecuario.
- El excesivo intermediarismo.
- La limitada y obsoleta infraestructura agroindustrial.
- El exiguo financiamiento y la inserción desventajosa de la economía en el contexto internacional.

El abasto y el acceso a los alimentos pueden abordarse con estrategias que van desde la producción para el autoconsumo o para la venta en mercados locales, impulsando el desarrollo tecnológico y las mejorando las prácticas comerciales.

## 2.5 PROYECTO DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL

En Teotongo se han gestionado proyectos para el aprovechamiento del agua de lluvia, como se da a conocer en su Plan de Desarrollo.

El Consejo Indígena Municipal Chocholteco, inició su gestión con el proyecto captación de aguas pluviales en 1999, la primera etapa fue con el apoyo de SEMARNAP. Para la segunda y tercera etapa en los años siguientes fue con el apoyo del INI (Instituto Nacional Indigenista) y CDI, en el presente año se inicio la cuarta etapa de canales a 30 niveles y obras complementarias también con el apoyo de CDI, del programa Agroecológica Productiva.



Fotografía 2.4. Reservorio de captación. (Fuente propia).

Durante la primera visita al pueblo se obtuvo información de un proyecto de captación pluvial conocido como “la olla”.

Se realizó una entrevista con integrantes del grupo que realizó el proyecto, destacándose la siguiente información:

- El proyecto ha sido desarrollado, mediante el trabajo de Tequio, por el Barrio Piedras Negras.
- Surgió por el interés de aprovechar el agua de lluvia que escurre por una carretera cercana a una zona de sembradío, los dueños de dicho terreno, en abandono, son de

edad avanzada y sus descendientes no viven en el pueblo porque han migrado al Distrito Federal. El terreno se donó a los integrantes del barrio.

- El proyecto consiste en la construcción de dos ollas de captación pluvial, con lo cual se pretende regar un terreno y generar ingresos para la agrupación.
- Actualmente, el proyecto está inconcluso por su alta inversión valuada originalmente en ochocientos mil pesos (inversión total); los pobladores comentan que el Fideicomiso del Riesgo Compartido aporta el cincuenta por ciento del costo, sin embargo debido al ingreso de los habitantes el aporte del cincuenta por ciento restante es excesivo.
- El terreno está ubicado a una distancia de trescientos metros del proyecto, su extensión es de una hectárea, se encuentra en una ladera conocida como la Nopalera. Se ha sembrado dos veces, la primera con frijol y actualmente con trigo, sin embargo, esta producción se ve obstaculizada por las carencias nutritivas del terreno, el fuerte viento que llega a presentarse y la escasa disponibilidad de agua.
- El riego es de temporal, lo que ocasiona una dependencia climatológica que se ha vuelto más extrema según la percepción de las personas de mayor edad.



Fotografía 2.5. Terreno destinado al proyecto. (Fuente propia)

## 2.6 ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

**Análisis.** Los pobladores del municipio de Teotongo ubicado en la mixteca oaxaqueña han implementado sistemas de captación pluvial para aprovechar este recurso hídrico en el riego de sus tierras de cultivo, de esta forma podrán aumentar sus ingresos económicos; esto también permitirá contrarrestar la erosión que afecta la zona y reactivar tierras abandonadas.

Debido al alto grado de erosión y clima extremo, gran parte de los habitantes de esta región migran constantemente, no existen los suficientes empleos para satisfacer la demanda, las actividades agropecuarias son principalmente de subsistencia y sus ganancias son poco redituables. Esta región es también una de las más marginadas del estado de Oaxaca, con pocas tierras de cultivo, lo que la vuelve vulnerable al desabasto alimenticio si llegaran a presentarse temporadas de sequía prolongadas, las cuales se han presentado según los relatos orales de los habitantes.

**Definición del problema.** El Barrio Piedras Negras en el Municipio de Teotongo, construyó un sistema de captación pluvial, cuyo fin es proporcionar agua durante la época de sequía para riego agrícola y reforestación, sin embargo, aunque el reservorio de captación ya está construido, no cumple con el objetivo propuesto, el agua capturada no es usada y termina por evaporarse, además por su ubicación se requiere de un sistema de bombeo que traslade el agua hasta el terreno destinado.

## **2.7 CONCLUSIONES**

A partir del análisis de la información obtenida sobre el municipio de Teotongo, se detectaron diversas necesidades y problemáticas en los ámbitos ambiental, económico y social, estrechamente relacionadas.

Debido a las dificultades climatológicas y al continuo deterioro de las zonas de cultivo, las actividades agrícolas fueron insuficientes para generar los recursos alimenticios y económicos que la sociedad demandaba, ante esto, se generó un fenómeno migratorio durante varias generaciones que aún no termina. Aunque esta migración en un principio favoreció el desarrollo del municipio, a través de la ayuda económica de los migrantes, con el tiempo se redujo sustancialmente. Las generaciones actuales están perdiendo los lazos que unían a las poblaciones migrantes, el vínculo con la comunidad originaria va desapareciendo. Los efectos de esta migración también tienen consecuencias en el nuevo asentamiento, crecimiento acelerado y sobrepoblación, que dificultan la planeación urbana.

A pesar de las circunstancias negativas, se identificó que existen oportunidades para el desarrollo de la comunidad y se cuenta con recursos valiosos como la propia organización, donde se plantean y efectúan actividades para beneficio común, fue así como surgió el actual proyecto de captación pluvial, sin embargo, la falta de capital y el escaso asesoramiento técnico, han impedido su consumación.

Identificando el problema del proyecto de captación pluvial se pretende, a partir del desarrollo de esta tesis, aportar información para determinar la tecnología de bombeo más adecuada que permita aprovechar el recurso hídrico capturado.

# CAPÍTULO 3

---

BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN, ANÁLISIS

Y GENERACIÓN DE SOLUCIONES



### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Identificado el problema, la falta de un sistema de bombeo que aproveche el agua del reservorio de captación, se procedió con la búsqueda de información para determinar si existen los suficientes recursos energéticos solar y eólico, con los cuales se podrá instalar un sistema que genere energía eléctrica y utilizarla para el funcionamiento de una bomba.

También se obtuvo un panorama general de las condiciones climatológicas del lugar, que permite tomar medidas preventivas en cuanto al diseño del sistema, las características de los componentes y principalmente para determinar el cultivo adecuado.

Las principales fuentes de información fueron La Gerencia de Energías no Convencionales del Instituto de Investigaciones Eléctricas (GEN-IIE), el proyecto GeoSpatial Toolkit de la Evaluación de los Recursos Solares y Eólicos (SWERA) desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) en el estado de Oaxaca y el Servicio Meteorológico Nacional, las dos primeras proporcionaron datos del potencial eólico y solar en la zona, mientras que la última proporcionó las condiciones climatológicas.

El tipo de cultivo fue una propuesta generada por los integrantes del Barrio Piedras Negras, que han realizado intentos anteriores con cultivos diversos sin lograr resultados satisfactorios, estas causas exigen identificar especies más resistentes a las condiciones climatológicas que generen la utilidad deseada.

Cada cultivo tiene distintos requerimientos hídricos y debido a que la fuente de agua no es permanente es necesario el aprovechamiento máximo de este recurso. Actualmente existen variadas técnicas para optimizar el riego agrícola, se identificó la más adecuada para el proyecto.

## 3.2 POTENCIAL ENERGÉTICO, SOLAR Y EÓLICO, EN EL MUNICIPIO DE TEOTONGO

### Observaciones de campo

Durante un recorrido a la zona circundante del proyecto se observaron árboles parcialmente caídos debido a la fuerza del viento.

Los árboles y arbustos, principalmente los pinos y abetos, proporcionan un buen indicador sobre la velocidad del viento, esto depende de la deformación que se observa en sus ramas algunos pueden estar ligeramente doblados y otros estarlo completamente debido a la fuerza del viento. (Gipe, 2004). Sin embargo, estos datos no predicen con certeza la velocidad promedio y es necesario recurrir a otras fuentes de información o en último caso realizar un monitoreo con un anemómetro.



Fotografía 3.2. Árboles afectados por el viento. (Fuente propia).

Para funciones descriptivas, la escala Griggs-Putnam de deformación nos proporciona información sobre el índice de deformación en los árboles debido a la velocidad del viento presente en la zona.

En la figura 3.1 se muestra la clasificación de la escala Griggs-Putnam y la tabla 3.1 nos proporciona información de la velocidad del viento.

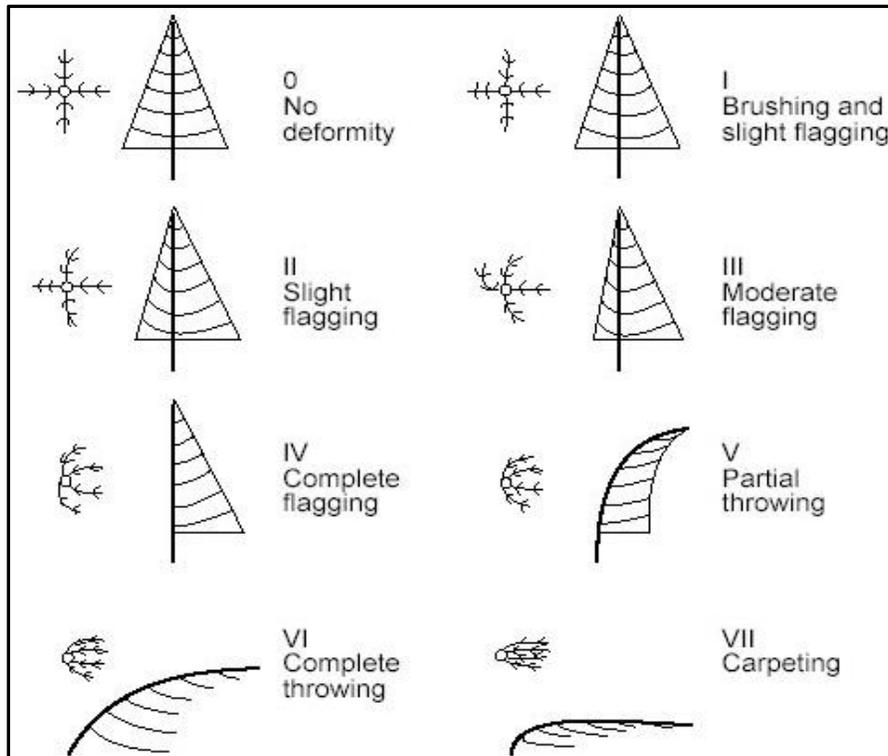


Figura 3.1. Griggs-Putnam Index of Deformity.

(Gipe, 2004, pág. 47).

Griggs-Putnam Index of Deformity							
	Index						
Wind Speed	I	II	III	IV	V	VI	VII
mph	7-9	9-11	11-13	13-16	15-18	16-21	22
m/s	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	10

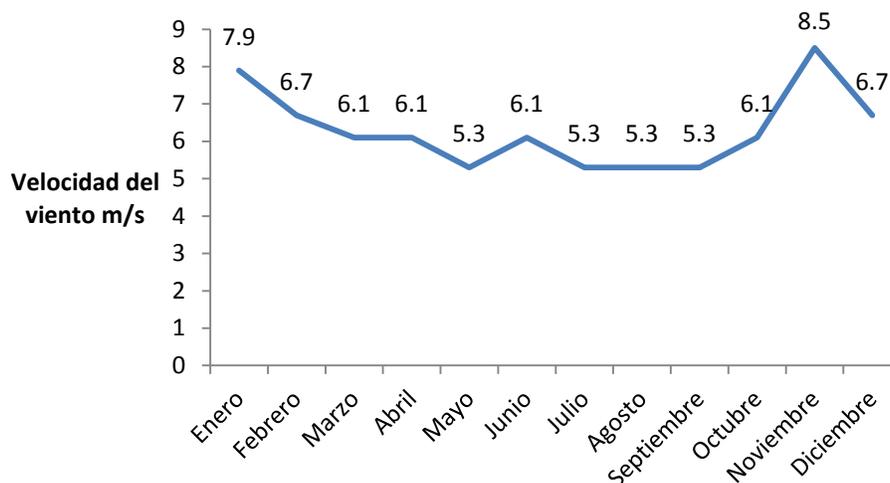
Tabla 3.1. Índice de deformidad.

(Gipe, 2004, pág. 47).

Comparando los ejemplares encontrados con los datos de la figura, la deformidad presenta un índice en el rango III-V, lo que representa una velocidad del viento aproximada de 5m/s a 8m/s.

## Recurso eólico

La velocidad del viento para el Municipio de Teotongo fue la siguiente.



Gráfica 3.1. Comportamiento de la velocidad del viento anual m/s.<sup>7</sup>

El generador de metadatos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), mostró que la zona del proyecto cuenta con una densidad de  $300\text{W}/\text{m}^2$ . Esto ubica un recurso escaso de acuerdo a la siguiente tabla.

Clase	Potencial del Recurso (Escala comercial)	Densidad de Potencia del Viento ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) @ 50 m agl	Velocidad del Viento <sup>(a)</sup> (m/s) @ 50 m agl
1	Pobre	0 – 200	0.0 – 5.3
2	Escaso	200 – 300	5.3 – 6.1
3	Moderado	300 – 400	6.1 – 6.7
4	Bueno	400 – 500	6.7 – 7.3
5	Excelente	500 – 600	7.3 – 7.7
6	Excelente	600 – 800	7.7 – 8.5
7	Excelente	> 800	> 8.5

Tabla 3.2. Clasificación de la potencia del viento  
(Elliott, D., et al, 2004, pág. 18).

“Para aplicaciones rurales o fuera de la red los recursos de clase 2 y mayores pueden ser suficientes para un desarrollo eoloelectrico viable” (Elliott, D. et al, 2004, pág. 25).

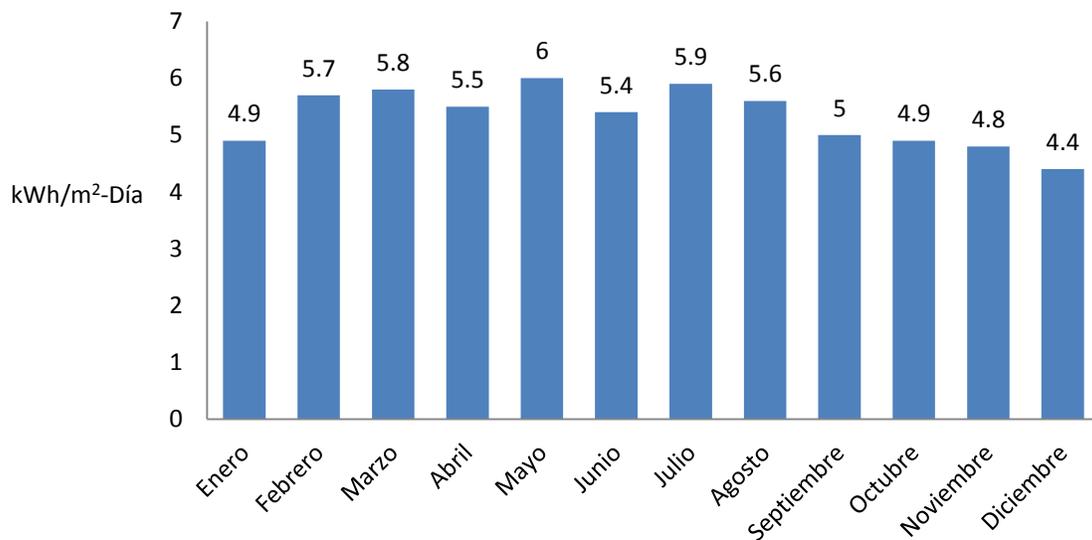
El mapa de los recursos eólicos en el Estado de Oaxaca se puede apreciar en el **Anexo 1**.

<sup>7</sup> <http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar/Default.aspx>

## Recurso solar

El recurso solar de una región se evalúa de acuerdo a la cantidad de radiación proveniente desde el sol, sin embargo no siempre se tiene el mismo valor para un lugar determinado, esto debido a la variación de inclinación de la tierra y a situaciones atmosféricas como la nubosidad.

Los valores de radiación solar en la república mexicana son privilegiados, presentar un promedio anual de  $5.3\text{kWh/m}^2$  al día. En Oaxaca la distribución anual se presenta en la siguiente gráfica.



Gráfica 3.2. Insolación global media, en Oaxaca.<sup>8</sup>

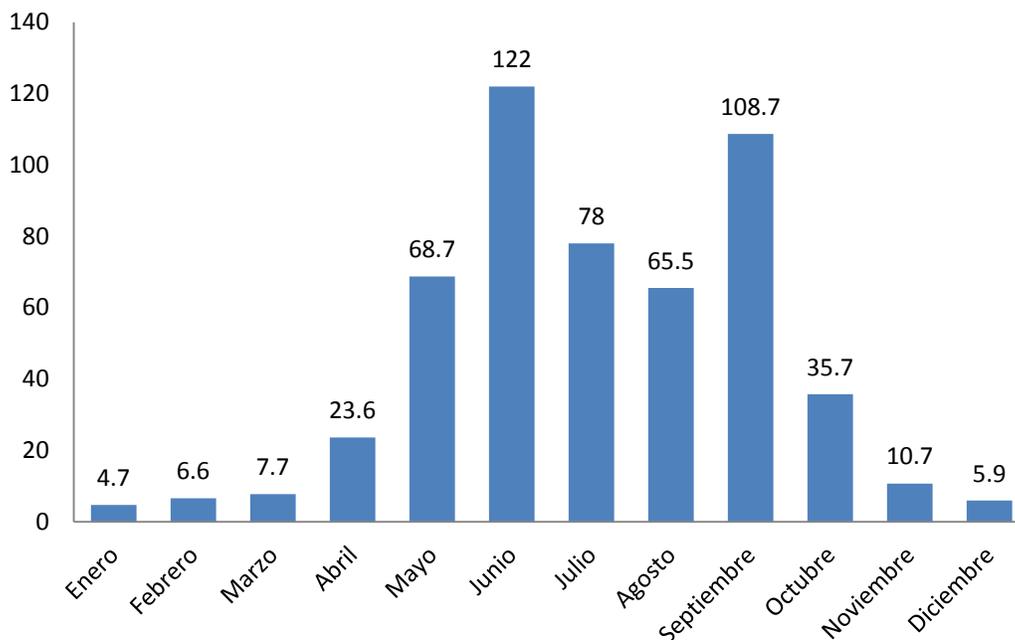
	kWh/m <sup>2</sup> -Día
Valor mínimo	4.4
Valor Máximo	6.0
Valor promedio	5.3

Tabla 3.3. Valores máximos de radiación solar.

<sup>8</sup> Sistema de Información Geográfica Para las Energías Renovables, SIGER. Instituto de Investigaciones Eléctricas.

### 3.3 NORMALES CLIMATOLÓGICAS

Las normales climatológicas se definen como medias de datos climatológicos, calculadas para periodos consecutivos de veinte a treinta años. Para el municipio de Teotongo son las siguientes.



Gráfica 3.3. Precipitación anual normal mm<sup>9</sup>

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Valor	29.5	88	47	64.3	263	332.5	206	191	268	108.5	39.3	67
Año	1980	1983	1983	1985	1982	1985	1979	1995	1975	1971	1972	1995

Tabla 3.4. Precipitación máxima mensual ocurrida mm<sup>10</sup>

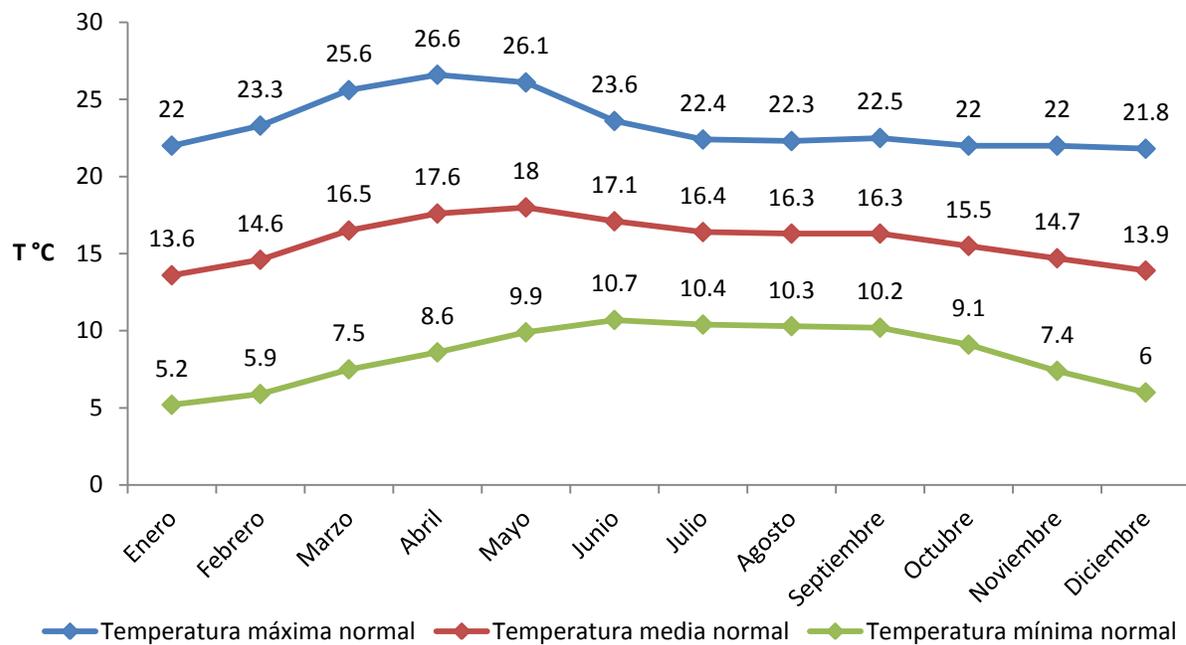
Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
169.7	165.1	206.5	214.8	214.1	152.7	170.2	168.4	157.5	159.7	156.9	161.8

Tabla 3.5. Evaporación total normal mm<sup>11</sup>

<sup>9</sup> Servicio meteorológico nacional, normales climatológicas 1971-2007, Teotongo.

<sup>10</sup> Ibídem

<sup>11</sup> Ibídem



Gráfica 3.4. Temperatura máxima y mínima normal °C.<sup>12</sup>

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Valor	35	35	34	37	35	31	30	29	31.5	29	33	34
Día	28	03	11	22	20	01	25	13	23	08	18	06
Año	1974	1975	1973	1971	1978	1973	1975	1974	1982	1977	1973	1974

Tabla 3.6. Temperatura máxima diaria ocurrida °C<sup>13</sup>

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Valor	0	-1	1	1	2.5	3	0	2	2	0	0	0
Día	13	09	20	27	03	23	05	04	05	29	27	21
Año	1973	1978	1988	1997	2000	1973	1973	1973	1973	1999	1995	1982

Tabla 3.7. Temperatura mínima diaria ocurrida °C<sup>14</sup>

<sup>12</sup> Servicio meteorológico nacional, normales climatológicas 1971-2007, Teotongo.

<sup>13</sup> Ibídem.

<sup>14</sup> Ibídem.

### 3.4 PROPUESTA DE CULTIVO Y MÉTODO DE RIEGO

Los integrantes del barrio piedras negras han propuesto que uno de sus proyectos futuros es la siembra de nopal tunero (tentativamente); por el momento se ha cultivado frijol y trigo que han dado una producción escasa, sin embargo, el sistema de captación se encuentra inconcluso y no aporta ningún beneficio adicional a la actividad agrícola.

Como punto de partida se realizó la búsqueda de información sobre este cultivo.

Producción nopal tuna y forrajero
<p>Uno de los íconos más representativos de la cultura mexicana es el nopal, parte importante del legado de nuestros pueblos prehispánicos. Existen evidencias de su uso desde hace más de 9 000 años, pertenece a la familia Cactaceae, subgéneros <i>Opuntia</i> y <i>Nopalea</i>. Son originarias del continente americano y se encuentran desde el norte de Canadá hasta el sur de Chile. Actualmente se han introducido en más de 30 países, donde se aprovechan en la producción de tuna, verdura, forraje y como substrato en la cría de la cochinilla; así, se ha transformado en una planta cosmopolita. (Méendez y García, 2006).</p>
<p>Una de las grandes ventajas que posee nuestro país en la producción de tuna es la riqueza genética del nopal; ésta permite ofrecer al mercado frutos con una diversidad de tonalidades (rojo, blanco, amarillo) y con una amplia estacionalidad, frutos de maduración temprana (mayo), intermedia (agosto) y tardía (noviembre), con lo cual se puede tener presencia en el mercado la mayor parte del año. (Méendez y García, 2006).</p>
<p>El nopal verdura se utiliza tanto para consumo humano como para consumo animal. Para el ganado, el valor alimenticio es bueno por la capacidad que tiene principalmente para transformar celulosa. (SAGARPA, 2004)</p>

Tabla 3.8. Información del cultivo propuesto

Estos cultivos, nopal tuna o forrajero, se perciben como factibles para la zona porque las especies son propias de la región o se adecuan a ella y presentan una resistencia natural al clima.

Para incrementar la producción del nopal, se realizó la búsqueda de información sobre el método de riego que maximice el aprovechamiento del vital líquido. Encontrándose la siguiente información.

Riego por goteo	
<p>El riego por goteo es un método de irrigación utilizado en las zonas secas y áridas, es el sistema que tiene más eficiencia y permite la utilización óptima de agua y abonos.</p> <p>El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces mediante un sistema de tuberías y emisores.</p>	
Ventajas	Inconvenientes
<p>Permite utilizar caudales pequeños de agua.</p> <p>Reducción considerable de la evaporación.</p> <p>Posibilidad de automatizar completamente el sistema de riego, con los consiguientes ahorros en mano de obra.</p> <p>Adaptación más fácil en terrenos rocosos o con fuertes pendientes.</p> <p>Reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas.</p> <p>Permite el aporte controlado de nutrientes con el agua de riego.</p>	<p>Costo elevado de la instalación, se necesita una inversión elevada, debido a la cantidad importante de emisores, tuberías, equipamientos especiales en el cabezal de riego. Sin embargo, el aumento relativo de coste con respecto a un sistema convencional no es prohibitivo.</p> <p>Alto riesgo de obturación de los emisores, y el consiguiente efecto sobre la uniformidad del riego. Esto puede ser considerado como el principal problema en riego por goteo.</p>

Tabla 3.9. Características del método de riego seleccionado<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Ministerio de Agricultura y ganadería, 2010, Pág. 47-49. Adaptación propia.

### **3.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y GENERACIÓN DE SOLUCIONES**

La información obtenida muestra que en la zona del proyecto existen los recursos energéticos renovables suficientes para ser aprovechados en la generación de energía eléctrica. Las dos fuentes energéticas son el viento y la radiación solar, pero el recurso solar se encuentra sobre los niveles óptimos durante todo el año, con una disminución poco perceptible durante los meses de invierno debido a la nubosidad. En cambio el recurso eólico, aunque aprovechable, es escaso.

Los datos climatológicos muestran las escasas lluvias en la región, y su presencia durante una corta temporada, que se ve afectada por el fenómeno conocido popularmente como “canícula”, una sequía intermedia que afecta gravemente el desarrollo de los cultivos de temporal. Si la temporada de lluvia se retrasa los agricultores se ven obligados a sembrar a destiempo ocasionando que el cultivo se traslape con la estación de invierno produciéndose pérdidas por heladas o granizadas. La temporada de sequía se inicia en invierno y dura aproximadamente seis meses, esto ocasiona que cultivos perenes en zonas alejadas de reservas acuíferas sean inviables por la ausencia del vital líquido.

Ante esta variabilidad climatológica, el cultivo de nopal se percibe como viable, debido a la resistencia natural de las plantas en condiciones extremas de temperatura, a demás de ser una especie autóctona que los pobladores conocen ampliamente.

Por la versatilidad del nopal verdulero, que puede ser utilizado como autoconsumo y como forraje para ganado, se elegirá como el cultivo de estudio para efectos de la tesis, sin descartarse la opción del nopal tunero, algún otro cultivo o la siembra de árboles para propósito de reforestación.

El sistema de riego por goteo presenta la mejor alternativa para el aprovechamiento de agua, que es de vital importancia durante los primeros meses de siembra, y para aumentar su productividad cuando alcanzan su madurez, sin embargo, para el correcto funcionamiento de los goteros, el agua debe llegar limpia y no contener sólidos que obstruyan los obstruyan, haciendo necesaria su filtración, lo cual se lograría al implementarse filtros durante el proceso de bombeo.

## **Planteamiento de la solución y objetivos**

**Solución.** Implementar un sistema de bombeo, abastecido energéticamente por una fuente renovable, que permita trasladar el agua desde el reservorio de captación hacia el terreno de cultivo.

### **Objetivo principal**

- Determinar la viabilidad de la solución propuesta.

### **Objetivos secundarios**

- Dimensionar el sistema de bombeo para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo seleccionado.
- Comparar las ventajas y desventajas técnicas-económicas del sistema propuesto con otros sistemas de bombeo, para elegir el más adecuado.
- Determinar si la solución planteada y el proyecto en general son correspondientes con la definición de desarrollo sustentable.
- Aportar información útil para el desarrollo de proyectos semejantes con fuentes de energía renovable.

### **3.6 CONCLUSIONES**

El monitoreo que se ha realizado por los institutos de investigación nacional e internacional facilitaron la identificación de zonas con potencial energético, lo que representa una gran ventaja en estudios de viabilidad. Esta información arrojó datos de gran relevancia; la zona donde se lleva a cabo el proyecto cuenta con los recursos solares suficientes para implementar el sistema propuesto, en comparación con el recurso eólico que es escaso y variable, estas fueron las causas principales por las que se optó por la energía solar.

Los datos climatológicos mostraron las condiciones extremas presentes en la región, que fueron consideradas dentro de la propuesta, cultivo de nopal, esta planta presenta una resistencia natural a estas condiciones, por lo que se percibe como potencialmente viable, además, los pobladores tienen conocimientos sobre el cultivo y uso de la planta, lo cual facilita su manejo para auto consumo o venta.

Actualmente existen técnicas avanzadas que permiten maximizar el aprovechamiento de agua, como el sistema de riego por goteo, su implementación en el proyecto es posible tomando ciertas consideraciones como el filtrado de agua para no obstruir los goteros con partículas sólidas.

Con el análisis de la información recabada se planteó una posible solución basada en el uso de energía solar fotovoltaica, y se definió el objetivo principal de esta tesis, determinar la viabilidad de la propuesta mediante la comparación con otras tecnologías disponibles.

Todas estas acciones pretenden que el proyecto emprendido por los pobladores del Municipio de Teotongo sea finalizado y genere los beneficios deseados.

# CAPÍTULO 4

---

## VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA



## 4.1 INTRODUCCIÓN

Un estudio de viabilidad es fundamental en la toma de decisiones, muestra los elementos más importantes para la aprobación de un proyecto.

Nassir Sapag (2007) menciona que existen tres variables principales que condicionan el éxito o el fracaso de una inversión: viabilidad técnica, viabilidad económica, viabilidad legal. (pág. 22).

- Viabilidad técnica. Busca determinar si es posible física o materialmente, “hacer” un proyecto. En algunos casos, el estudio de viabilidad puede llegar, incluso, a evaluar la capacidad técnica y el nivel de motivación del personal de la empresa que se involucraría en el nuevo proyecto.
- Viabilidad legal. Se refiere a la necesidad de determinar tanto la inexistencia de trabas legales para la instalación y operación normal del proyecto, como la falta de normas internas en la empresa.
- Viabilidad económica. Busca definir, mediante la comparación de los beneficios y costos estimados de un proyecto, si es rentable la inversión que demanda su implementación.

Para determinar la viabilidad técnica de la propuesta se diseñó el sistema de bombeo con energía fotovoltaica y los accesorios correspondientes. Se dimensionaron los sistemas de bombeo opcionales, con energía de la red eléctrica y con un motor de combustión interna.

La viabilidad económica se definió comparando el costo de inversión y operación de cada sistema durante veinte años que es el ciclo de vida útil en sistemas fotovoltaicos.

La viabilidad legal queda fuera de los alcances de esta tesis, considerando que no existen problemas de este tipo, de acuerdo a la información proporcionada por los integrantes del barrio Piedras Negras, quienes son dueños del terreno y están constituidos como sociedad civil.

## 4.2 RECURSOS HÍDRICOS

El sistema de captación comprende la carretera, parte de una ladera y la superficie expuesta del reservorio.



Fotografía 4.2. Vista del área de escurrimiento. (Fuente propia)

	Carretera	Ladera
Largo	300m	50m
Ancho	6.5m	10m
Área de escurrimiento	1950m <sup>2</sup>	500m <sup>2</sup>

Tabla 4.1. Dimensiones del área de escurrimiento. (Fuente propia)

### Volumen del reservorio de captación

El reservorio de captación tiene la forma de un cono truncado con las siguientes dimensiones.

Radio superior  $R_1=10\text{m}$ ,

Radio inferior  $R_2=6.5\text{m}$ ,

Profundidad  $H= 2\text{m}$ .

Sustituyendo estos valores en la fórmula para el volumen de un cono truncado obtenemos el volumen.

$$V = \frac{1}{3}\pi H[R_1^2 + R_2^2 + (R_1R_2)] \dots\dots\dots (4-1)$$

$$V= 434.06\text{m}^3$$

### Precipitación pluvial aprovechable

Debido a los problemas de infiltración y evaporación no se puede aprovechar toda el agua que cae durante la lluvia, esto depende principalmente del tipo de superficie y climatología del lugar. La siguiente tabla muestra la eficiencia de escurrimiento, en distintas superficies.

Eficiencia	Tipo de superficie
90%	Superficies lisas, impermeables como techos en metal, teja asfáltica, de concreto, entre otros.
80%	Superficies en grava o pavimentadas
60%	Para suelos tratados
30%	Suelos en su estado natural

Tabla 4.2. Eficiencias de escurrimiento estimado.<sup>16</sup>

La siguiente fórmula proporciona aproximación de la precipitación pluvial aprovechable. (Velasco-Molina, 1991, pág. 158, adaptación propia)

$$CE[S(PPPA)] + PPPA(SE)=PPAA \dots \dots \dots (4-2)$$

- CE      Coeficiente de escurrimiento
- S        Superficie inclinada de captación m<sup>2</sup>
- PPPA    Precipitación pluvial promedio anual m
- SE       Superficie expuesta m<sup>2</sup>
- PPAA    Precipitación pluvial anual aprovechable m<sup>3</sup>

En este caso se tiene áreas con coeficientes distintos, la carretera (pavimento) y el terreno (suelo en su estado natural). Se eligió CE1, S1 para pavimento y CE2, S2 para el suelo en estado natural, a demás, el análisis se hará para cada mes del año, se modificará PPPA por PPPM (Precipitación pluvial promedio mensual) y PPAA por PPMA (precipitación pluvial mensual aprovechable), sustituyendo en (4-2) tenemos:

$$CE1[S1(PPPM)] + CE2[S2(PPPM)] + PPPM(SE)=PPMA \dots \dots \dots (4-3)$$

<sup>16</sup> Frasier y Myers, 1983. Citado por Ministerio de Agricultura y ganadería, 2010, pág. 11.

- CE1      Coeficiente de escurrimiento para pavimento
- CE2      Coeficiente de escurrimiento para suelo en estado natural
- S1        Superficie inclinada del pavimento  $m^2$
- S2        Superficie inclinada del suelo en estado natural  $m^2$
- SE        Superficie expuesta del reservorio de captación  $m^2$
- PPPM    Precipitación pluvial promedio mensual  $m$
- PPMA    Precipitación pluvial mensual aprovechable  $m^3$

Los valores conocidos son:

$$CE1 = 0.8$$

$$CE2 = 0.3$$

$$S1 = 1950m^2$$

$$S2 = 500m^2$$

$$SE = 314.159m^2$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (4-3) se tiene:

$$0.8[1950m^2(PPPM)] + 0.3[500m^2(PPPM)] + PPPM (314.159m^2) = PPMA$$

Simplificando

$$1560m^2PPPM + 150m^2PPPM + 314.159m^2PPPM = PPMA$$

$$PPPM (1560m^2+150m^2+314.159m^2) = PPMA$$

Finalmente se obtiene la ecuación buscada:

$$PPMA = 2024.159PPPM m^3 \dots\dots\dots (4-4)$$

Sustituyendo los valores de la gráfica 3.3 en la ecuación (4-4) se obtienen los valores de la precipitación mensual a lo largo del año que se muestran en la siguiente tabla:

Mes	Precipitación pluvial mensual aprovechable m <sup>3</sup>	Precipitación pluvial acumulada m <sup>3</sup>
Enero	9.513	9.513
Febrero	13.359	22.872
Marzo	15.586	38.458
Abril	47.770	86.228
Mayo	139.059	225.287
Junio	246.947	472.234
Julio	157.884	630.118
Agosto	132.582	762.7
Septiembre	220.026	982.726
Octubre	72.262	1054.988
Noviembre	21.658	1076.646
Diciembre	11.942	1088.588
Total anual	1088.588	1088.588

Tabla 4.3. Precipitación aprovechable.

(Fuente propia, elaborado con datos de la gráfica 3.3 aplicando la ecuación 4.4)

La precipitación total acumulada no es correspondiente con la realidad, debido a los procesos de evaporación y filtración. Sin embargo muestran la cantidad máxima de agua aprovechable que escurre por la ladera y el pavimento.

### **Evaporación y filtración**

La evaporación y filtración representan el principal obstáculo para mantener el agua en el reservorio. En marzo de 2012, se realizó una medición, obteniéndose una profundidad de treinta centímetros, un 10% de la capacidad máxima. “Para resolver estos problemas se recomienda diseñar reservorios con la menor superficie expuesta, así como el empleo de coberturas, sarán y otros, para aminorar el efecto de los factores ambientales y utilizar un revestimiento totalmente impermeable.”<sup>17</sup> Un análisis más detallado del proceso de evaporación y su cuantificación puede ser consultado en Estudio FAO Riego y drenaje 56.

<sup>17</sup> Ministerio de Agricultura y ganadería, 2010, Pág. 18.



Fotografía 4.3. Vista del reservorio en temporada de sequía. (Fuente propia)

El agua será bombeada a un tanque de almacenamiento, con lo cual se esperan los siguientes beneficios:

- Facilitará la integración de un filtro que eliminará partículas sólidas y se obtendrá agua limpia que será almacenada en el tanque
- Se reducirán los problemas de evaporación y filtración
- Con la integración del tanque podrán agregarse fertilizantes para mejorar el desarrollo de la planta o controlar plagas y enfermedades
- En caso de ser insuficiente el agua en el reservorio durante la época de sequía, puede llenarse el tanque con una pipa

### **Necesidades hídricas**

El volumen de agua necesario se calculará con los datos obtenidos en el trabajo *Productividad del Agua en el Cultivo de Nopal con Riego por Goteo en la Comarca Lagunera*, realizado por investigadores de la Unidad Regional de Zonas Áridas, ubicada en Bermejillo Durango, perteneciente a la Universidad Autónoma de Chapingo.

Se debe tener en cuenta que la información proporciona resultados para clima y suelo específicos en la Comarca Lagunera y no son del todo correspondientes con los del municipio de Teotongo, sin embargo son útiles para realizar una aproximación.

### Volumen de agua necesario y área de cultivo

La temporada seca comprende los meses de noviembre hasta abril, aproximadamente seis meses. Para el riego de nopal verdulero variedad *Opuntia ficus 69*, que destaca en producción y menor número de espinas, las necesidades hídricas recomendadas son de un 30% a un 45% de la evaporación diaria (Flores, A. y Orona, I., 2006), para minimizar gastos se recomienda el 30%.

“A menor aplicación de agua se advierte mayor productividad en todas las variedades y con todos los sistemas de riego, lo que confirma el escaso requerimiento de agua del nopal para sus funciones metabólicas. Con aplicación excesiva de agua, la planta es afectada por hongos y bacterias que originan pudriciones, clorosis y, en general deficiente desarrollo vegetativo” (De la Rosa y Santamaría, 1998, citado por Flores, A y Orona, I., 2003, pág. 198)

Mes	Evaporación mensual mm	Evaporación mensual al 30% mm
Enero	169.7	50.91
Febrero	165.1	49.53
Marzo	206.5	61.95
Abril	214.8	64.44
Noviembre	156.9	47.07
Diciembre	161.8	48.54
Total	1074.8	322.44

Tabla 4.4. Volumen de agua por metro cuadrado necesario en temporada de sequía.

(Fuente propia, elaboración con datos de la tabla 3.5)

Se necesitan 322.44 litros por metro cuadrado durante la temporada de sequía.

Con este valor se determinó una aproximación del área que puede ser regada con el agua del reservorio, dividiendo la cantidad disponible entre el volumen necesitado.

$$\underline{\text{Área de riego} = 434\,060(\text{L})/322.44(\text{L}/\text{m}^2) = 1346.172\text{m}^2}$$

Esta área representa solo el 13% del terreno de cultivo, sin embargo, la distribución de nopales se hace en surcos con espacio entre cada planta, ocupando aproximadamente el doble del área, un 25% del total.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el reservorio es insuficiente para capturar las necesidades hídricas de una hectárea de cultivo; podrían incrementarse al doble las dimensiones actuales para capturar la máxima cantidad de agua y abastecer un 50% de la superficie agrícola.

Considerando que solo se regará el 25% del área cultivable, de acuerdo a las dimensiones actuales del reservorio, las necesidades hídricas para cada mes durante la temporada de sequía se muestran en la siguiente tabla.

Mes	Demanda total el área de riego [L]
Enero	68533.6
Febrero	66675.9
Marzo	83395.4
Abril	86747.3
Noviembre	63364.3
Diciembre	65343.2

Tabla 4.5. Demanda de agua para el 25% del área de cultivo en temporada de sequía.

(Fuente propia, obtenida al multiplicar el área de riego por el volumen necesitado)

La demanda máxima diaria se calcula a partir de los datos obtenidos en la tabla 4.5, dividiendo este valor entre el número de días del mes de mayor demanda, Abril.

$$\underline{\text{Volumen máximo diario}} = 87\text{m}^3/30 = 2.9\text{m}^3 \approx 3\text{m}^3 = 3000\text{lt}$$

Debido a que se recomienda un riego poco frecuente para las plantas de nopal, este no debe ser diario, por lo que se propone un riego semanal. Esto es posible almacenando el agua diariamente en el tanque de almacenamiento, para utilizarse solo una vez por semana.

### 4.3 CÁLCULO DEL CICLO HIDRÁULICO

El ciclo hidráulico de un proyecto permite determinar la tecnología apropiada para el bombeo. El tamaño y tipo de sistema está en relación directa con el producto de la carga dinámica total (CDT) y el volumen del agua diario necesario, este producto se conoce como ciclo hidráulico. La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD). (FIRCO, 2001).

$$CDT = CE + CD = [\text{Nivel estático} + \text{altura de descarga}] + [\text{abatimiento} + \text{fricción}]$$

#### Carga estática

La carga estática es la distancia vertical que se desplazará el agua desde el espejo del agua, antes del abatimiento, hasta la altura de descarga. El cálculo de la carga estática se realiza directamente.

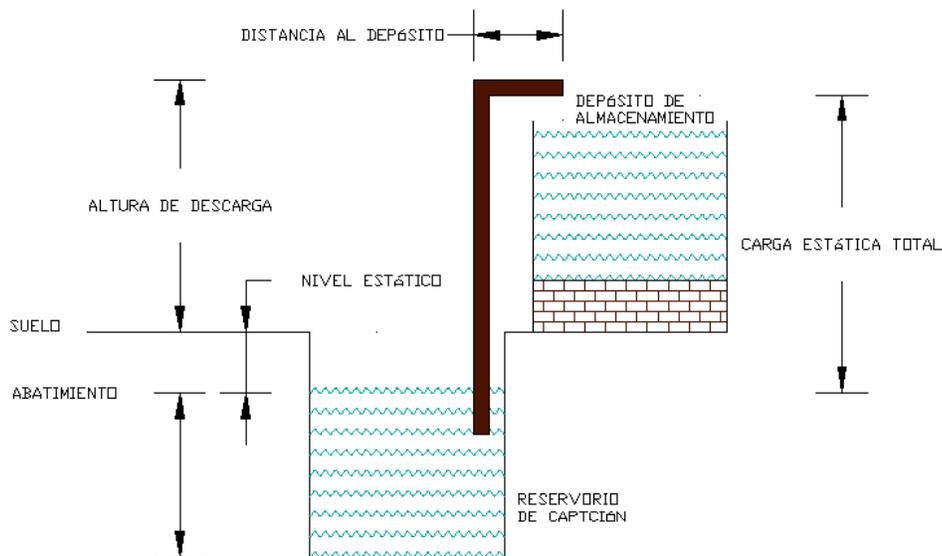


Figura 4.1. Elementos a considerar para el cálculo del ciclo hidráulico  
(FIRCO, 2001, Adaptación propia)

Carga estática total= Nivel estático + abatimiento + altura de descarga

Nivel estático = 0.5m

Altura de descarga = 8m

Carga estática total= 0.5m + 8m= 8.5m

### Carga dinámica

El abatimiento corresponde a la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante de extracción. Para el caso de estudio corresponde a la profundidad del reservorio ya que no se recarga durante la sequía.

La carga dinámica total comprende el abatimiento y el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo del agua debido a la rugosidad de tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación. El diámetro de los tubos también influye, entre más estrechos se presenta mayor resistencia.

### Ecuación de continuidad

El método de cálculo de la velocidad de flujo en un sistema de ductos cerrados depende del principio de continuidad. Para un fluido que circula con un flujo volumétrico constante entre dos secciones, la cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección en cierta cantidad de tiempo es constante. (Mott, 2006, pág. 156)

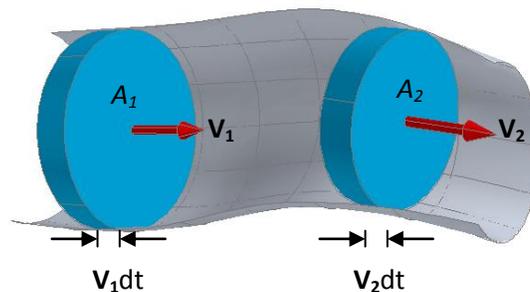


Figura 4.2. Flujo volumétrico constante en un ducto cerrado. (Fuente propia)

Esto indica que la masa es la misma en ambas secciones. Expresado en términos del flujo másico:

$$M_1 = M_2$$

En su forma equivalente:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \dots \dots \dots (4-5)$$

Donde

A= Área de la sección transversal del ducto

V= Velocidad promedio del fluido

$\rho$ = Densidad del fluido

Para el caso de estudio se trata de un líquido incomprensible, por lo que  $\rho_1$  y  $\rho_2$  son equivalentes en la ecuación (4-5).

$$A_1V_1=A_2V_2 \dots \dots \dots (4-6)$$

El producto AV se le conoce como flujo volumétrico Q o comúnmente caudal. Por lo que la ecuación (4-6) puede expresarse como:

$$Q_1=Q_2=Q \dots \dots \dots (4-7)$$

### Ecuación de Bernoulli

Un elemento de fluido, dentro de una tubería en un sistema de flujo, posee las siguientes formas de energía E:

- Energía potencial. Debido a su elevación. wz
- Energía cinética. Debido a su velocidad.  $wv^2/2g$
- Energía de flujo. Representa la cantidad de trabajo para mover el elemento de fluido a través de cierta sección contra la presión p.  $w p/\gamma$

w= peso del elemento

z= elevación

v= velocidad

p= presión

$\gamma$ = peso específico del fluido

La cantidad total de energía del elemento de fluido es la suma de estas tres formas.

A partir de la ley de la conservación de la energía “no se crea ni se destruye, solo se transforma”. Si no hay energía que se agregue o pierda entre dos secciones de la tubería, esta se conserva:

$$E_1 = E_2$$

$$w \frac{p_1}{\gamma} + wz_1 + w \frac{v_1^2}{2g} = w \frac{p_2}{\gamma} + wz_2 + w \frac{v_2^2}{2g} \dots \dots \dots (4-8)$$

Como el peso del elemento es común en todos los términos, en la ecuación (4-8), este se elimina y se obtiene la siguiente ecuación conocida como ecuación de Bernoulli.

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \dots \dots \dots (4-9) \quad \text{Ecuación de Bernoulli}$$

Dadas las condiciones de flujo volumétrico y los accesorios utilizados en el diseño del sistema, figura 4.3, se realizará un cálculo de las pérdidas de energía debido a codos, válvulas, y fricción producidos en la tubería.

### Ecuación general de la energía

Para una evaluación más aproximada de la potencia necesaria que requerirá una bomba para trasladar el líquido, se realizará una evaluación de las pérdidas y ganancias energéticas en el sistema. A la ecuación (4-9) se le agregan dos tipos de carga, la cedida por la bomba, y la que se pierde por fricción o por pérdidas menores en válvulas y codos.

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \dots \dots \dots (4-10) \text{ Ecuación general de la energía}$$

$\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma}$  Carga de presión

$z_1, z_2$  Carga de elevación

$\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g}$  Carga de velocidad

$h_A$  Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico

$h_L$  Pérdidas de energía por fricción o por válvulas y otros accesorios

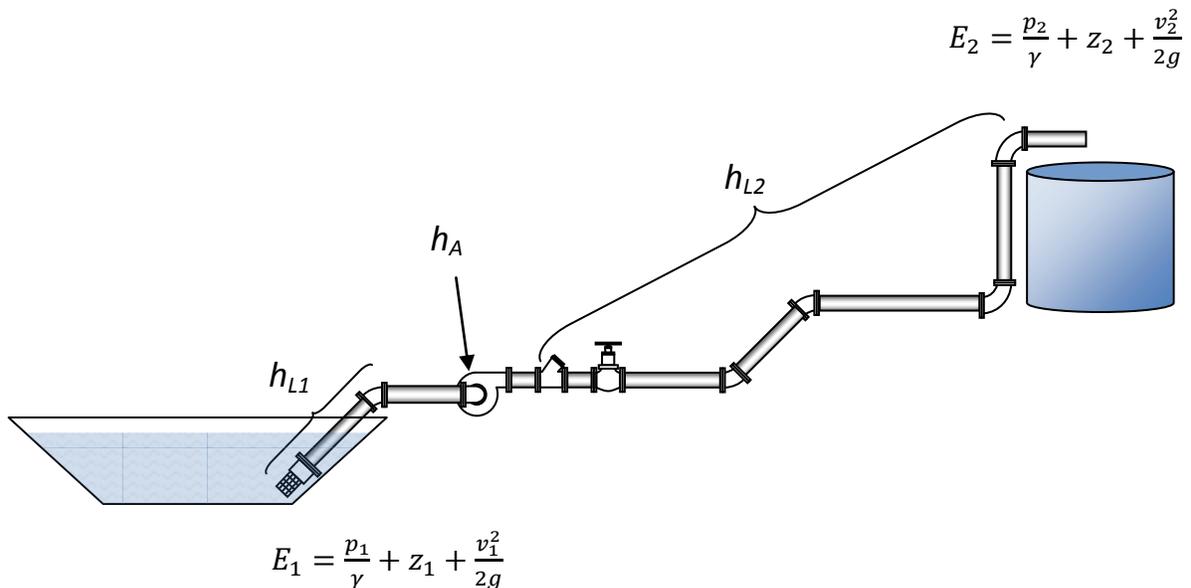


Figura 4.3. Diagrama de componentes del sistema de bombeo. (Fuente propia).

A partir de la ecuación general de la energía (4-10), se indica que las pérdidas por fricción para la tubería de succión es  $h_{L1}$  y para la tubería de descarga  $h_{L2}$ , se tiene:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_{L1} - h_{L2} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \dots \dots \dots (4-11)$$

De la ecuación (4-11) se despeja  $h_A$ , que representa la energía que se agrega al fluido o carga útil de la bomba.

$$h_A = \left( \frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} \right) + (z_2 - z_1) + \left( \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) + (h_{L1} + h_{L2}) \dots \dots \dots (4-12)$$

El fluido que sale de la tubería se encuentra expuesto a la atmósfera, por lo tanto la presión  $p_2$ , en este punto, se considera igual a cero.

$$p_2 = 0$$

$$\underline{p_2/\gamma = 0}$$

El término  $p_1/\gamma$  representa la presión en el fondo del reservorio debido a la columna de agua y es igual a la altura de columna de agua, en este caso 2 de columna de agua.

$$\underline{- p_1/\gamma = -2m.c.a}$$

El valor de  $(z_2-z_1)$  es la carga estática total, la distancia vertical del punto de succión al punto de descarga, que es equivalente a 10.5m.

$$\underline{z_2-z_1 = 10.5m.c.a}$$

El cálculo de las velocidades  $v_1$  y  $v_2$ , se realiza a partir del flujo volumétrico deseado y el área transversal de las tuberías.

$$Q = 3m^3/h$$

$$Q = 8.333 \times 10^{-4} m^3/s$$

La tubería de succión tendrá un diámetro de 1 ¼". Para una tubería de acero cédula 40 de 1 ¼" el diámetro interior es de 35.1mm. El valor del área transversal  $A_1$  es:

$$A_1 = 9.676 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

Despejando  $V_1$  de la ecuación de continuidad (4-7) y sustituyendo los valores correspondientes de  $Q$  y  $A_1$

$$V_1 = Q/A_1 = (8.333 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}) / (9.676 \times 10^{-4} \text{m}^2)$$

$$V_1 = 0.861 \text{m/s}$$

La tubería de descarga tendrá un diámetro de 1". Para una tubería de acero cédula 40 de 1" el diámetro interior es de 26.6mm. El valor del área transversal  $A_2$  es:

$$A_2 = 5.557 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

El valor de la velocidad  $V_2$  a partir de la ecuación de continuidad (4-7) es:

$$V_2 = Q/A_2 = (8.333 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}) / (5.557 \times 10^{-4} \text{m}^2)$$

$$V_2 = 1.499 \text{m/s}$$

### Número de Reynolds

Las pérdidas por fricción ( $h_L$ ), se calculan a partir del número de Reynolds ( $N_R$ ), el cual proporciona información sobre el comportamiento del fluido.

$$\text{Número de Reynolds: } N_R = VD/v \dots \dots \dots (4-13)$$

V Velocidad

D Diámetro de la tubería

$v$  Viscosidad cinemática del agua a 20 °C =  $1 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$

Si  $N_R < 2000$ , el flujo es laminar.

Si  $N_R > 4000$ , el flujo es turbulento.

El número de Reynolds para la tubería de succión es:

$$N_R = [(0.861 \text{m/s}) (0.0351 \text{m})] / 1 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s} = 30221.1$$

El número de Reynolds para la tubería de descarga es:

$$N_R = [(1.499\text{m/s}) (0.0266\text{m})] / 1 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s} = 39873.4$$

Ambos valores, para la tubería de succión y descarga, son superiores a 4000, por lo tanto son turbulentos.

### Factor de fricción

Para el cálculo del valor de fricción se empleará la ecuación (4-14), desarrollada por P. K. Swamee y A. K. Jain<sup>18</sup>, que es válida para valores  $N_R$  de  $5 \times 10^3$  a  $1 \times 10^8$  y rugosidad relativa de 100 a  $1 \times 10^6$ .

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \dots \dots \dots (4-14)$$

Rugosidad relativa:  $D/\epsilon$

Para acero galvanizado  $\epsilon = 1.5 \times 10^{-4} \text{m}$

Tubería de succión:  $D/\epsilon = 0.0351\text{m} / 1.5 \times 10^{-4} \text{m} = 234$

Tubería de descarga:  $D/\epsilon = 0.0266\text{m} / 1.5 \times 10^{-4} \text{m} = 177.333$

Sustituyendo los valores correspondientes de rugosidad relativa en la ecuación (4-14), se obtienen el factor de fricción para cada tubería:

Tubería de succión  $f_{T1} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7(234)} + \frac{5.74}{30221.1^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.032$

Tubería de descarga  $f_{T2} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7(177.333)} + \frac{5.74}{39873.4^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.034$

---

<sup>18</sup> Swamee, P. K. y A. K Jain. 1976. Explicit Equations for Pipe-flow Problems. Journal of the Hydraulics Division 102(HY5): 657-664. Nueva York: American Society of Civil Engineers.

### **Pérdidas de energía debido a la fricción**

La magnitud de las pérdidas de energía que produce la fricción del fluido en válvulas y accesorios, es directamente proporcional a la carga de velocidad del fluido.

$$h_L = k \left( \frac{v^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (4-15)$$

Donde k es un coeficiente de resistencia y depende del tipo de accesorio.

Para el cálculo de pérdidas debido a la fricción en la línea de succión y de descarga se utilizará la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_L = (f) \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (4-16)$$

- L Longitud de la corriente del flujo
- g Aceleración de la gravedad
- D Diámetro de la tubería
- f Factor de fricción

Pérdidas debido a la fricción en la línea de succión,  $h_{L1}$ :

$$h_{L1} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

$h_1$  pérdida de energía debido a la válvula de pie con alcachofa

$$k = 420f_{T1}$$

$$h_1 = 0.507 \text{ m.c.a}$$

$h_2$  pérdida de energía debido al codo a  $45^\circ$

$$k = 16f_{T1}$$

$$h_2 = 0.019 \text{ m.c.a}$$

$h_3$  pérdida de energía debido al codo a  $90^\circ$

$$k = 30f_{T1}$$

$$h_3 = 0.036 \text{ m.c.a}$$

$h_4$  pérdida de energía debido a la línea de succión

$$h_4 = (0.032)(6\text{m}/0.0351\text{m})(0.741\text{m}^2/\text{s}^2/19.62\text{m}/\text{s}^2) = 0.206\text{m.c.a}$$

$$\underline{h_{L1} = 0.507\text{m} + 0.019\text{m} + 0.036\text{m} + 0.206\text{m} = 0.768\text{m.c.a}}$$

Pérdidas debido a la fricción en la línea de descarga,  $h_{L2}$ :

$$h_{L2} = h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9$$

$h_5$  pérdida de energía debido a la válvula de verificación

$$k = 100f_{T2}$$

$$h_5 = 0.366\text{m.c.a}$$

$h_6$  pérdida de energía debido a la válvula de globo

$$k = 340f_{T2}$$

$$h_6 = 1.323\text{m.c.a}$$

$h_7$  pérdida de energía debido a dos codos a  $45^\circ$

$$k = 16f_{T2}$$

$$h_7 = 0.124\text{m.c.a}$$

$h_8$  pérdida de energía debido a dos codos a  $90^\circ$

$$k = 30f_{T2}$$

$$h_8 = 0.233\text{m.c.a}$$

$h_9$  pérdida de energía debido a la línea de descarga

$$h_9 = (0.034)(90\text{m}/0.0266\text{m})(2.247\text{m}^2/\text{s}^2/19.62\text{m}/\text{s}^2) = 13.174\text{m.c.a}$$

$$\underline{h_{L2} = 0.366\text{m} + 1.323\text{m} + 0.124\text{m} + 0.233\text{m} + 13.174\text{m} = 15.22\text{m.c.a}}$$

Sumando los valores calculados de cada término en la ecuación (4-12), se obtiene  $h_A$ :

$$\underline{h_A = -2\text{m.c.a.} + 10.5\text{m.c.a.} + 0.0767\text{m.c.a.} + 0.768\text{m.c.a.} + 15.22\text{m.c.a.} = 24.564\text{m.c.a.}}$$

### Potencia requerida por la bomba

La potencia útil,  $P_A$ , que transmite la bomba al fluido se determina mediante la fórmula siguiente:

$$P_A = h_A \gamma Q \dots \dots \dots (4-17)$$

$$h_A = 24.56 \text{ m.c.a}$$

$$\gamma = \text{peso específico del agua a } 20^\circ\text{C} = 9790 \text{ N/m}^3$$

$$Q = 8.333 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_A = (24.564 \text{ m}) (9780 \text{ N/m}^3) (8.333 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}) = 200.188 \text{ Nm/s} = 200.188 \text{ W}$$

Todas las bombas sufren pérdidas irreversibles a causa de la fricción, fugas internas, separación de flujo en la superficie de los álabes, disipación turbulenta, entre otras. En consecuencia, la energía mecánica que se suministra a la bomba debe ser mayor que la potencia útil.

Para calcular la potencia de entrada a la bomba, se divide su potencia útil entre la eficiencia mecánica  $e_M$ .

$$\text{Potencia de entrada a la bomba} = \frac{\text{potencia transmitida al fluido}}{\text{eficiencia mecánica}}$$

$$\text{Potencia de entrada a la bomba} = \frac{P_A}{e_M} \dots \dots \dots (4-18)$$

La eficiencia del conjunto motor-bomba, para bombas comerciales de agua, es aproximadamente del 50%, sin embargo, depende principalmente de la carga dinámica y el flujo volumétrico. De acuerdo con los catálogos del fabricante, para una carga dinámica de 24.56 m.c.a. la eficiencia tiene un valor de 30%.

$$P_A = 200.188 \text{ W}$$

$$e_M = 0.3$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (4-18) se tiene:

$$\text{Potencia de entrada a la bomba} = 200.188 \text{ W} / 0.3 = 667.293 \text{ W}$$

No existen bombas de esta potencia en el mercado local. La potencia comercial más cercana es la bomba de 1hp cuyas características se muestran en el **Anexo 2**.

$$\text{Potencia seleccionada} = 1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

## Selección de la tecnología de bombeo

La Guía de Proyectos con Bombeo de Agua con energía Fotovoltaica muestra en la siguiente figura la relación volumen diario y carga dinámica total que deben considerarse para elegir el sistema conveniente.

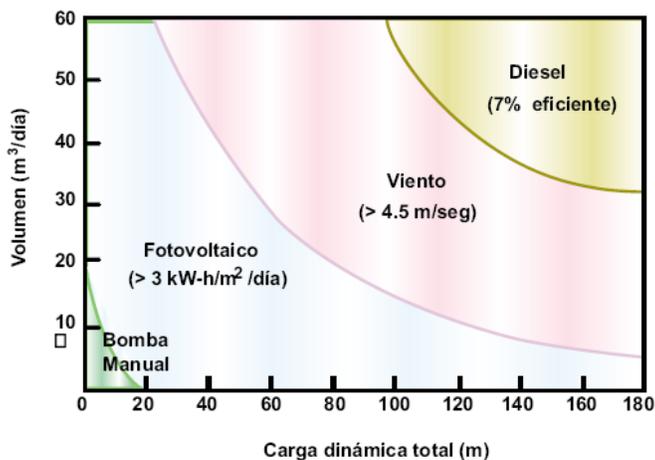


Figura 4.4. Selección de tecnología de bombeo, mediante el ciclo hidráulico.  
(FIRCO, 2001)

Con los datos obtenidos anteriormente, un volumen de  $3\text{m}^3/\text{día}$  y una carga dinámica de  $24.564\text{m.c.a}$ , el ciclo hidráulico,  $73.692\text{m}^4$ , corresponde al sistema fotovoltaico.

La implementación de un sistema eólico, como se muestra en el capítulo anterior, presenta los siguientes inconvenientes:

- La variación considerable de la velocidad del viento durante la época de sequía, comprende un rango de  $0\text{m/s}$  a más de  $9\text{m/s}$ , dificultando el diseño de un aerogenerador que funcione en estas condiciones.
- La escasa disponibilidad de empresas que provean servicios técnicos para su instalación y mantenimiento, a pesar de su existencia, se observa un mayor número en el sector solar para baja potencia.

No se descarta el aprovechamiento de esta fuente de energía, puede verse como una oportunidad para desarrollar proyectos energéticos futuros.

## 4.4 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

### Consideraciones previas

Por su alto costo inicial, los sistemas solares no son competitivos en lugares con red eléctrica convencional. Antes de realizar cualquier otro análisis se debe hacer la comparación con la alternativa eléctrica disponible en el lugar teniendo en cuenta la distancia a la red, la demanda diaria a satisfacer y el recurso solar disponible. (FIRCO, 2001).

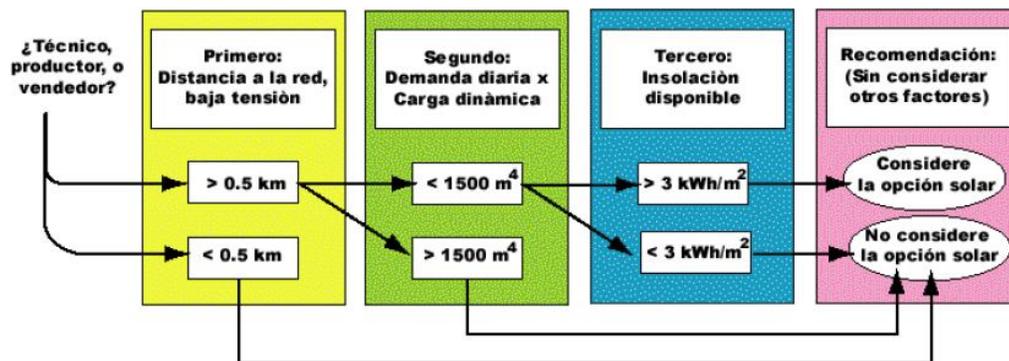


Figura 4.5. Diagrama de decisiones para contemplar un sistema fotovoltaico.

(FIRCO, 2001)

- La distancia a la red eléctrica de baja tensión, 486m, es cercana a la distancia mínima aceptable, se realizará un análisis para su verificación.
- El ciclo hidráulico,  $73.692\text{m}^4$ , es menor al máximo aceptable.
- La insolación disponible,  $5.3\text{kWh}/\text{m}^2$  es muy superior a los requerimientos mínimos.

Factores no cuantificables que deben tomarse en cuenta:

- Una instalación solar debe hacerse por personal calificado, a demás es importante que sea fácilmente localizable en caso de requerir sus servicios.
- La aceptación de los usuarios de una tecnología relativamente nueva y desconocida.
- La naturaleza y portabilidad de estos sistemas los hacen ideales para aplicaciones remotas y desatendidas, pero también vulnerables al robo y vandalismo.
- La tecnología presenta gran ventaja, al no contribuir al deterioro ambiental.

## Conceptos generales del diseño fotovoltaico

**Efecto fotovoltaico.** La luz está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden en una celda fotovoltaica pueden ser reflejados, absorbidos o pasar a través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. De este modo, siempre que un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la celda. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

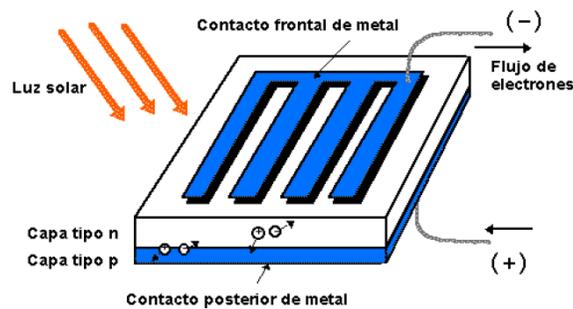


Figura 4.6. Celda fotovoltaica. (FIRCO, 2001).

**Celda fotovoltaica.** En una celda solar el efecto fotovoltaico se presenta como la generación de voltaje en sus terminales cuando está bajo iluminación. Si las terminales de una celda solar se conectan a una carga, entonces se producirá un flujo de corriente eléctrica que circulará por ella.

Las celdas fotovoltaicas se integran en módulos, que pueden ser planos de marcos rígidos, laminados flexibles. A un grupo pre-ensamblado de módulos fotovoltaicos se le denomina arreglo.

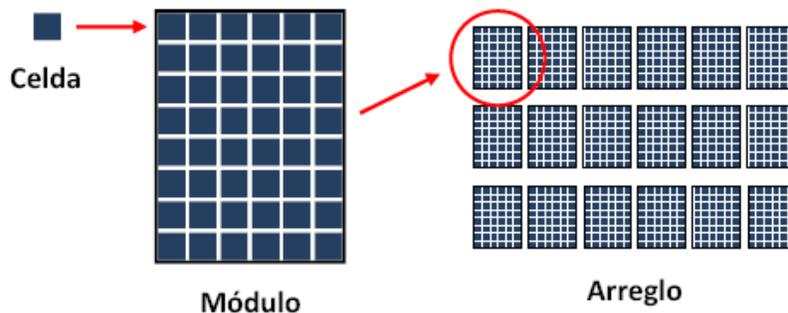


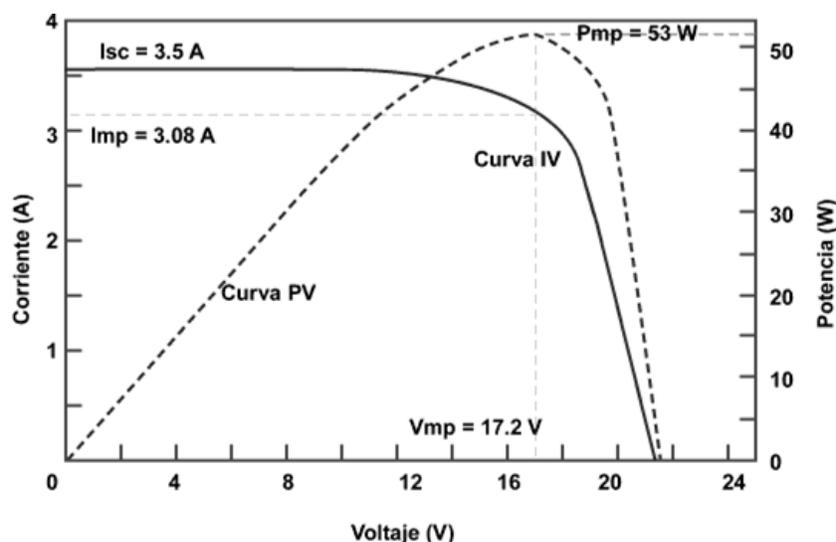
Figura 4.7. Módulos fotovoltaicos. (Instituto de investigaciones eléctricas, 2010).

En la elaboración de celdas solares, se pueden emplear diferentes tipos de materiales semiconductores, pero el más común es el silicio en sus diferentes formas de fabricación:

- **Silicio monocristalino.** Las celdas están hechas de un solo cristal de silicio de muy alta pureza. La eficiencia de estos módulos puede alcanzar hasta un 17% y asegurar una garantía hasta de 25 años.
- **Silicio Policristalino.** Estas celdas están formadas por varios cristales de silicio y su construcción está enfocada en disminuir costos. Su eficiencia es de 15% y su garantía de vida útil de 20 años.
- **Silicio amorfo.** La palabra amorfo significa carencia de estructura geométrica. Los átomos de silicio que forman al sólido no tienen el patrón ordenado característico de los cristales como es el caso del silicio cristalino, presenta una eficiencia de un 10%. La garantía del producto puede ser de hasta diez años.

### Comportamiento eléctrico de módulos fotovoltaicos

El comportamiento eléctrico de los módulos fotovoltaicos está dado por curvas de corriente contra voltaje (I vs. V) o potencia contra voltaje (P vs. V). La curva de potencia se genera multiplicando la corriente y el voltaje en cada punto de la curva I vs. V. La potencia máxima del módulo se simboliza por  $P_{mp}$  y representa la capacidad nominal de generación o potencia pico del módulo, y con su valor se evalúa la eficiencia de conversión del módulo.



Gráfica 4.1. Comportamiento eléctrico para un módulo fotovoltaico (FIRCO, 2001)

**Efectos de la temperatura y la radiación.** La intensidad de radiación solar incidente en el panel fotovoltaico y la temperatura, afectan el comportamiento del voltaje y la corriente.

A mayor intensidad de radiación solar el número de fotones incidentes aumenta, lo que incrementa la probabilidad de choque con los electrones de valencia que permiten la generación eléctrica.

La eficiencia de las células solar disminuye cuando aumenta la temperatura debido, principalmente, a la disminución que sufre la tensión. Mientras que la densidad de corriente aumenta ligeramente. Estos comportamientos se muestran en el **Anexo 3**.

### Componentes de un sistema fotovoltaico autónomo

Un sistema fotovoltaico autónomo es el conjunto de elementos necesarios para la alimentación eléctrica de una carga determinada, a partir exclusivamente de la energía solar incidente y sin conexión a la red eléctrica.

Existen diferentes configuraciones que puede adoptar el sistema autónomo dependiendo de la aplicación y de la demanda de carga. Los sistemas en los que el consumo es únicamente en corriente directa (DC) se componen por un sistema de generación de corriente (módulos fotovoltaicos), un sistema de acumulación (baterías), un elemento electrónico de regulación de los procesos de carga y descarga de las baterías (regulador), y los elementos reguladores de energía que constituyen la carga de la instalación. Dado que el mercado de electrodomésticos en corriente directa es bastante limitado, se suele incluir un elemento de conversión de corriente continua a alterna (inversor). (FIRCO, 2001).

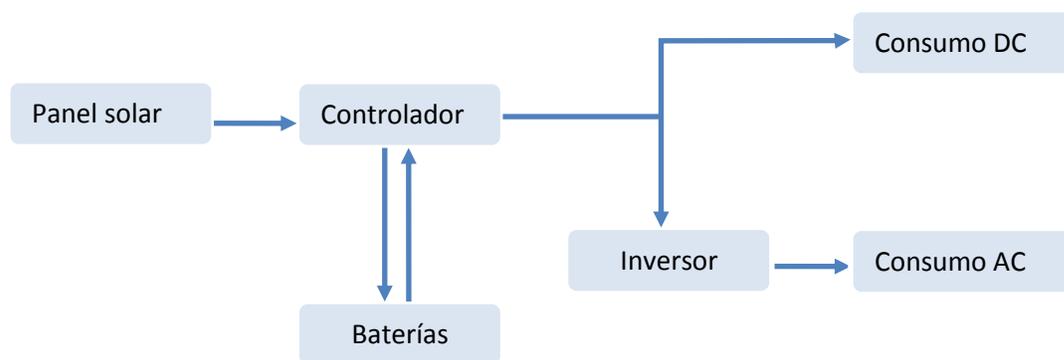


Figura 4.8. Configuración para un sistema fotovoltaico autónomo.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Ministerio de ciencia y tecnología, 2006, pág. 12.6.

En el esquema para consumo DC no es necesario acoplar un inversor, sin embargo el costo de una bomba solar de las características requeridas es aproximadamente “USD 900”<sup>20</sup> y su ciclo de vida son cinco años. Otro elemento a considerar es la falta de servicios profesionales cercanos para reparar algún desperfecto.

Para el caso de estudio, el costo del conjunto inversor-bomba AC, es menor que el de la bomba solar; la bomba AC puede comprarse en cualquier tlapalería. Cualquier desperfecto que pudiera presentarse en la bomba podría ser reparado por algún técnico en los talleres electro-mecánicos de la región, lo cual reduce la necesidad de servicios profesionales.

Tomando en cuenta estas consideraciones, para el estudio de viabilidad, se propone que el esquema más adecuado es aquel que acopla un inversor y una bomba centrífuga AC.

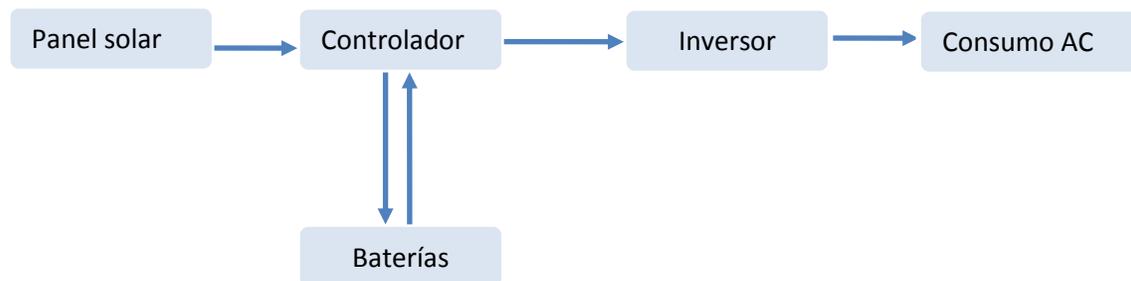


Figura 4.9. Configuración para un sistema fotovoltaico autónomo de consumo AC.<sup>21</sup>

### Características de los componentes seleccionados

**Módulo solar.** El recurso solar disponible en la zona del proyecto durante la temporada de sequía es de 5.3kWh/m<sup>2</sup>, que equivalen a 5.3 horas de radiación solar pico.

La potencia requerida por la bomba es de 746W durante una hora.

De acuerdo a la información recabada, el módulo debe aportar un total de:

$$746W/5.3h = 140W/h$$

Las consideraciones que se deben tomar en cuenta para dimensionar el módulo son el rendimiento, los factores ambientales y las pérdidas de energía en conductores:

<sup>20</sup> Renewable Energy design guide and catalog, 2008-2009.

<sup>21</sup> Ministerio de ciencia y tecnología, 2006, pág. 12.6.

- Los módulos fotovoltaicos instalados en una estructura anclada al suelo trabajan aproximadamente a 55C° durante el día, 30C° por encima de las condiciones estándar de prueba (25C°). Esto significa que la capacidad real del arreglo es aproximadamente 15% menor que su potencia nominal.
- Los módulos fotovoltaicos pierden eficiencia debido a las condiciones de campo. Esto se debe al efecto de temperatura, degradación con el tiempo, polvo en la superficie, cargas desiguales y algunas condiciones más. Suponga una eficiencia de 95% en módulos cristalinos y un 70% en módulos amorfos.
- Los conductores eléctricos bien seleccionados tienen una eficiencia aproximada de 95% en los sistemas de bombeo solar.

Tomando en consideración estas pérdidas de potencia, se calculará el valor adecuado de la siguiente forma:

$$\text{Potencia del módulo} = \frac{\text{Potencia requerida por la bomba}}{(\text{capacidad real})(\text{eficiencia del módulo})(\text{eficiencia de conductores})}$$

$$\text{Potencia del módulo} = (140\text{W}) / (0.85 \times 0.95 \times 0.95) = 182.499\text{W}$$

Se propone un módulo de 180W cuyas características se pueden ver en el **Anexo 4**.

**Orientación del módulo.** La máxima energía se obtiene cuando los rayos solares inciden perpendicularmente al arreglo fotovoltaico. El territorio mexicano se encuentra en el hemisferio norte. En esta región la trayectoria aparente durante la mayor parte del año, se observa hacia el sur. Debido a que se contempla que el sistema opere durante el invierno hasta entrada la primavera, la inclinación recomendada es de 15°, con una orientación hacia el sur.

Ángulo de inclinación	Resultado
Latitud	Máxima generación eléctrica anualizada y durante la primavera y el otoño
Latitud - 15°	Máxima generación eléctrica en el verano
Latitud + 15°	Máxima generación eléctrica en el invierno

Tabla 4.6. Ángulos de inclinación de panel fotovoltaico recomendados.

(Instituto de investigaciones eléctricas, 2010)

**Controlador.** El controlador, **Anexo 5**, es un sistema electrónico cuyas funciones son las siguientes:

- Controlar los flujos de energía.
- Proteger a la batería contra las sobrecargas (solares) y las descargas profundas (equipos consumidores).
- Asegurar la vigilancia y la seguridad de la instalación (sobrecarga, alarmas, fusibles, inversores de polaridad).
- En los sistemas más complejos, también puede dirigir la recarga a partir de otras fuentes de energía (eólica, hidráulica, generador de apoyo).
- En ciertos casos, puede realizar una transformación de potencia (búsqueda del punto máximo de potencia).
- También sirve para dar información sobre el estado de carga de las baterías y de los parámetros de funcionamiento del sistema.

“En un sistema fotovoltaico autónomo, la función del controlador es primordial y sus características pueden influenciar mucho el coste final de la energía. La batería es el elemento más delicado del sistema, por lo que la precisión en su control y su mantenimiento tienen una gran influencia sobre la duración de su vida útil, y por lo tanto, sobre el precio final del kWh” (Labouret & Viloz, 2008, pág. 112).

**Baterías.** Las baterías almacenan la energía eléctrica transformándola en energía electroquímica. Se clasifican en primarias o secundarias según como convierten su energía química en energía eléctrica.

- I. Las baterías primarias (también llamadas pilas) son aquellas que tienen energía almacenada en forma de reactivos químicos que se liberan como energía eléctrica cuando son conectadas, pero lo hacen en un solo ciclo, es decir que una vez recargadas no es posible recuperarlas.
- II. Las baterías secundarias son aquellas en que las reacciones químicas que participan en la conversión de energía son reversibles en un grado más o menos completo, son sistemas que pueden ser recargados, poseen más de un ciclo de carga y descarga.

La batería de Plomo ácido es la más utilizada en los sistemas fotovoltaicos, constituyendo más del 90% del mercado actual. Presenta como principales ventajas su gran disponibilidad, bajo coste, buen rendimiento tanto farádico como energético, alta fiabilidad de utilización, amplio rango de temperatura de operación, bajo nivel de auto descarga y un alto número de ciclos de vida. Sin embargo también presenta algunas desventajas, una baja densidad de energía y un pobre comportamiento operando en condiciones extremas de descargas profundas como fuertes sobrecargas y representa una fuente de contaminación si no es reciclada.

La batería propuesta, **Anexo 6**, proporciona 115Ah a 12 VDC, la bomba demanda 746W, se debe proporcionar una corriente eléctrica de:

$$746W/12V = 62.166A$$

El tiempo de operación es una hora por lo que la energía demandada es:

62.166Ah, que representa el 54% de la descarga.

Debido al corto tiempo de descarga y dadas las recomendaciones para alargar la vida útil de las baterías, una descarga del 20%, se propone agregar una batería extra, que a demás de alargar la vida útil es una reserva para días nublados.

Con 230Ah dados por dos baterías se tiene una descarga del 27% y se lograrían tres días de autonomía.

**Inversor.** El inversor es un dispositivo de potencia encargado de transformar la energía continua producida por los módulos solares en energía alterna requerida por la carga. Disponen de un seguidor del punto de máxima potencia (MPPT, Maximum Power Point Tracking) con el fin de extraer la máxima potencia del sistema y entregárselo a la carga.

El inversor propuesto, **Anexo 7**, proporciona un máximo de 800W de potencia a tensión alterna de 115 VAC.

**Bomba.** La bomba seleccionada, 1Hp de potencia, cuyas características se muestran en el **Anexo 2**, es del tipo centrífuga. Para reducir las variaciones de tensión y corriente durante el encendido, será de arranque por capacitor.

## Sistema de Tierra y Sistemas de protección contra sobrevoltajes

Se deberá proporcionar una conexión a tierra de los equipos. Esto significa que todas las partes metálicas expuestas del sistema, incluyendo el motor/bomba, gabinete del controlador, gabinete del interruptor del arreglo, marco de los módulos y estructuras de montaje deberán ser puestas a tierra mediante conductores.

El electrodo de tierra deberá ser una varilla de acero recubierto de cobre, con no menos de 5/8 de pulgada de diámetro (16mm) y 3 metros de longitud, enterrada verticalmente o a un ángulo no mayor a 45°. Se puede utilizar el ademe del pozo como electrodo de tierra si este es de metal y si se hace una conexión mecánica y eléctricamente segura. La abrazadera de conexión al electrodo de tierra deberá ser resistente a la corrosión, preferiblemente de cobre o bronce.

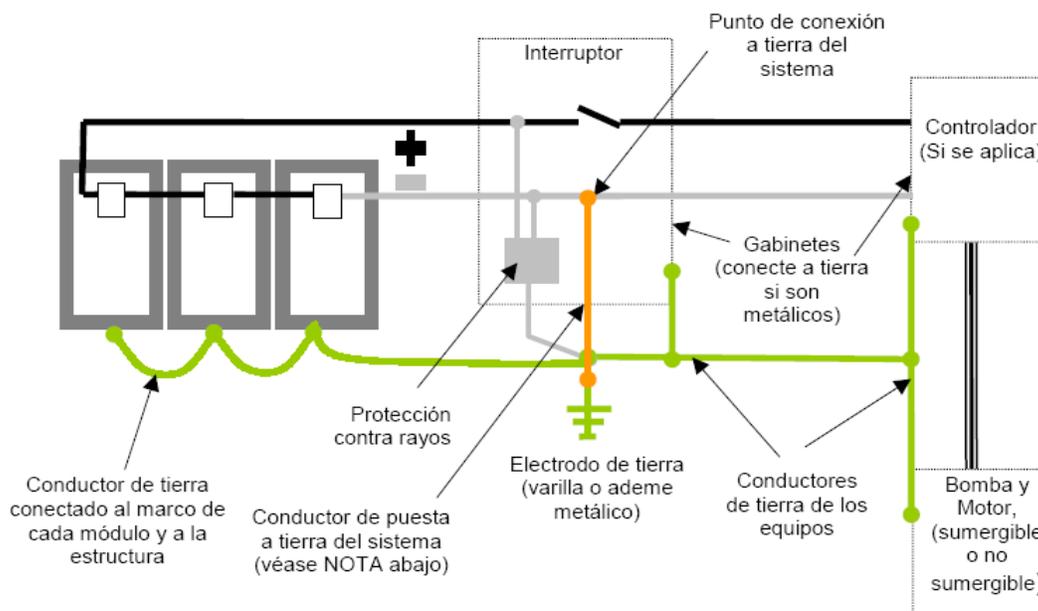


Figura 4.10. Diagrama eléctrico de una instalación de bombeo con energía fotovoltaica.

(FIRCO libro de trabajo, 2001, pág. 22)

En zonas de alta actividad atmosférica se prefieren los diseños que incluyan un sistema de protección contra descargas o sobrevoltaje (aparta rayos) conectado a los cables del arreglo fotovoltaico y al sistema de tierra, para proteger los circuitos electrónicos. Se recomienda que el dispositivo contra sobrevoltaje se instale en el gabinete del interruptor del arreglo.

## 4.5 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA INTERCONECTADO A LA RED ELÉCTRICA

Para una conexión a la red de baja tensión se tienen las siguientes restricciones:

- La norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-2005 para instalaciones eléctricas, artículo 215-b nota 1, establece que para proporcionar una razonable eficacia de funcionamiento, la caída máxima de tensión eléctrica de los circuitos alimentadores y derivados hasta el receptáculo más lejano no debe superar el 5%.
- La Comisión Federal de Electricidad en su especificación Instalación de Acometidas en Baja Tensión, CFE DCABT000, establece que la línea de acometida debe tener una longitud máxima de 35m en área urbana y 50m en área suburbana y rural, distancia medida en línea recta respecto al poste, de acuerdo con las especificaciones para el suministro del servicio.
- “Los motores monofásicos, para bombas de agua, pueden operar a plena carga en redes eléctricas, en las que a frecuencia nominal la tensión varía + 10% de la nominal”. (SIEMENS, Catálogo General Motores Eléctricos SD03, 2007, pág. 41).

“La caída de tensión es muy importante para un sistema eléctrico, si la caída de tensión es muy grande, los conductores, contactos y otros elementos eléctricos se sobrecalentarán. Ocasionando daño al sistema eléctrico, causando fallas en el aislamiento de los conductores y hasta ocasionando una falla eléctrica” (Javier Oropeza, 2007, pág. 57).

“La caída de tensión en cables, en porcentaje, puede calcularse con las siguientes fórmulas que proporcionan un valor bastante aproximado al real; y siempre mayor o igual a este último” (CONDUMEX, 2007, pág. 184).

Caída de tensión para circuitos monofásicos:

$$\Delta V = \frac{2ZLI}{V_0} \times 100 \dots \dots \dots (4-19)$$

$\Delta V$ = Caída de tensión

I=corriente eléctrica que para por el cable, en amperes

L= Longitud del circuito en Km

$V_0$ =Voltaje de fase a tierra en volts

Z= Impedancia eléctrica del cable, en ohm/Km, la cual está dada por la siguiente fórmula:

$$Z = \sqrt{R^2 + XL^2} \dots\dots\dots(4-20)$$

Donde:

R= Resistencia eléctrica del conductor a la corriente alterna a la temperatura de operación, en ohm/Km.

XL= Reactancia inductiva del cable en ohm/Km.

El fabricante de los cables proporciona valores de reactancia inductiva y resistencia en corriente alterna a 75 °C, sin embargo, considera que los cables se encuentran dentro de un tubo conduit de PVC, aluminio o acero. En zonas rurales, para largas distancias, se instalan cables sin canalización y la distancia de separación entre ellos varía, lo cual dificulta determinar la reactancia inductiva.

Se realizó el cálculo para determinar el calibre del conductor que soporte una caída de tensión del 10% que es el rango de operación de la bomba propuesta. Dando como resultado un conductor de cobre 4 AWG.

Para el cálculo de la impedancia se aplicó la fórmula (4-20):

$$XL= 0.157 \text{ ohm/Km}$$

$$R= 1.017\text{ohm/Km}$$

$$Z = \sqrt{1.017^2 + 0.157^2} = 1.029 \text{ ohm/km}$$

La bomba de 1Hp a plena carga opera con 13.4 amperes de corriente, y se encuentra a una distancia de 486m de la red de baja tensión.

La caída de tensión se calculó a partir de la fórmula (4-19):

$$\Delta V = \frac{(2) \left( \frac{1.029\text{ohm}}{\text{km}} \right) (0.486\text{Km})(13.4\text{A})}{127\text{V}} \times 100\% = 10.553\%$$

El calibre determinado, 4 AWG, con el cual se obtuvo una caída de tensión máxima de 10% no es convencional para estas aplicaciones, su adquisición elevaría considerablemente el costo de la instalación eléctrica. Se sugerirá un cable de calibre 6 AWG, teniendo en cuenta que la caída de tensión será considerable, un 16.6%.

### **Pérdidas de energía**

Existen pérdidas de energía debido a la resistencia del material al flujo de electrones, que se convierte en calor, conocido como efecto Joule y su cálculo se realiza con la fórmula de la ley de Joule:

$$P=I^2 \times R \dots\dots\dots (4-21)$$

Con el cálculo de impedancia del cable y el dato de corriente del motor se obtuvo la pérdida de energía por efecto Joule, sustituyendo estos valores en la ecuación (4-21):

$$P= (13.4A)^2 (1.029ohm/km \times 0.486km) = 89.796W$$

Considerando una hora diaria de operación, la pérdida de energía al día es:

$$\underline{Pérdidas diarias de energía = 89.796W \times 1h= 89.796Wh}$$

Considerando que el bombeo se realiza durante los seis meses de sequía, 180 días aproximadamente, las pérdidas anuales serán:

$$\underline{Pérdidas anuales por efecto joule = 89.796W \times 180h=16163.28Wh =16.163kWh}$$

### **Soportes para el tendido eléctrico**

Para suministrar energía a la bomba desde la red eléctrica, una instalación aérea permitirá librar obstáculos y no obstruir zonas transitadas.

Para el caso de estudio se propone la instalación de tubulares de 6m de altura y a una distancia de separación, entre cada uno, de 30m.

$$\text{Cantidad de soportes necesarios} = \frac{\text{Distancia total}}{\text{separación entre postes}} = \frac{486m}{30m} = 16.2$$

Se utilizarán 16 postes en total.

La instalación de los postes debe contemplar una correcta cimentación para evitar la caída de los mismos y el deterioro por corrosión, a demás deben de contar con un accesorio extra que permita su función como soporte, que lo puede diseñar un herrero de la misma localidad. Estas observaciones se tomaron en cuenta y están contemplados en los costos del análisis económico, para su análisis se proponen las alternativas más económicas.

#### 4.6 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA CON MOTOBOMBA

Una opción más es la compra de un motor de combustión interna, conocidos comúnmente como motobombas. La gran ventaja de esta tecnología frente a los sistemas propuestos, es su amplia distribución en el mercado nacional a precios muy accesibles.

Para realizar una comparación con el sistema solar y el sistema conectado a la red eléctrica, se seleccionó una motobomba de 4.8Hp, **Anexo 8**, que puede bombear los 21m<sup>3</sup> de agua requeridos a la semana, en aproximadamente en una hora, requiriéndose solo un día a la semana de operación.

Los accesorios únicos accesorios para su operación son: una manguera de 2" y conectores. En este caso se presentaría una desventaja en la filtración ya que los filtros para el caudal dado son menos efectivos.

#### Relación entre la potencia y las condiciones atmosféricas

Algunos parámetros que varía en función de la altura de funcionamiento y de las condiciones atmosféricas, es decir, la presión, la temperatura y el grado de humedad del aire atmosférico, influyen notablemente sobre las prestaciones de los motores.

“Estudios y experiencias realizadas en motores de aviación en ambientes del aire, han confirmado que la potencia es directamente proporcional a la presión barométrica y a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta” (Giacosa, 1988, pág. 185).

La fórmula que relaciona estas variables es la siguiente:

$$P_0 = P_e \frac{p_0}{p} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \dots \dots \dots (4-22)$$

Donde:

P<sub>0</sub>= potencia en atmósfera estándar en kW (o en Cv)

P<sub>e</sub>= potencia al freno en kW (o en Cv)

p= presión atmosférica ambiente en mm de mercurio (o en bar)

p<sub>0</sub>= presión normal de 760 mm de mercurio (1.013 bar)

T = temperatura ambiente en °K

T= temperatura absoluta normal = 288 °K

Despejando  $P_e$  de la ecuación (4-22) se tiene:

$$P_e = P_0 \frac{p}{p_0} \sqrt{\frac{T_0}{T}} \dots \dots \dots (4-23)$$

La altura aproximada de la zona del proyecto es 2200m sobre el nivel del mar, para estas condiciones se tienen los siguientes valores de temperatura y presión. (Giacosa, 1988, pág. 186).

$$T=273.8 \text{ °K}$$

$$p= 776 \text{ mbar}$$

Aplicando la fórmula (4-23):

$$P_e = P_0 \frac{776}{1013} \sqrt{\frac{288}{273.8}} = 0.785P_0$$

La pérdida es:

$$(1-0.785)P_0 = 0.215P_0,$$

La pérdida de potencia es de un 21.5%

La capacidad de la motobomba se reducirá a 3.768Hp, pero es suficiente para bombear la cantidad deseada, aunque el tiempo de operación se incrementará.

## **4.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Una evaluación económica tiene como objetivo medir el beneficio económico generado por un proyecto. Se realiza por medio de diferentes métodos cuantitativos conocidos como indicadores de rentabilidad.

Los resultados que se obtengan permitirán decidir cuál de las tres opciones presentadas es la más rentable, definiendo de esta forma la viabilidad económica de la propuesta.

### **Indicadores de rentabilidad**

Los indicadores de rendimiento de la inversión se definen por el incremento o disminución de bienestar que se deriva del uso de recursos en alguna actividad específica.

Los indicadores empleados en la evaluación de proyectos son el Valor Actual Neto o Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales consideran el valor del dinero en el tiempo e incluyen la tasa de inflación, el flujo de efectivo y la tasa mínima atractiva de rendimiento (TREMA).

- Tasa de inflación. La inflación es el aumento generalizado y sostenido de los precios de bienes y servicios en un país durante un periodo de tiempo. En México es 4.25%.

- Flujo de efectivo (FNE). Es el flujo de ingresos y erogaciones de efectivo, a través del tiempo. La diferencia de cada entrada y salida de dinero en un periodo determinado de tiempo se conoce como componente del flujo de efectivo.

- Tasa de descuento (TREMA). Es la tasa que representa una medida de rentabilidad, la mínima que se le exigirá al proyecto de tal manera que permita cubrir:

- La totalidad de la inversión inicial
- Los egresos de operación
- Los intereses que deberán pagarse por aquella parte de la inversión financiada con capital ajeno a los inversionistas del proyecto
- Los impuestos
- La rentabilidad que el inversionista exige a su propio capital invertido

Para calcular el valor de la TREMA se puede considerar:

La tasa de inflación más una prima al riesgo.  $TREMA = \text{índice inflacionario} + \text{prima de riesgo}$

El costo del capital más una prima al riesgo.  $TREMA = \text{costo de capital} + \text{prima al riesgo}$

- Valor Futuro. Es el valor del dinero actual en una fecha futura, basándose en un tipo de interés (i) apropiado y el número de años que llegue hasta esa fecha. Su valor se calcula con la siguiente fórmula:

$$VF = P(1 + i)^n \dots \dots \dots (4-24)$$

P= valor actual del dinero

i= tipo de interés

n= periodos

- Valor Presente Neto (VPN). Es el valor que actualiza, mediante una tasa de descuento prefijada, el flujo de Beneficios Netos generados por el proyecto de inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual, mediante una tasa, todos los flujos de caja futuros del proyecto, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

El costo de adquisición de un activo de inversión o Valor Actualizado de la Inversión (VAI), puede expresarse como un flujo de inversiones en periodos definidos, por ejemplo anualmente. Estos flujos se expresan en la siguiente fórmula:

$$VAI = \frac{P_0}{(1 + TREMA)^0} + \frac{P_1}{(1 + TREMA)^1} + \frac{P_2}{(1 + TREMA)^2} \dots + \frac{P_n}{(1 + TREMA)^n} \dots \dots \dots (4-25)$$

$P_0$  = inversión realizada durante el periodo de instalación o inversión inicial

$P_1, P_2, P_n$  = inversiones realizadas en cada periodo

TREMA= tasa de descuento

n = número de periodos

Los beneficios generados por las inversiones realizadas durante el periodo de operación o Valor Actual de los Beneficios (VAB), están representados como:

$$VAB = \frac{B_1}{(1 + TREMA)^1} + \frac{B_2}{(1 + TREMA)^2} \dots + \frac{B_n}{(1 + TREMA)^n} \dots \dots \dots (4-26)$$

$B_1, B_2, B_n$  = son los beneficios generados en cada periodo

El Valor Presente Neto (VPN) está dado por la diferencia del Valor Actual de los Beneficios y el Valor Actual de las Inversiones:

$$VPN = VAB - VAI \dots \dots \dots (4-27)$$

En la toma de decisiones si el VPN es positivo o cero, el proyecto es aceptado, en caso contrario se rechaza. En el caso de estudio, debido a que el proyecto está aún en desarrollo, no se tienen información precisa de los beneficios que podrían generarse anualmente, por lo tanto el análisis económico tomará en cuenta el sistema cuyo Valor Presente Neto sea más cercano a cero, es decir el menor Valor Actualizado de la Inversión.

- Tasa Interna de Retorno (TIR). Es la tasa de interés que iguale en el tiempo el monto de los ingresos y egresos de una caja, hace que el Valor Presente Neto se iguale a cero. Su expresión matemática es:

$$VPN = VAB - VAI = 0 \dots \dots \dots (4-28)$$

- Relación Beneficio/Costo (BC). La relación beneficio costo es un indicador cuyo expresado en términos relativos y está dado por el cociente entre el VAN y el VAI:

$$\frac{B}{C} = \frac{VPN}{VAI}$$

En la toma de decisiones este indicador se interpreta de la siguiente manera:

Si  $\frac{B}{C} \geq 1$ , el proyecto se acepta

Si  $\frac{B}{C} \leq 1$ , el proyecto se rechaza

Para el caso de estudio este indicador no será usado, porque no se han determinado los beneficios generados en el proyecto.

- Valor anual equivalente. Con este indicador todos los ingresos y gastos que ocurren durante un periodo, son convertidos a una anualidad equivalente (AE).

## **Inversión inicial**

Corresponde al valor del desembolso que se hará en el momento de contraer la inversión.

Los principales conceptos en la inversión inicial se muestran a continuación, los componentes totales de los sistemas, fotovoltaico y de conexión a la red eléctrica, se muestran en los Anexo 9 y 10, respectivamente.

Concepto	Importe MXN
Sistema de bombeo fotovoltaico	15390
Sistema eléctrico y protecciones	955.25
Sistema hidráulico	1929
Obra civil	2700
Mano de obra	2200
<b>Total</b>	<b>23174.25</b>

Tabla 4.7. Inversión inicial sistema de bombeo con energía fotovoltaica.

(Fuente propia, elaboración con datos de proveedores)

Concepto	Importe MXN
Motobomba	3382
Manguera	1000
Accesorios	580
<b>Total</b>	<b>4962</b>

Tabla 4.8. Inversión inicial sistema de bombeo de combustión interna.

(Fuente propia, elaboración con datos de proveedores)

Concepto	Importe MXN
Sistema de bombeo	1300
Sistema eléctrico y protecciones	23882.37
Sistema hidráulico	1929
Obra civil	5200
Mano de obra	2200
<b>Total</b>	<b>34511.37</b>

Tabla 4.9. Inversión inicial sistema de bombeo conectado a la red eléctrica.

(Fuente propia, elaboración con datos de proveedores)

### Costos por consumo de energía

Sistema de bombeo con energía fotovoltaica. La energía que alimenta al sistema proviene de la radiación solar. El costo por consumo de esta energía es nulo.

Concepto	Importe MXN
Radiación solar	0

Tabla 4.10. Costos por consumo de energía del sistema solar. (Fuente propia)

Sistema de bombeo de combustión interna. La motobomba consume 1.4 l/h de combustible.

Los costos por consumo de combustible se muestran a continuación:

$$\text{Consumo semanal de combustible} = \frac{1.4 \frac{l}{h}}{1h} = \frac{1.4l}{\text{semana}}$$

$$\text{Consumo anual de combustible} = \left(\frac{1.4l}{\text{semana}}\right) \left(\frac{4 \text{ semana}}{\text{mes}}\right) \left(\frac{6 \text{ mes}}{\text{año}}\right) = \frac{33.6l}{\text{año}}$$

$$\text{Costo anual de combustible} = (33.6l) \left(11.25 \frac{\text{pesos}}{l}\right) = \frac{378 \text{ pesos}}{\text{año}}$$

Concepto	Unidad	Precio por unidad MXN	Consumo anual	Costo anual MXN
Gasolina	litro	11.25	33.6 litros	378

Tabla 4.11. Costos por consumo de energía motobomba. (Fuente propia)

Sistema de bombeo conectado a la red eléctrica. El motor demanda 746W de potencia y su tiempo de operación es una hora.

$$\text{Consumo diario de energía} = (746W)(1h) = \frac{746Wh}{\text{día}}$$

$$\text{Consumo anual de energía} = \left(\frac{746Wh}{\text{día}}\right) \left(\frac{168 \text{ días}}{\text{año}}\right) = \frac{125328Wh}{\text{año}} = \frac{125.328kWh}{\text{año}}$$

$$\text{Costo anual de energía} = \left(\frac{125.328kWh}{\text{año}}\right) \left(0.765 \frac{\text{pesos}}{kWh}\right) = \frac{95.875 \text{ pesos}}{\text{año}}$$

Concepto	Unidad	Precio por unidad MXN	Consumo anual	Costo anual MXN
Energía eléctrica	kWh	0.765	125.328kWh	95.875

Tabla 4.12. Costos por consumo de energía por conexión a la red eléctrica. (Fuente propia)

### Costos de operación, mantenimiento y reposiciones

Los costos de operación se consideran nulos en todas las opciones, esto se debe a que los integrantes del Barrio Piedras Negras, propietarios del proyecto, debido a la organización social que han conformado, trabajan por comités de riego, sin pago alguno.

Los programas de mantenimiento para los sistemas de bombeo con energía fotovoltaica y para el de combustión interna se muestran en los anexos 11 y 12.

La vida útil de los componentes tiene como referencias la información dada por fabricantes, proveedores y por el Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas.

Concepto	Importe MXN	Frecuencia
Mantenimiento	200	anual
Reposición	4600	Cada 4 años

Tabla 4.13. Costos futuros del sistema de bombeo con energía fotovoltaica.

(Fuente propia, elaboración con datos de proveedores)

Concepto	Importe MXN	Frecuencia
Mantenimiento	200	anual
Reposición	3382	Cada 5 años

Tabla 4.14. Costos futuros del sistema de bombeo con combustión interna.

(Fuente propia, elaboración con datos de proveedores)

Concepto	Importe MXN	Frecuencia
Mantenimiento	100	anual
Reposición	1300	Cada 10 años

Tabla 4.15. Costos futuros del sistema de bombeo conectado a la red eléctrica.

(Fuente propia, elaboración con datos de proveedores)

Se presenta, como ejemplo, la evaluación de costos a través del tiempo del sistema con energía fotovoltaica durante veinte años.

Inflación promedio = 3.9%

TREMA = 18%

Inversión inicial = \$23 174.25

Periodo de análisis = 20 años

Aplicando la fórmula (4-24)

$$VF_1 = 200(1 + 0.039)^1 = 208$$

$$VF_2 = 200(1 + 0.039)^2 = 216$$

$$VF_3 = 200(1 + 0.039)^3 = 224$$

$$VF_4 = 4600(1 + 0.039)^4 = 5361$$

$$VF_5 = 200(1 + 0.039)^5 = 216$$

$$VF_6 = 200(1 + 0.039)^6 = 242$$

$$VF_7 = 200(1 + 0.039)^7 = 252$$

$$VF_8 = 4600(1 + 0.039)^8 = 6247$$

$$VF_9 = 200(1 + 0.039)^9 = 282$$

$$VF_{10} = 1500(1 + 0.039)^{10} = 2199$$

$$VF_{11} = 200(1 + 0.039)^{11} = 305$$

$$VF_{12} = 4600(1 + 0.039)^{12} = 7280$$

$$VF_{13} = 200(1 + 0.039)^{13} = 329$$

$$VF_{14} = 200(1 + 0.039)^{14} = 342$$

$$VF_{15} = 200(1 + 0.039)^{15} = 355$$

$$VF_{16} = 4600(1 + 0.039)^{16} = 8484$$

$$VF_{17} = 200(1 + 0.039)^{17} = 383$$

$$VF_{18} = 200(1 + 0.039)^{18} = 398$$

$$VF_{19} = 200(1 + 0.039)^{19} = 414$$

$$VF_{20} = 200(1 + 0.039)^{20} = 430$$

Para cada valor obtenido se calcula su respectivo Valor Presente considerando una TREMA de 18% e incluyendo el valor inicial de la inversión, ecuación (4-25). Su cálculo se realizó

con la fórmula VNA o Valor Presente Neto de Excel, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

AÑO	n	concepto	Costo	Consumo	
				SOLAR	Costo anual
2013	0	Inversión inicial	\$23,174		
2014	1	M	\$208	0	\$0
2015	2	M	\$216	0	\$0
2016	3	M	\$224	0	\$0
2017	4	R	\$5,361	0	\$0
2018	5	M	\$242	0	\$0
2019	6	M	\$252	0	\$0
2020	7	M	\$261	0	\$0
2021	8	R	\$6,247	0	\$0
2022	9	M	\$282	0	\$0
2023	10	R	\$2,199	0	\$0
2024	11	M	\$305	0	\$0
2025	12	R	\$7,280	0	\$0
2026	13	M	\$329	0	\$0
2027	14	M	\$342	0	\$0
2028	15	M	\$355	0	\$0
2029	16	R	\$8,484	0	\$0
2030	17	M	\$383	0	\$0
2031	18	M	\$398	0	\$0
2032	19	M	\$414	0	\$0
2033	20	M	\$430	0	\$0
			VPN= \$30,661		VPN= \$0

Tabla 4.16. Cálculo del valor presente del sistema fotovoltaico. (Elaboración propia)

Donde:

M = mantenimiento

R = reposición

Trema	18%
VPN en 2013	-\$30,661
AE	-\$5,728

Figura 4.11. Resultados del análisis económico para el sistema fotovoltaico.

(Fuente propia, elaboración con los datos de la tabla 4.16)

El Valor Presente Neto de los costos de combustible es nulo, debido a que la energía es proporcionada por el sol.

A continuación se presenta el sistema con motobomba siguiendo el procedimiento anterior. Considerando un TREMA de 18%. En este caso existe un consumo de combustible, el incremento de su consumo, debido a desgaste de componentes, se considerará de un 2% anual y el precio por litro tendrá un incremento anual igual a la inflación promedio 3.9%. El Valor Presente Neto incluye el valor de la inversión inicial, los costos de mantenimiento, reparación y el consumo de combustible, durante el periodo de evaluación, la sumatoria de estos valores tienen signo negativo porque representan inversiones.

AÑO	n	concepto	Costo	Consumo		
				Gasolina lt/año	\$/lt	Costo anual
2013	0	Inversión inicial	\$4,962			
2014	1	M	\$601	34.3	\$11.7	\$402.4
2015	2	M	\$624	35.0	\$12.2	\$426.4
2016	3	M	\$648	35.7	\$12.7	\$451.9
2017	4	M	\$674	36.4	\$13.2	\$478.9
2018	5	R	\$4,095	37.1	\$13.7	\$507.6
2019	6	M	\$727	37.8	\$14.2	\$537.9
2020	7	M	\$756	38.6	\$14.8	\$570.1
2021	8	M	\$785	39.4	\$15.3	\$604.1
2022	9	M	\$816	40.2	\$15.9	\$640.3
2023	10	R	\$4,958	41.0	\$16.6	\$678.5
2024	11	M	\$880	41.8	\$17.2	\$719.1
2025	12	M	\$915	42.6	\$17.9	\$762.1
2026	13	M	\$950	43.5	\$18.6	\$807.6
2027	14	M	\$988	44.3	\$19.3	\$855.9
2028	15	R	\$6,004	45.2	\$20.1	\$907.1
2029	16	M	\$1,066	46.1	\$20.8	\$961.3
2030	17	M	\$1,108	47.0	\$21.7	\$1,018.8
2031	18	M	\$1,151	48.0	\$22.5	\$1,079.7
2032	19	M	\$1,196	48.9	\$23.4	\$1,144.2
2033	20	M	\$1,242	49.9	\$24.3	\$1,212.6
			VPN= \$11,572			VPN= \$2,957

Tabla 4.17. Cálculo del valor presente del sistema con motobomba. (Elaboración propia)

<b>Trema</b>	<b>18%</b>
<b>VPN en 2013</b>	<b>-\$14,529</b>
<b>AE</b>	<b>-\$2,714</b>

Figura 4.12. Resultados del análisis económico para el sistema con motobomba.

(Fuente propia, elaboración con los datos de la tabla 4.17)

El costo del consumo de energía del sistema conectado a la red eléctrica es 0.765 \$/kWh y cuyo incremento anual se considerará de un 1%, con una TREMA de 18%.

AÑO	n	Concepto	Costo	Consumo		
				Electricidad kWh/año	\$/kWh	Costo anual
2013	0	Inversión inicial	\$26,078			
2014	1	M	\$204	126.6	\$0.795	\$100.6
2015	2	M	\$212	127.8	\$0.826	\$105.6
2016	3	M	\$220	129.1	\$0.858	\$110.8
2017	4	M	\$228	130.4	\$0.892	\$116.3
2018	5	M	\$237	131.7	\$0.926	\$122.0
2019	6	M	\$247	133.0	\$0.962	\$128.0
2020	7	M	\$256	134.4	\$1.000	\$134.4
2021	8	M	\$266	135.7	\$1.039	\$141.0
2022	9	M	\$277	137.1	\$1.079	\$148.0
2023	10	R	\$1,906	138.4	\$1.122	\$155.3
2024	11	M	\$299	139.8	\$1.165	\$162.9
2025	12	M	\$310	141.2	\$1.211	\$171.0
2026	13	M	\$322	142.6	\$1.258	\$179.4
2027	14	M	\$335	144.1	\$1.307	\$188.3
2028	15	M	\$348	145.5	\$1.358	\$197.6
2029	16	M	\$361	147.0	\$1.411	\$207.3
2030	17	M	\$376	148.4	\$1.466	\$217.6
2031	18	M	\$390	149.9	\$1.523	\$228.3
2032	19	M	\$405	151.4	\$1.583	\$239.6
2033	20	M	\$421	152.9	\$1.644	\$251.4
			VPN= \$27,718			VPN= \$697

Tabla 4.18. Cálculo del valor presente del sistema conectado a la red eléctrica.

(Elaboración propia)

<b>Trema</b>	<b>18%</b>
<b>VPN en 2013</b>	<b>-\$28,415</b>
<b>AE</b>	<b>-\$5,308</b>

Figura 4.13. Resultados del análisis económico para el sistema conectado a la red eléctrica.

(Fuente propia, elaboración con los datos de la tabla 4.18)

Comparando los resultados de la evaluación económica, el sistema con el Valor Presente Neto más cercano a cero es el que incluye una motobomba, la totalidad de las inversiones es más reducida que en las otras opciones.

## Sensibilidad de la evaluación económica

En la siguiente tabla se presenta una comparación de los indicadores económicos del sistema con energía solar y con motor de gasolina; muestra el incremento en el precio de la gasolina para igualar a la alternativa solar, o el incremento en la inversión inicial del sistema con motobomba que igualaría los costos del proyecto solar. De igual forma se presenta en porcentaje el decremento de la inversión inicial del sistema solar para igualar a la alternativa con gasolina o el subsidio anual necesario por usar una tecnología solar que pueda igualar los costos de la alternativa con gasolina.

<b>SENSIBILIDAD DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>							
<b>PARA HACER COMPETITIVO LA OPCION SOLAR</b>				<b>VS EL MOTOR DE GASOLINA</b>			
	<b>CASO BASE</b>		<b>PRECIO GASOLINA</b>	<b>INVERSION INICIAL GASOLINA</b>	<b>INVERSION INICIAL SOLAR</b>	<b>SUBSIDIO ANUAL A LA OPERACIÓN SOLAR</b>	
	<b>SOLAR</b>	<b>VS. GASOLINA</b>	<b>18.00%</b>	<b>+ 546%</b>	<b>+325%</b>	<b>-69.6%</b>	<b>\$3,013.77</b>
<b>Trema</b>	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%	18.00%
<b>VPN en 2013</b>	-\$ 30,661	-\$ 14,529	-\$ 30,661	-\$ 30,661	-\$ 14,529	-\$ 14,529	-\$ 14,529
<b>AE</b>	-\$ 5,728	-\$ 2,714	-\$ 5,728	-\$ 5,728	-\$ 2,714	-\$ 2,714	-\$ 2,714

Tabla 4.19. Sensibilidad de la evaluación económica entre el sistema fotovoltaico y la motobomba. (Fuente propia, elaboración con los datos de las figuras 4.11 y 4.12).

Para hacer competitiva la opción solar en comparación con el motor de gasolina, el precio de la gasolina debería incrementarse un 565%, lo cual es poco probable; otra posibilidad es que la inversión inicial de este sistema se incremente un 325%, es un escenario poco realista ya que estos sistemas tienen un mercado desarrollado y competitivo cuyos precios se mantienen siempre bajos. Por otra parte, el sistema solar debería bajar sus costos de inversión en un 69.6% para poder competir con el motor de gasolina, o que los dueños del sistema obtengan un subsidio anual de \$3 013.77 por el uso de esta tecnología. Una forma de lograr este subsidio es mediante la implementación de políticas públicas que promuevan el uso energías renovables, para evitar emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir los efectos del cambio climático.

## 4.8 CONCLUSIONES

La evaluación técnica mostró que la cantidad de precipitación pluvial capturada es insuficiente para abastecer la demanda de una hectárea de cultivo, solo aporta agua suficiente para una cuarta parte; esto se debe a que las dimensiones del reservorio no son suficientes para capturar el agua total que escurre por la ladera. Construyendo una reservorio de las mismas dimensiones que el actual se podría capturar hasta un cincuenta por ciento de las necesidades requeridas por el cultivo.

El dimensionamiento técnico del sistema de bombeo fotovoltaico, de acuerdo a la configuración de un sistema autónomo, permitió identificar los elementos principales de esta tecnología así como su vida útil. Las baterías presentan un periodo relativamente corto de utilidad, cuatro años; sin embargo, el sistema puede operar automáticamente, eliminando por completo el tiempo invertido en operación. En el caso del sistema con motobomba, los elementos más importante a considerar son el consumo de combustible y la reposición de equipo, pero sus precios son bastante económicos en comparación de las otras opciones. Se mostró que la conexión a la red eléctrica es posible, con un cable de calibre poco convencional 4AWG, lo que incrementa considerablemente el costo de inversión, se optó por un calibre más comercial 6AWG, haciendo la observación que existirá una caída de tensión considerable, un 16.6%.

La evaluación económica mostró que el sistema fotovoltaico y la conexión a la red eléctrica presentan una elevada inversión inicial, en comparación con la motobomba, por lo que económicamente son inviables. Otra desventaja que presentan estos sistemas es la necesidad de una instalación permanente, poco frecuentada por los pobladores, lo cual puede propiciar que los componentes sean objeto de robo o vandalismo.

La tecnología de bombeo agrícola con gasolina, para el proyecto en estudio, es en este momento la opción más viable económicamente. Para que la tecnología solar pueda competir con ella debería existir un alza en precios de combustible de un 546% a lo largo de veinte años; que la inversión inicial del sistema de bombeo con energía fotovoltaica sea un 69.6% menor a la actual, o que exista un subsidio anual por operación de tecnología solar fotovoltaica de \$3 013.77.

# CAPÍTULO 5

---

## IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL



## **5.1 INTRODUCCIÓN**

El abastecimiento de agua es uno de los problemas más importantes en las sociedades actuales. La propuesta generada por los pobladores del Municipio de Teotongo, para preservar el vital líquido mediante sistemas de captación, muestran el interés y la responsabilidad por resolver los problemas de su comunidad, que se encuentra en una zona de escasos recursos hídricos. Estas acciones promueven la participación ciudadana, reafirmando la unión e identidad de las comunidades y generando impactos positivos.

En este capítulo se explica en qué consiste el desarrollo sostenible, su importancia actual y la estrecha relación con el proyecto del Barrio Piedras Negras al fomentar la actividad agrícola mediante una explotación equilibrada de los recursos naturales y cuyos beneficios serán la generación de ingresos, la restauración de tierras de cultivo abandonadas y la disminución de la erosión.

Se presentan las ventajas ambientales del uso de fuentes renovables de energía, en comparación con las fuentes convencionales de hidrocarburos, y su importancia en la mitigación del cambio climático.

Se hace mención de la importancia del desarrollo agrícola en una región altamente marginada, con lo cual se busca la autosuficiencia alimentaria, la generación de empleos y la disminución del fenómeno migratorio.

## 5.2 DESARROLLO SOSTENIBLE

La demanda actual de bienes y servicios ha sobreexplotado los recursos naturales y originado una degradación ambiental, se exige a la naturaleza más de lo que esta puede aportar. Muchas especies animales y vegetales han desaparecido en los últimos años, se han contaminado ríos y mantos acuíferos, todo esto es generado por las acciones humanas. Estamos en la era de la globalización y somos susceptibles de los efectos adversos originados en cualquier parte de nuestro planeta. Se han tenido grandes avances científicos, pero también una creciente disparidad social, nuestras necesidades se han diversificado e incrementado. Ante estas adversidades, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció una comisión que informara sobre el medio ambiente y la problemática mundial, después de cuatro años de investigación, en 1987, la Comisión Mundial Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD), presentó su informe conocido como el Informe Brundtland, donde se dieron a conocer las problemáticas ambientales y sociales, expuso también el tema de desarrollo sostenible definido de la siguiente manera:

Desarrollo sostenible: el tipo de desarrollo que "satisface las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades"<sup>22</sup>

El concepto de desarrollo sostenible implica límites-no límites absolutos, sino limitaciones que imponen a los recursos del medio ambiente el estado actual de la tecnología y de la organización social y la capacidad de la biosfera de absorber los efectos de las actividades humanas. Pero tanto la tecnología como la organización social pueden ser ordenadas y mejoradas de manera que abran el camino a una nueva era de conocimiento económico. El desarrollo sostenible exige que se satisfagan las necesidades básicas de todos y que se extienda a todos la oportunidad de colmar sus aspiraciones a una vida mejor.

Se hace mención sobre la organización social y el avance tecnológico como el medio para lograr los objetivos propuestos, en el proyecto actual ya existe una organización tradicional que no es ajena al concepto de desarrollo sostenible.

---

<sup>22</sup> Asamblea general de las Naciones Unidas, Informe de la comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo, 1987.

La sostenibilidad implica el equilibrio de tres aspectos estrechamente relacionados el crecimiento económico, el progreso social y el entorno.

:

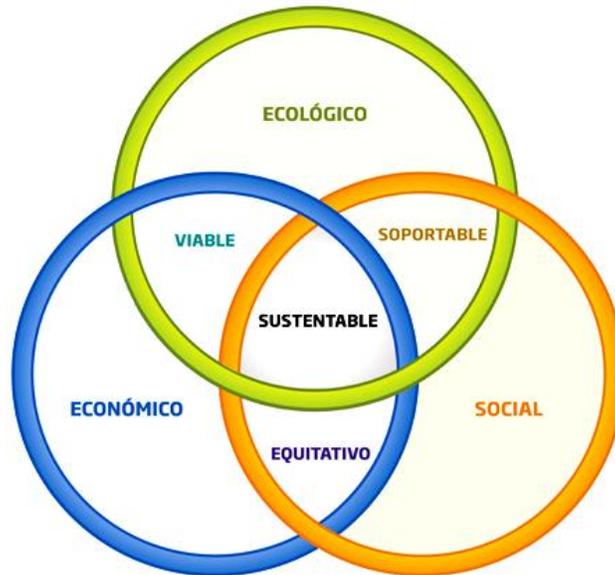


Figura 5.1. Aspectos del desarrollo sustentable.<sup>23</sup>

En este esquema la sustentabilidad se encuentra en el centro, el equilibrio de tres aspectos principales:

- El aspecto social-económico: pretende lograr el bienestar social a través de un desarrollo económico.
- El aspecto social-ambiental: El crecimiento demográfico implica una mayor necesidad de recursos naturales, y debe ser controlado por sus efectos directos y patentes sobre el medio.
- El aspecto ecológico- económico: Se deriva de la merma en los recursos naturales debido al crecimiento económico y buscando una eco-eficiencia con la finalidad de minimizar el impacto sobre el medio ambiente.<sup>24</sup>

<sup>23</sup> <http://www.amaitlan.mx/wp/sustentabilidad/>

<sup>24</sup> García y Varga, 2009, pág. 59-63.

### 5.3 IMPACTO AMBIENTAL

El sector agropecuario es una actividad fundamental en la economía mexicana atendiendo a su participación en el PIB, al empleo directo e indirecto que genera y a su asociación con los ingresos de los agentes económicos en zonas rurales. La evidencia disponible sugiere que la evolución del sector agropecuario depende del capital invertido, de la combinación de insumos, de los fertilizantes, de la tecnología, de la irrigación, del tipo de administración de riesgos, de los pesticidas, del empleo, del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> y de las características del suelo pero también de los factores climáticos. (SEMARNAT).

Las actividades agrícolas también genera emisiones de efecto invernadero, en estudios que se ha hecho por parte de la FAO, en su libro El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la Agricultura hace mención de esto: “Actualmente, el sector agrícola es un emisor importante de gases de efecto invernadero, pues origina el 13,5 por ciento de las emisiones globales. Al mismo tiempo, el cambio climático supone riesgos adicionales y una mayor imprevisibilidad para los agricultores: el recalentamiento y la consiguiente aridez y los cambios en los regímenes de lluvias, así como la creciente incidencia de los fenómenos climáticos extremos. Los agricultores pobres de los países de bajos ingresos son los más vulnerables y los que están menos capacitados para adaptarse a estos cambios. (SEMARNAT).

La siguiente tabla muestra el consumo a nivel nacional de petrolíferos en el sector agropecuario.

	2009	2010	Variación porcentual 2010/2009	Estructura porcentual	
				2009 %	2010 %
Agropecuario	147.10	144.11	-2.0	100.00	100.00
Total de petrolíferos	113.62	113.15	-0.4	77.2	78.5
Gas licuado	5.78	6.29	8.8	3.9	4.4
Querosenos	0.05	0.03	-44.7	0.0	0.0
Diesel	107.79	106.83	-0.9	73.3	74.1
Electricidad	33.48	30.96	-7.5	22.8	21.5

Tabla 5.1. Consumo de energía en el sector agropecuario en petajoules. (SENER, 2010).

## Protocolo de Kioto

El protocolo de Kioto es un acuerdo internacional presentado por la Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC) para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Que provocan el calentamiento global. Los gases generados están clasificados según su equivalencia en CO<sub>2</sub> de acuerdo a la siguiente tabla:

Gases de efecto invernadero	Equivalencia en CO <sub>2</sub> de una medida de gas CO <sub>2</sub> e
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	21
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	310
Hidrofluorocarbonos (HFC)	740
Perfluorocarbonos	1300
Hexafluoruro de Azufre	23900

Tabla 5.2. Gases de efecto invernadero y su equivalencia. (ProChile.cl)

## Bonos de carbono

Las reducciones certificadas de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CERs, por su sigla en inglés) son denominadas Bonos de Carbono o Créditos de Carbono. Un CER corresponde a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente. Durante la implementación de un proyecto son generados los CERs que se transan en forma de créditos en el Mercado de Bonos de Carbono.

## Mercado de bonos de carbono

El mercado de bonos de carbono es un conjunto de instrumentos que pueden generarse por diversas actividades de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), dependiendo de la forma que estos fueron generados.

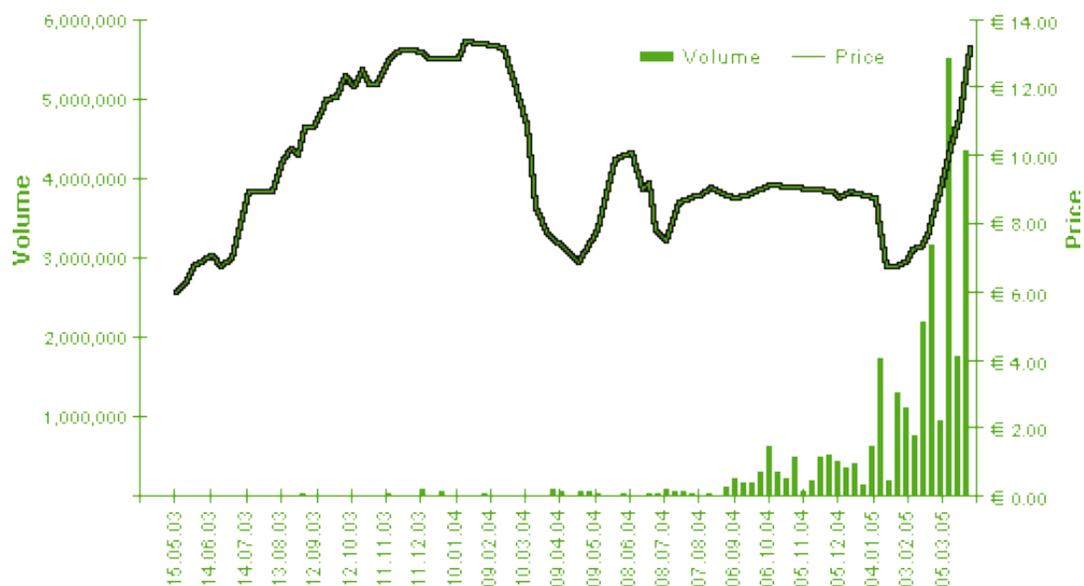
Las licencias comercializadas en el mercado de carbonos se pueden clasificar en tres tipos:

- Derechos de emisión. Son creados y asignados por los gobiernos de determinados países a empresas emisoras de GEI. Si una empresa emite menos de lo permitido,

puede vender el resto de sus emisiones a otra empresa que no haya logrado generar menos emisiones dentro de lo aceptado.

- Certificados de reducción de emisión creado en proyectos. Cuando un proyecto de mitigación implementado en un país de desarrollo o en Europa del Este comprueba la reducción de sus emisiones, comparándolo con un escenario sin la existencia de dicho proyecto, se pueden generar certificados de reducción de emisiones.
- Certificados de reducción de emisiones voluntarias. Son certificados que se comercializan en los mercados de carbono voluntario.

No hay un valor “oficial” sobre el precio de una tonelada de CO<sub>2</sub> reducida o no emitida. Aunque algunas agencias multilaterales han establecido ciertos precios para los proyectos de reducción de emisiones financiados por ellas mismas (por ejemplo, hasta 2005, el Banco Mundial emplea un precio de \$5 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente no emitida), el precio de la tonelada está sujeto a oferta y demanda de bonos de carbono en el mercado.



Gráfica 5.1. Precio y volúmenes de toneladas de CO<sub>2</sub> comerciadas en la Unión Europea.  
(Point Carbon 2005)

## Impacto ambiental del sistema con motobomba

El principal impacto ambiental del sistema con motobomba, la alternativa más económica, es la generación de Gases de Efecto Invernadero, el cual usa gasolina como combustible. Para calcular la cantidad de gases de efecto invernadero que produce la motobomba, y que se ahorraría con el sistema solar, se utilizó una herramienta informática proporcionada por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos<sup>25</sup>.

La cantidad de combustible consumido en el sistema con motobomba a lo largo de veinte años es 672 litros de gasolina.

Se necesita hacer una equivalencia a galones para ingresar los datos en el programa.

Consumo total en galones = (1galón/3.785litros)(672) = 177.543 galones.

Ingresando este valor en el programa, Greenhouse Gas Equivalencies Calculator, obtenemos:

177.543	Galones de gasolina
1.6	Toneladas métricas de CO <sub>2</sub> e

Tabla 5.3. Emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de combustible de la motobomba.  
(Elaboración con el programa Greenhouse Gas Equivalencies Calculator)

Con el sistema de bombeo fotovoltaico se tiene un ahorro de 1.6 toneladas de gases de efecto invernadero (GEI).

El precio por toneladas equivalentes evitadas de CO<sub>2</sub>, tiene un valor aproximado de 6USD, esto indica que por bonos de carbono se recibiría un ingreso de:

$$\text{Ingreso por emisiones evitadas en el periodo de estudio} = (1.6\text{tCO}_2) \left( \frac{6\text{USD}}{\text{t}} \right) = 9.6\text{USD}$$

Los valores obtenidos anteriormente en el análisis económico no se ven afectados por el valor de las emisiones evitadas ya que no son representativas económicamente. Pero se evitaría una tonelada y media de gases de efecto invernadero.

<sup>25</sup> <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html#results>

## Impacto ambiental del sistema fotovoltaico

Con la alternativa solar fotovoltaica se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, por eliminar el consumo de hidrocarburos como fuente de energía, sin embargo, en la instalación de un sistema fotovoltaico para la generación de energía, lo que representa un foco contaminante bastante elevado, Lo ideal sería el reciclado adecuado de baterías en centros especializados.

Se sabe que varios componentes usados en su fabricación son tóxicos y por tanto la contaminación ambiental y los riesgos de afectar la salud y los ecosistemas dependen de la forma, lugar y volumen en que se ha dispuesto o tratado este tipo de residuos. Desde que se propagó el uso de baterías en México, a partir de los inicios de la década de 1960, éstas se han desechado en forma inapropiada; en el mejor de los casos van a dar a tiraderos municipales que cumplen con las especificaciones técnicas, aunque esto no significa que cuenten con programas de manejo adecuado y disposición para estos productos, y en el peor de los casos, se tiran cerca de ecosistemas frágiles, cuerpos de agua o se emiten al aire sus componentes tóxicos a través de la quema de basura. Las prácticas de reciclado en México han estado ausentes debido a los altos costos económicos y las prácticas con tecnologías no adecuadas han dado lugar a costos ambientales no estudiados. (Castro & Díaz, Instituto de Ecología).

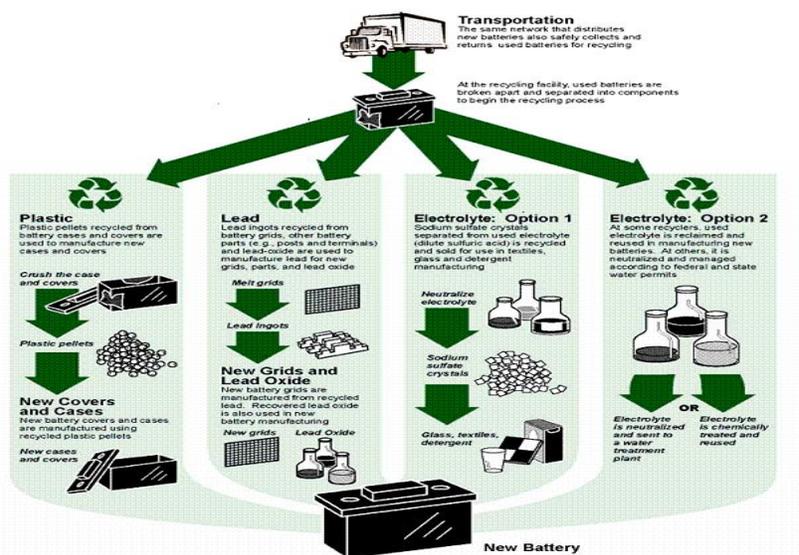


Figura 5.2 Proceso de reciclaje de baterías<sup>26</sup>

<sup>26</sup> [http://battery council.org/?page=Battery\\_Recycling](http://battery council.org/?page=Battery_Recycling)

### Impacto de la instalación para la conexión a la red eléctrica

La conexión a la red eléctrica necesita la instalación de soportes tubulares para el tendido de la red eléctrica; a pesar de existir una zona de árboles estos no se verán afectados porque existe un camino descubierto.



Fotografía. Trayectoria del posible tendido eléctrico. (Fuente propia)

La generación de Gases de Efecto Invernadero a lo largo del periodo del estudio se calculó empleando el programa Greenhouse Gas Equivalencies Calculator.

La cantidad de kilowatts-hora consumidos por este sistema se calculó a partir de los datos de la tabla 4.12:

Consumo anual de energía de la red eléctrica = 125.328kWh

Consumo durante veinte años = 125.328kWh x 20 = 2506.56 kWh

2506.56	kWh
1.8	Toneladas métricas de CO <sub>2</sub> e

Tabla 5.4. Emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de electricidad de la red eléctrica.  
(Elaboración con el programa Greenhouse Gas Equivalencies Calculator)

$$\text{Ingreso por emisiones evitadas en el periodo de estudio} = (1.8\text{tCO}_2) \left( \frac{6\text{USD}}{\text{t}} \right) = 10.8\text{USD}$$

Esta evaluación muestra que el ingreso por evitar emisiones de CO<sub>2</sub> implementando un sistema eléctrico es poco representativo en la evaluación económica.

## 5.4 IMPACTO SOCIAL

Mostradas las ventajas y desventajas de cada alternativa de bombeo en los ámbitos técnico, económico y ambiental, es de gran importancia mencionar el impacto social generado por la implementación de cada tecnología.

“El impacto de una tecnología es distinto en una cultura que otra y cada una selecciona, asimila o desarrolla las tecnologías que le son convenientes y aceptables. Por eso es insoslayable considerar los valores culturales de una sociedad antes de ponerle un desarrollo tecnológico, y nunca imponérselo”. (Javier Jiménez Espriú, 2010).

En el municipio de Teotongo es común el uso de sistemas de bombeo conectados a la red eléctrica, esta tecnología fue aceptada, asimilada e integrada a su forma de organización, se crearon comités de riego para operación y mantenimiento. Un ejemplo de esto es el comité de agua potable del Barrio Piedras Negras, seleccionado anualmente y cuyos integrantes tienen la obligación de operar la bomba con la cual se suministra agua al Barrio Piedras Negras.

El empleo de motobombas para riego agrícola ha tenido gran aceptación por parte de los agricultores de la región, su uso es frecuente; es fácil la adquisición del equipo y accesorios, ya que existe un mercado ampliamente distribuido. Los agricultores con menor recurso económicos que no pueden costearse la compra del equipo recurren a su renta por un precio más accesible. El mantenimiento y reparación en caso de averías lo realizan en los talleres mecánicos que tienen conocimientos sobre esta tecnología o en su defecto en los centros de distribución en la ciudad de Oaxaca que cuentan con personal calificado y con componentes originales.

La tecnología solar fotovoltaica es poco conocida por los pobladores de la región y su empleo como fuente de energía para el bombeo de agua es completamente nulo. La implementación de un sistema fotovoltaico necesitaría de un curso especializado y con personal capacitado que enseñe a los pobladores el correcto funcionamiento del sistema. Al análisis económico tendría que agregarse el concepto por capacitación lo cual elevaría aún más el costo del sistema, haciéndolo menos competitivo frente a las otras opciones. La falta de empresas que provean servicios técnicos para reparación y sustitución de componentes dificultaría la aceptación de las personas interesadas en esta tecnología.

La implementación de cualquiera de las tres opciones cumple con el objetivo principal, integrar un sistema de bombeo que permitirá continuar el desarrollo del proyecto, mejorando la producción de las actividades agrícolas.

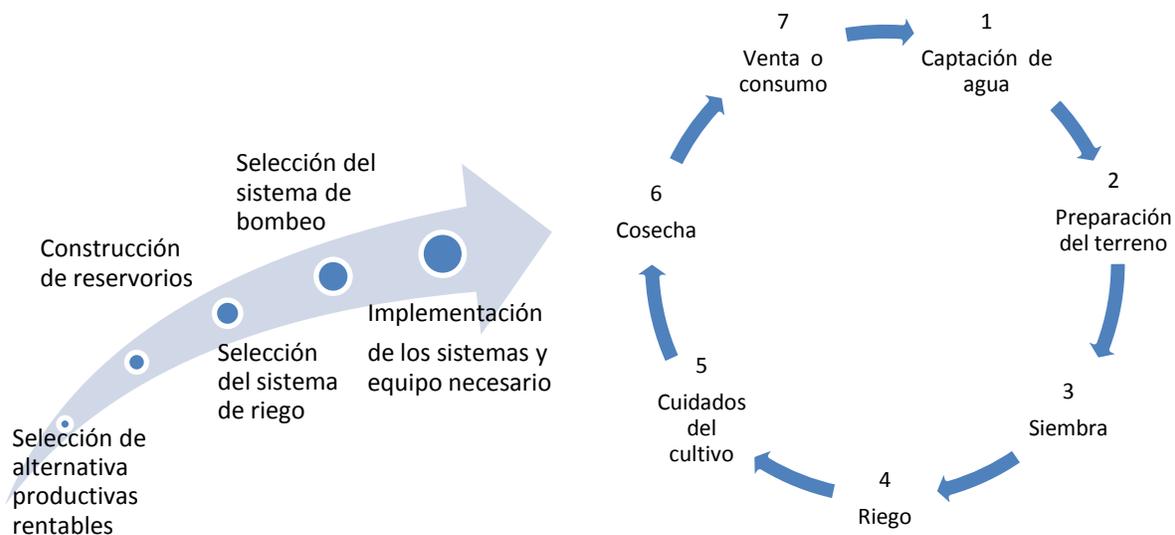


Figura 5.3. Desarrollo y ciclo productivo del proyecto.<sup>27</sup>

Con una producción agrícola sustentable y competitiva se espera obtener una fuente de trabajo, un ingreso, y una estabilidad social, lo que disminuirá la alta migración en la región. Como se explicó en el segundo capítulo, esta migración durante décadas iniciada a principios del siglo pasado, se debió en parte a la decadencia del sistema productivo y las malas prácticas agrícolas.

Proyectos como este, ligados a una mejora en la capacidad productiva de los terrenos de siembra, lograrán consolidar la autonomía agroalimentaria de la región, una de las más pobres y marginadas del país **Anexo 13**.

El desarrollo tecnológico es una herramienta para lograr el desarrollo de la sociedad. Debemos avanzar hacia una sociedad del conocimiento, donde se planten soluciones a las diversas problemáticas, elegir las más adecuadas de acuerdo a la visión conjunta de cada pueblo, respetando sus tradiciones y costumbres que son parte de su identidad, a demás de fomentar en todo momento la participación comunitaria.

<sup>27</sup> Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2010, Adaptación propia.

## 5.5 CONCLUSIONES

Las actividades agrícolas han disminuido por falta de tecnología que las haga productivas y el uso de prácticas inadecuadas de métodos de cultivo. El desarrollo sostenible enuncia la importancia de un adecuado uso de los recursos naturales para el bienestar de las generaciones actuales sin afectar el de las generaciones futuras. El desarrollo del proyecto de captación pluvial por los integrantes del Barrio Piedras Negras coincide con esta definición.

Las alternativas de bombeo presentaron los siguientes tipos de impacto ambiental:

- Sistema de bombeo con motobomba. El uso de gasolina como combustible en este sistema genera gases de efecto invernadero, un total de 1.6 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.
- Sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica. A pesar de que este sistema no genera ningún tipo de gases de efecto invernadero, el uso de baterías para almacenar energía se convierte en una fuente de desechos altamente contaminantes si no se cuenta con los mecanismos necesarios para su reciclado como programas eficientes de recolección y la existencia de empresas que las reciclen.
- Sistema de bombeo conectado a la red eléctrica. La instalación de los postes para el tendido de la instalación eléctrica no presenta peligro alguno para los árboles que hay en la zona, porque existe el espacio suficiente entre ellos para la instalación. Por otra parte en la generación de electricidad para la red eléctrica se queman derivados del petróleo, un cálculo aproximado de estas emisiones dio como resultado un total de 1.8 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

El apoyo económico a través de bonos de carbono, por mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, no es representativo en el flujo de inversión del sistema fotovoltaico.

El proyecto agrícola, en general, es positivo, ya que crea fuentes de trabajo, genera ingresos económicos y trae consigo una estabilidad social que disminuye el fenómeno migratorio. Si existiera la oportunidad de implementar proyectos de este tipo en la región, apoyados en la organización social existente, serían de gran importancia para lograr la autosuficiencia alimentaria, la reducción de marginación y pobreza.

# Conclusiones finales

---

El recurso solar, en la zona del proyecto que desarrollan los integrantes del Barrio Piedras Negras, es suficiente para implementar un sistema que transforme esta forma de energía en energía eléctrica y así operar una bomba de agua. La energía eólica que se puede aprovechar es escasa en comparación con el recurso solar.

Es posible realizar una conexión con la red eléctrica, sin embargo el costo de la instalación es elevado en comparación con las otras alternativas.

El estudio de viabilidad mostró que el sistema más versátil técnicamente y con el menor valor presente es el que incluye una motobomba que opera con gasolina. Esta alternativa presenta un elevado desarrollo tecnológico y de mercado, que han reducido considerablemente sus costos; a diferencia de la tecnología solar, que empieza a tener auge, pero la inversión económica que se realiza en ella es elevada.

La generación de gases de efecto invernadero, del sistema con motobomba y de conexión a la red eléctrica, es baja; el apoyo económico, por bonos de carbono, que podría recibir un sistema fotovoltaico para aventajar a las otras opciones no compensa sus costos de inversión.

Para hacer competitiva la tecnología solar fotovoltaica contra la motobomba de gasolina, en proyectos de bombeo agrícola como el presentado en esta tesis, tendrá que reducir sus costos de inversión, reposición de componentes y desarrollar mecanismos adecuados para evitar la contaminación por uso de baterías. Otra forma es recibiendo ayuda económica, a través de un subsidio gubernamental, desarrollando políticas públicas que incentiven el uso de energías renovables o por financiamiento del sector empresarial, de esta forma la implementación de sistemas energéticos con fuentes renovables de energía logrará acceder a una gran variedad de proyectos como el mostrado en esta tesis.

El desarrollo del proyecto actual es de gran importancia para los habitantes de esta región altamente afectada por la erosión, elevados niveles de marginación, pobreza y migración. Proyectos como este fomentan la integración social, la generación de empleos y la mejora en la calidad de vida de las personas.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Consumo final total de energía 2010	17
Tabla 2.1. Características sociales en Teotongo, barrios y rancherías	27
Tabla 3.1. Índice de deformidad	40
Tabla 3.2. Clasificación de la potencia del viento	41
Tabla 3.3. Valores máximos de radiación solar	42
Tabla 3.4. Precipitación máxima mensual ocurrida mm	43
Tabla 3.5. Evaporación total normal mm	43
Tabla 3.6. Temperatura máxima diaria ocurrida °C	44
Tabla 3.7. Temperatura mínima diaria ocurrida °C	44
Tabla 3.8. Información del cultivo propuesto	45
Tabla 3.9. Características del método de riego seleccionado	46
Tabla 4.1. Dimensiones del área de escurrimiento	52
Tabla 4.2. Eficiencias de escurrimiento estimado	53
Tabla 4.3. Precipitación aprovechable	55
Tabla 4.4. Volumen de agua por metro cuadrado necesario en temporada de sequía.	57
Tabla 4.5. Demanda de agua para el 25% del área de cultivo en temporada de sequía.	58
Tabla 4.6. Ángulos de inclinación de panel fotovoltaico recomendados.	75
Tabla 4.7. Inversión inicial sistema de bombeo con energía fotovoltaica	87
Tabla 4.8. Inversión inicial sistema de bombeo de combustión interna	87
Tabla 4.9. Inversión inicial sistema de bombeo conectado a la red eléctrica	87
Tabla 4.10. Costos por consumo de energía del sistema solar	88
Tabla 4.11. Costos por consumo de energía motobomba	88
Tabla 4.12. Costos por consumo de energía por conexión a la red eléctrica	88
Tabla 4.13. Costos futuros del sistema de bombeo con energía fotovoltaica	89
Tabla 4.14. Costos futuros del sistema de bombeo con combustión interna	89
Tabla 4.15. Costos futuros del sistema de bombeo conectado a la red eléctrica	89
Tabla 4.16. Cálculo del valor presente del sistema con energía fotovoltaica	91
Tabla 4.17. Cálculo del valor presente del sistema con motobomba	92
Tabla 4.18. Cálculo del valor presente del sistema conectado a la red eléctrica	93
Tabla 4.19. Sensibilidad de la evaluación económica entre el sistema fotovoltaico y la motobomba	94
Tabla 5.1. Consumo de energía en el sector agropecuario en petajoules	100
Tabla 5.2. Gases de efecto invernadero y su equivalencia	101

Tabla 5.3. Emisiones de CO <sub>2</sub> por consumo de combustible de la motobomba	103
Tabla 5.4. Emisiones de CO <sub>2</sub> por consumo de electricidad de la red eléctrica	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama del estudio de viabilidad	6
Figura 1.2. Clasificación de las fuentes energéticas.	11
Figura 1.3. Distribución de la energía solar incidente en la Tierra	14
Figura 1.4. Dispositivos para aprovechar la energía eólica	15
Figura 2.1. Ubicación geográfica de Teotongo	22
Figura 2.2. Mapa del uso de suelo y vegetación en Teotongo	28
Figura 2.3. Mapa de los recursos hídricos en Teotongo	30
Figura 3.1. Griggs-Putnam Index of Deformity	40
Figura 4.1. Elementos a considerar para el cálculo del ciclo hidráulico	59
Figura 4.2. Flujo volumétrico constante en un ducto cerrado	60
Figura 4.3. Diagrama de componentes del sistema de bombeo	62
Figura 4.4. Selección de tecnología de bombeo, mediante el ciclo hidráulico	69
Figura 4.5. Diagrama de decisiones para contemplar un sistema fotovoltaico	70
Figura 4.6. Celda fotovoltaica	71
Figura 4.7. Módulos fotovoltaicos	71
Figura 4.8. Configuración para un sistema fotovoltaico autónomo	73
Figura 4.9. Configuración para un sistema fotovoltaico autónomo de consumo AC	74
Figura 4.10. Diagrama eléctrico de una instalación de bombeo con energía fotovoltaica.	78
Figura 4.11. Resultados del análisis económico para el sistema fotovoltaico.	91
Figura 4.12. Resultados del análisis económico para el sistema con motobomba	92
Figura 4.13. Resultados del análisis económico para el sistema conectado a la red eléctrica	93
Figura 5.1. Aspectos del desarrollo sustentable	99
Figura 5.2. Proceso de reciclaje de baterías	104
Figura 5.3. Desarrollo y ciclo productivo del proyecto	107

## ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1.1. Producción Mundial de energía primaria	16
Gráfica 1.2. Consumo mundial de energía	16
Gráfica 1.3. Estructura de la producción primaria 2010	17
Gráfica 3.1. Comportamiento de la velocidad del viento anual m/s	41
Gráfica 3.2. Insolación global media, en Oaxaca	42
Gráfica 3.3. Precipitación anual normal mm	43
Gráfica 3.4. Temperatura máxima y mínima normal °C	44
Gráfica 4.1. Comportamiento eléctrico para un módulo fotovoltaico	72
Gráfica 5.1. Precio y volúmenes de toneladas de CO2 comercializado en la Unión Europea	102

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1 La conquista de la energía de José Chávez Morado. Fuente propia	7
Fotografía 2.1 Vista del terreno destinado al proyecto. Fuente propia	20
Fotografía 2.2. Artesanías de la región chocholteca. Fuente propia	25
Fotografía 2.3. El campo en la región Mixteca. Fuente propia	31
Fotografía 2.4. Reservorio de captación. Fuente propia	33
Fotografía 2.5. Terreno destinado al proyecto. Fuente propia	34
Fotografía 3.1 Actividades del programa 70 y más en Teotongo. Fuente propia	37
Fotografía 3.2. Árboles afectados por el viento. Fuente propia	39
Fotografía 4.1 Mural Edificio Principal Facultad de Ingeniería. Fuente propia	50
Fotografía 4.2. Vista del área de escurrimiento. Fuente propia	52
Fotografía 4.3. Vista del reservorio en temporada de sequía. Fuente propia	56
Fotografía 5.1. La casa de la abuela en la Región Mixteca Oaxaca. Fuente San Matín Palo Solo, Página electrónica	96

## GLOSARIO

**Tensión o voltaje.** Es el esfuerzo que debe realizar una fuerza externa para producir corriente eléctrica, se mide en volts (V).

**Potencia eléctrica.** Se especifica por el voltaje que obliga a los electrones a producir la corriente eléctrica, se expresa por:

$$P=V \times I$$

La unidad de potencia es el Watt (1Watt=1Volt x 1Ampere=1Joule/1segundo).

**Energía eléctrica (E).** Es la potencia generada o consumida durante un periodo de tiempo t, y se define como.

$$E=P \times t$$

La unidad de energía es el Joule (1 Joule= 1Watt x segundo)

**Corriente a corto circuito (I<sub>cc</sub>).** Es la máxima corriente generada por la celda y se mide cuando se conecta un circuito exterior a la celda con resistencia nula, su valor depende del área superficial y la radiación luminosa, normalmente se especifica en unidades de densidad de corriente, corriente entre área (Ampere/cm<sup>2</sup>).

**Voltaje a circuito abierto (V<sub>ca</sub>).** Es el voltaje máximo que genera la celda solar. Se mide cuando no existe un circuito externo conectado a la celda.

**Máxima potencia generada (P<sub>m</sub>).** Su valor queda especificado por una pareja de valores I<sub>m</sub> y V<sub>m</sub> cuyo producto es máximo. La eficiencia de conversión de la celda, η, se define como el cociente entre el valor de la máxima potencia generada, P<sub>m</sub>, y la potencia de la radiación luminosa o irradiancia, P<sub>I</sub>.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Carta, J. (2009). *Centrales de energías renovables*. Madrid: Pearson Educación.
- CONDUMEX (2011). *Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión*.
- Consejo de Desarrollo Social Municipal (2011). *Plan de desarrollo social municipal de Teotongo, Teposcolula, Oaxaca, 2011-2013*.
- Cunningham, R. (2003). *La energía, historia de sus fuentes y transformación*. Revista Petrotecnia.
- Elliott, D., Schwartz, M., Scott, G., Haymes, S., Heimiller, D. y George, R. (2004). *Atlas de recursos eólicos del Estado de Oaxaca*. Estados Unidos: NERL.
- FAO (1998). *Fuentes de energías renovables, fuentes de desarrollo sostenible*.  
(2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura*.  
(2012). *El agua y la seguridad alimentaria*.
- FIRCO (2001). *Guía para el desarrollo de proyectos de Bombeo de Agua con energía Fotovoltaica*.  
(2001). *Guía para el desarrollo de proyectos de Bombeo de Agua con energía fotovoltaica, volumen II, libro de trabajo*.
- Flores, A. y Orona, I. (2006). *Productividad del nopal para verdura bajo riego por goteo en la comarca lagunera*. Publicación. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma de Chapingo.
- García, R. & Varga, P. (2009). *Sostenibilidad, valores y cultura ambiental*. España: Editorial Pirámide.
- Giacosa, D. (1988). *Motores endotérmicos*. Barcelona: Ediciones Omega.
- Gipe, P. (2004). *Wind Power Renewable Energy for Home, Farm and Business*. Sterling Hill Productions.

- Gissi, N. (2009). *Redes Sociales y Construcción de la Colonia en la Ciudad de México. El caso del Enclave Étnico Chocholteco en San Miguel Teotongo, Iztapalapa*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gobierno del Estado de Oaxaca (2004). *Plan Estatal de Desarrollo Sustentable 2004-2010*.
- González, V. (2009). *Energías renovables*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Guadarrama, A. y Hernández, L. (2002). *Estudio de viabilidad para la conversión de Biomasa en energía eléctrica y térmica en una comunidad rural e indígena: caso San Antonio Sinicahua, Oaxaca*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández, S. (1980). *Estudio del tequio como un sistema de organización y capacitación para el desarrollo agropecuario de la Mixteca Oaxaqueña*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- INEGI (2008). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Teotongo, Oaxaca*.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas (2010). *Guía del usuario, Sistemas Fotovoltaicos Interconectados con la red Aplicaciones de Pequeña Escala*.
- Jiménez, J. (2008) *Cartas a un Joven Ingeniero*. (8ª ed.) México: Editorial Santillana.
- Labouret, A. y Villos, M. (2008). *Energía solar fotovoltaica: Manual práctico*. Editorial Antonio Madrid Vicente.
- Méndez, S. y García, J. (2006). *La tuna: Producción y diversidad*. CONABIO.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2010). *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización*. Costa Rica.

- Ministerio de Ciencia y tecnología (2006). *Serie de ponencias. Fundamento, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica, Vol. I*. España: Ministerio de ciencia y tecnología.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. (6ª ed.) México: Pearson Educación de México.
- Murcia, J. (2009). *Proyectos, formulación y criterios de evaluación*. Editorial Alfaomega.
- Oropeza, J. (2007). *Instalaciones eléctricas residenciales*. Square D.
- SAGARPA (2004). *Diagnóstico sistema-producto nopal Estado de Tlaxcala*.
- Sapag, N. (2007). *Proyectos de inversión: formulación y evaluación*. Prentice Hall.
- SIEMENS (2007). *Catálogo General Motores Eléctricos SD03*.
- Velasco, H. (1991). *Las zonas áridas y semiáridas, sus características y manejo*. Editorial Limusa.

## **PÁGINAS ELECTRÓNICAS CONSULTADAS**

<http://www.sener.gob.mx/>

<http://www.inegi.gob.mx/>

<http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35575.pdf>

<http://www.fao.org/sard/static/leader/es/biblio/energy.pdf>

[http://www.cdi.gob.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=587&Itemid=62](http://www.cdi.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=587&Itemid=62)

[http://www.finanzasoxaca.gob.mx/pdf/inversion\\_publica/pmds/11\\_13/547.pdf](http://www.finanzasoxaca.gob.mx/pdf/inversion_publica/pmds/11_13/547.pdf)

<http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar/Default.aspx>

<http://scielo.unam.mx/pdf/cuicui/v16n45/v16n45a10.pdf>

<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00273.pdf>

<http://smn.cna.gob.mx/>

<http://www.conapo.gob.mx/>

[http://www.nrel.gov/international/geospatial\\_toolkits.html](http://www.nrel.gov/international/geospatial_toolkits.html)

[http://batteryCouncil.org/?page=Battery\\_Recycling](http://batteryCouncil.org/?page=Battery_Recycling)

<http://www.conabio.gob.mx/>

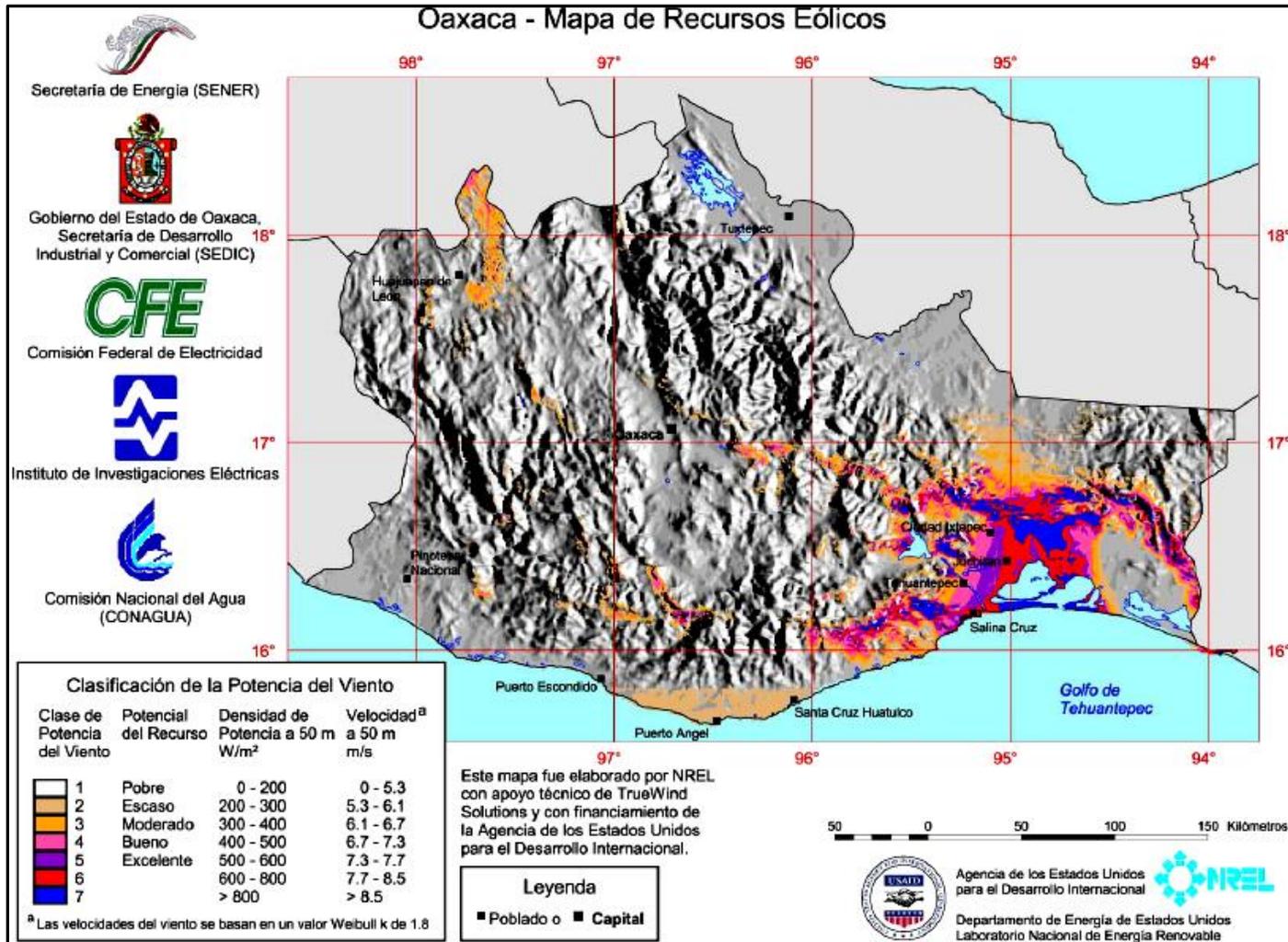
<http://www.chapingo.mx/>

<http://www.firco.gob.mx/>

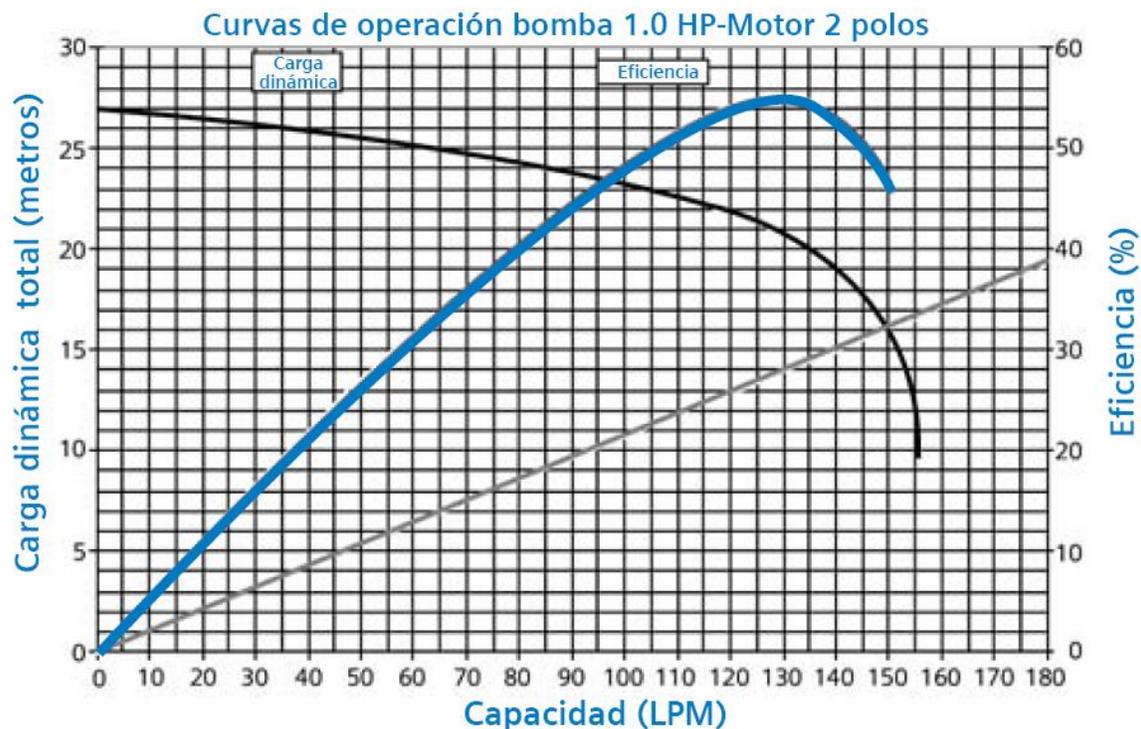
<http://www.prochile.gob.cl/>

# ANEXO 1

## ATLAS DE RECURSOS EÓLICOS EN OAXACA

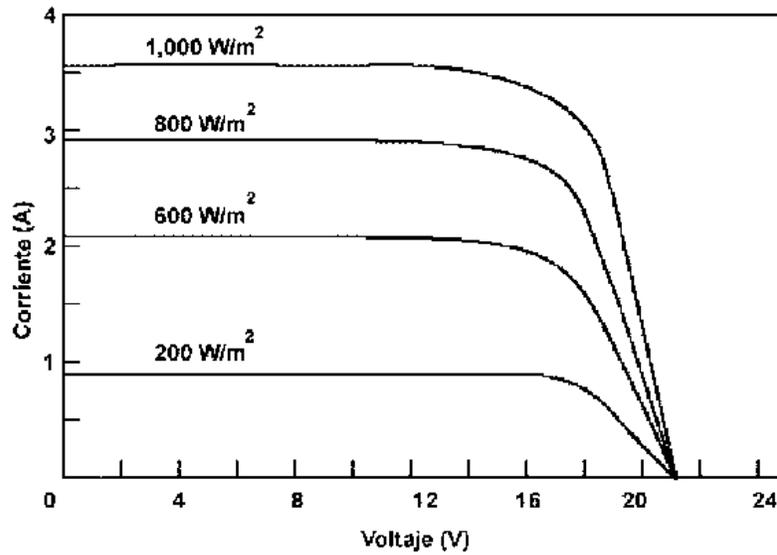


ANEXO 2  
CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

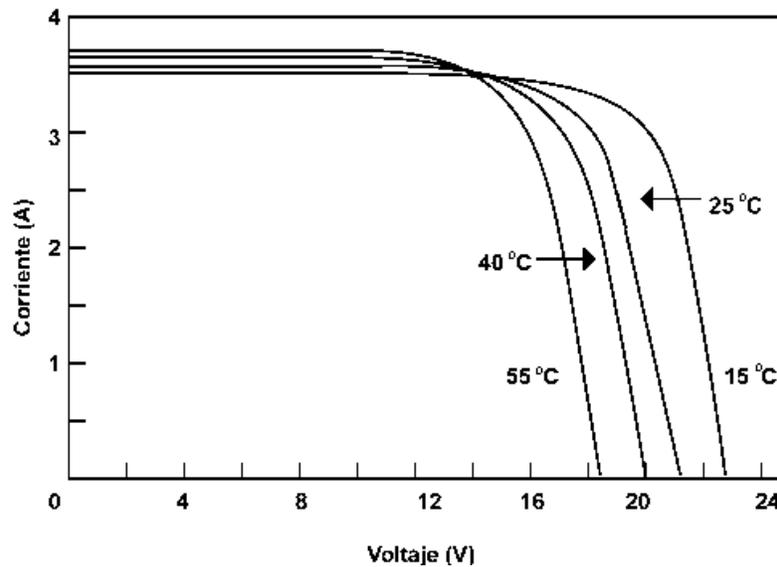


Tipo 2AN - Monofásica, Arranque por capacitor, base rígida, 2 polos										
HP	Volts	Flujo Máximo	Diámetro de succión	Diámetro de descarga	Altura max. a flujo cero	Catálogo Spiridon	F.S.	Corriente nominal A	Corriente a F.S. A	Capacitor M.N. S
0,25	127	90 l/min a 10 m de altura	1" - 11,5 NPT	3/4" - 14 NPT	17 m	A7B10000002537	1,80	4,3	5,6	A
0,50	127	120 l/min a 10 m de altura	1 1/4" - 11,5 NPT	1" - 11,5 NPT	23 m	A7B10000002538	1,60	8,0	9,3	C
0,75	127	135 l/min a 11 m de altura	1 1/4" - 11,5 NPT	1" - 11,5 NPT	26 m	2AN42552YC35	1,50	9,3	12,0	J
1,00	115/230	145 l/min a 16 m de altura	1 1/4" - 11,5 NPT	1" - 11,5 NPT	27 m	2AN42762YC65	1,30	13,4/6,7	15,4/7,7	E
1,50	115/230	150 l/min a 16 m de altura	1 1/4" - 11,5 NPT	1" - 11,5 NPT	34 m	2AN32572YC66	1,30	16,4/8,2	20,0/10,0	F
2,00	115/230	250 l/min a 11 m de altura	1 1/2" - 11,5 NPT	1 1/4" - 11,5 NPT	37 m	2AN32582YC66	1,20	21,0/10,5	25,0/12,5	G

ANEXO 3  
COMPORTAMIENTO DEL VOLTAJE Y LA CORRIENTE  
EN UN PANEL FOTOVOLTAICO



Dependencia de la corriente en función del voltaje a diferentes Intensidades de radiación (temperatura constante 25 °C). ( FIRCO, 2001)



Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes temperaturas de operación (irradiancia constante 1000 W/m<sup>2</sup>). ( FIRCO, 2001)

## ANEXO 4

### CARACTERÍSTICAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO



**BIG lumen®**



**ENALTO Solar**

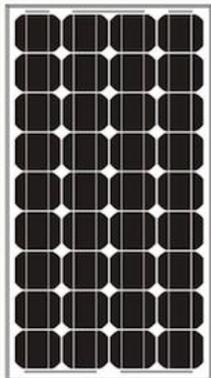
PARÁMETROS ELÉCTRICOS				
Potencia pico	PMax	90W	120W	180W
Tensión Nominal	Vmp	18,40V	18,40V	36,8V
Corriente nominal	Imp	4,90A	6,54A	4,89A
Voltaje de circuito abierto	Voc	22,20V	22,20V	44,6V
Corriente de corto circuito	Isc	5,30A	7,07A	5,30A
Voltaje máximo del sistema	IEC, UL	1000V, 600V	1000V, 600V	1000V, 600V

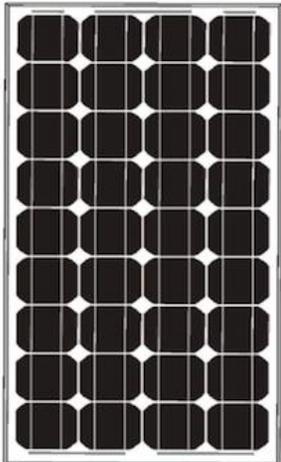
PARÁMETROS MECÁNICOS			
Celdas solares	Celdas solares mono cristalinas tipo silicón		
	125x125mm	125x82.5mm	125x125mm
No de celdas	36 (9x4)	72 (9x8)	72 (12x6)
Dimensiones (mm)	1195x 541 x 35	1061 x 810 x 35	1580x 808 x 40
Peso (kg)	7,5	12	15

Condiciones de operación	
Temperatura de operación	-40°C a +85°C
Resistencia de impacto	Diámetro de 28 mm con velocidad de impacto de 86 km/h



90w

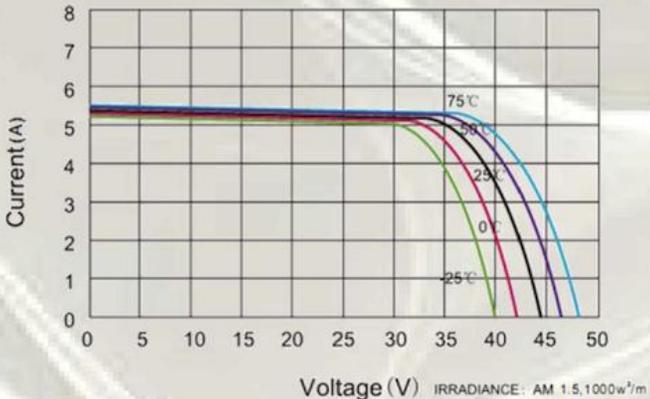
  


120w


180w



Current (A)

Voltage (V) IRRADIANCE: AM 1.5, 1000w/m²

Current/voltage characteristics with dependence on irradiance and module temperature.

180w







## ANEXO 5

### CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR

#### Steca PR

PR 1010, PR 1515, PR 2020, PR 3030

The Steca PR 10-30 series of charge controllers is the highlight in the range.

The latest charging technologies, combined with a Steca-AtoniC state of charge determination which has been significantly improved once again, result in optimal battery maintenance and control of the module output of up to 900 Wp which can be connected to it. A large display informs the user about all operating modes with the aid of symbols. The state of charge is represented visually in the form of a tank display. Data such as voltage, current and state of charge can also be displayed digitally as figures on the display. In addition, the controller has an energy meter which can be reset by the user.

#### Product features

- Hybrid controller
- State of charge determination with Steca AtoniC (SOC)
- Automatic detection of voltage
- PWM control
- Multistage charging technology
- Load disconnection depending on SOC
- Automatic load reconnection
- Temperature compensation
- Common positive grounding or negative grounding on one terminal
- Integrated data logger
- Night light and morning light function
- Integrated self test
- Monthly maintenance charge

#### Electronic protection functions

- Overcharge protection
- Deep discharge protection
- Reverse polarity protection of load, module and battery
- Automatic electronic fuse
- Short circuit protection of load and module
- Overvoltage protection at module input
- Open circuit protection without battery
- Reverse current protection at night
- Overtemperature and overload protection
- Battery overvoltage shutdown

#### Displays

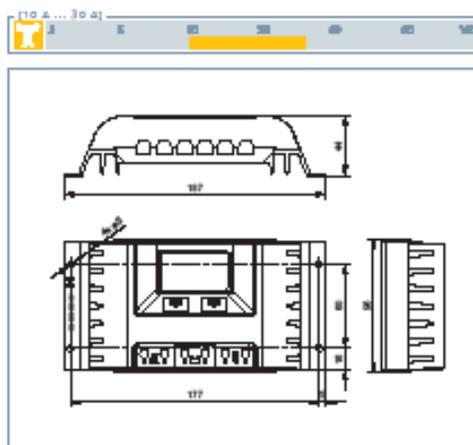
- Graphical LCD display
- for operating parameters, fault messages, self test

#### Operation

- Simple menu-driven operation
- Programming by buttons
- Manual load switch

#### Certificates

- Approved by the World Bank for Nepal
- Compliant with European Standards (CE)
- RoHS compliant
- Made in Germany
- Developed in Germany
- Manufactured according to ISO 9001 and ISO 14001



	PR 1010	PR 1515	PR 2020	PR 3030
<b>Characterisation of the operating performance</b>				
System voltage	12 V (24 V)			
Own consumption	12.5 mA			
<b>DC input side</b>				
Open circuit voltage solar module	< 47 V			
Module current	10 Δ	15 Δ	20 Δ	30 Δ
<b>DC output side</b>				
Load current	10 Δ	15 Δ	20 Δ	30 Δ
End of charge voltage	liquid 15.9 V (27.8 V); gel 14.1 V (26.2 V)			
Boost charge voltage	14.4 V (26.8 V)			
Equalisation charge	14.7 V (28.4 V)			
Reconnection voltage (SOC / U/R)	> 50 % / 12.6 V (25.2 V)			
Deep discharge protection (SOC / U/D)	< 50 % / 11.1 V (22.2 V)			
<b>Operating conditions</b>				
Ambient temperature	-10 °C ... +50 °C			
<b>Fitting and construction</b>				
Terminal (fine / single wire)	16 mm <sup>2</sup> / 25 mm <sup>2</sup> - ΔWG 6 / 4			
Degree of protection	IP 52			
Dimensions (X x Y x Z)	117 x 98 x 44 mm			
Weight	350 g			

Technical data at 25 °C / 77 °F

#### Options

- Prepayment interface
- External temperature sensor
- Alarm contact



Steca PA TS10  
External temperature sensor

## ANEXO 6 CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA

Baterías | Hoja técnica

### Batería CALE Solar 12 Volts



El acumulador CALE SOLAR es libre de mantenimiento para aplicaciones de ciclo profundo. Diseñadas específicamente para aplicaciones de almacenamiento de energía.

#### Información general

La orientación de la batería es hacia arriba. Las baterías pueden ser conectadas en serie y paralelo para obtener el voltaje y la intensidad de los requerimientos de descarga. El ciclo de vida depende de los parámetros de carga. (CALE puede proporcionar asistencia). La carga de igualación puede ser necesaria en intervalos mensuales si la intensidad de descarga es mayor que el 40 %. Las baterías deben ser protegidas del calor excesivo.

#### Características

Plomo calcio en parrilla positiva y negativa.  
Placas 13 % más gruesas que dan una mejor resistencia al ciclado.  
Pasta positiva de alta densidad para alargar la durabilidad.  
Parrillas de metal expandido 11 % más gruesas, forjadas en frío.  
Placas encapsuladas con separador de polietileno.  
430 cc de reserva de electrolito por celda.  
Caja y tapa de polipropileno de alto impacto.  
Arrestador de flama para seguridad.  
Terminales roscadas de 3/8" de acero inoxidable.



#### Parámetros del controlador de carga

Fijación del punto de regularización (VR)	14.5 V +/- .2
Histéresis de Regularización (VHR)	13.5 V
Desconexión de bajo voltaje	12.0 V
Histéresis de desconexión de bajo voltaje (LVDH)	1.5 V

El voltaje máximo que el controlador permite a la batería

Voltaje cuando la corriente es replicada

Voltaje en el cual la descarga es desconectada para prevenir sobrecarga

Es el lapso entre el LVD y el voltaje al cual la descarga es reconectada

#### Especificaciones

Voltaje normal	12 V
Largo	330.2 mm
Ancho	172 mm
Altura	217.8 mm
Altura total	240.3 mm
Peso	27.3 Kg
Capacidad	115 AH a 100 horas de descarga

#### Instrucciones de carga

Voltaje de flotación	13.5 V @ 80° F
Voltaje de igualación	15.5 V @ 80° F
Compensación por temp.	Por cada grado debajo de 27°C agregar .033 (.018) V a la inversa, por cada grado superior a 27°C quitar .033 (.018)V.

## ANEXO 7

### CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR



**DC-AC Inverter**  
 Modified Sine Wave

Model  
**SAM-800-12**  
 12 VDC - 115 VAC

#### Design Features

- USB charging port +5 VDC, 500 mA
- Compact design
- Load controlled cooling fan
- Low battery input alarm
- Universal protection circuit: thermal, battery, overload, short circuit, earth fault
- Soft start technology
- Cool surface technology
- Power save mode
- Low interference technology



**2 YEAR WARRANTY**

MODEL NO.		SAM-800-12
INPUT	BATTERY SYSTEM VOLTAGE	12 VDC
	NOMINAL INPUT VOLTAGE	12.5 VDC
	INPUT VOLTAGE RANGE	10.5 to 15.0 (+/- 0.5) VDC
	INPUT CURRENT AT CONTINUOUS POWER	72 A to 75 A
	INPUT CURRENT AT NO LOAD	0.25 A to 0.35 A
OUTPUT	OUTPUT VOLTAGE WAVE FORM	Modified Sine Wave
	OUTPUT VOLTAGE	115 VAC
	OUTPUT VOLTAGE REGULATION	+ 10% / - 2%
	OUTPUT FREQUENCY	60 Hz +/- 5%
	OUTPUT POWER, CONTINUOUS (RESISTIVE LOAD)	800 W
	OUTPUT POWER, SURGE (< 1 SEC, RESISTIVE LOAD)	1600 W
	PEAK EFFICIENCY (AT 50% OF CONTINUOUS POWER)	90%
PROTECTIONS	USB CHARGING PORT	5 VDC, 500mA
	LOW INPUT VOLTAGE ALARM	Yes (10.8 +/- 0.3 VDC)
	LOW INPUT VOLTAGE SHUTDOWN	10.5 +/- 0.3 VDC
	HIGH INPUT VOLTAGE SHUTDOWN	Yes. (> 15.5 VDC)
	OVERLOAD SHUT DOWN	Yes (Latches in shutdown condition. Manual reset by switching off and switching on the On / Off Switch)
	OVER TEMPERATURE SHUTDOWN	Yes (Auto reset)
	COOLING FAN, LOAD CONTROLLED, ON AT	35 to 45 W
	LEAKAGE PROTECTION	Yes (Shutdown)
CONNECTIONS	INPUT FUSE, 32 V	105 A (3 X 35 A)
	INPUT CONNECTION	Nut and Bolt
	OUTPUT CONNECTION - No OF NEMAS-15R RECEPTACLES	2
	REMOTE CONTROL PORT	No
GENERAL	OPERATING TEMPERATURE RANGE	0 to 25 C at 100% loading; 26 C to 35 C at 80% loading
	OPERATING HUMIDITY	< 80%
	NEUTRAL TO CHASSIS BONDING	No. Neutral is floating
	DIMENSIONS, MM (L x W x H)	218 x 180 x 59
	DIMENSIONS, INCHES (L x W x H)	8.6 x 7 x 2.4
	WEIGHT, KG	1.32
	WEIGHT, LB	2.91

NOTE: Specifications are subject to change without notice

## ANEXO 8

### CARACTERÍSTICAS DE LA MOTOBOMBA

(Catálogo de motobombas Honda, 2011)



#### Motobomba

##### MODELO

WB20XH DR

##### Tipo

Centrífuga autocebante

##### Diámetro succión/descarga

2 x 2"

##### Capacidad máxima

600 l/min

##### Presión máxima

45.46 psi

##### Carga máxima

32 m

##### Altura de succión

8 m

##### Tiempo de cebado @ 5 m

110 s

##### Dimensiones (largo x ancho x alto)

460 x 385 x 410 mm

##### Peso en seco

25 kg

#### Motor

##### MODELO

GX160

##### Tipo

OHV, 4 tiempos, enfriado por aire, monocilíndrico.

##### Desplazamiento

163 cc

##### Sistema de ignición

Bobina transistorizada

##### Sistema de arranque

Retráctil

##### Combustible

Gasolina sin plomo

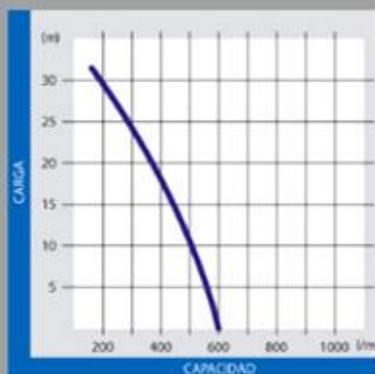
##### Capacidad del tanque de combustible

3.1 l

##### Consumo de combustible

1.4 l/h

#### Curvas de rendimiento



WB20XH DR: 2" x 2"

#### > WB20XH DR

Las livianas y compactas bombas de la serie WB de Honda, te brindan características como: Fácil arranque, una sólida resistencia y un rendimiento superior de bombeo.

## ANEXO 9

TABLA DE COMPONENTES Y COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO CON  
ENERGÍA FOTOVOLTAICA (PRECIOS 2013)

Concepto	unidad	Cantidad	Precio por unidad MXN	Precio total MXN	Vida útil años
<b>Sistema de bombeo</b>					
Bomba centrífuga	pieza	1	1300 pesos	1300	10
Panel fotovoltaico	pieza	1	6890 pesos	6890	20
Inversor	pieza	1	1000 pesos	1000	10
Controlador	pieza	1	1600 pesos	1600	10
Baterías	pieza	2	2300 pesos	4600	4
<b>Sistema eléctrico y protecciones</b>					
Interruptor	pieza	1	105 pesos	105	20
Cables	rollo 100m	1	724.25 pesos	724.25	20
Electrodo de tierra	pieza	1	106 pesos	106	20
Fusibles	pieza	2	20 pesos	20	20
<b>Sistema hidráulico</b>					
Tubería de acero galvanizado 1"	pieza	16	80 pesos	1280	20
Tubería de acero galvanizado 1 1/4"	pieza	1	80 pesos	80	20
Válvula de pie con filtro	pieza	1	105 pesos	100	20
Válvula de globo	pieza	1	115 pesos	115	20
Válvula de verificación	pieza	1	150 pesos	150	20
Codo a 45	pieza	3	27 pesos	81	20
Codo a 90	pieza	3	41 pesos	123	20
<b>Obra civil</b>					
Soporte tubular de acero 2"	pieza	1	200 pesos	200	20
Travesaño para panel	pieza	1	500 pesos	500	20
Caseta contra intemperie	m2	1	2000 pesos	2000	20
<b>Mano de obra</b>					
Instalación eléctrica	jornada	1	500 pesos	500	única
Excavación	m3	1	300 pesos	300	única
Cimentación	m2	1	300 pesos	300	única
Albañilería	jornada	1	300 pesos	300	única
Plomería	jornada	1	300 pesos	300	única
Traslado de material para instalación	viaje	1	500 pesos	500	única
<b>Costo total</b>				<b>23174.25</b>	

## ANEXO 10

TABLA DE COMPONENTES Y COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO  
 CONECTADO A LA RED ELECTRICA (PRECIOS 2013)

Concepto	unidad	Cantidad	Precio por unidad MXN	Precio total MXN	Vida útil años
<b>Sistema de bombeo</b>					
Bomba centrífuga	pieza	1	1300	1300	10
<b>Sistema eléctrico y protecciones</b>					
Interruptor	pieza	1	105	105	20
Cable 8 AWG	rollo 100m	10	1521.79	15217.9	20
Electrodo de tierra	pieza	1	106	106	20
Fusibles	pieza	2	20	20	20
<b>Sistema hidráulico</b>					
Tubería de acero galvanizado 1"	pieza	16	80	1280	20
Tubería de acero galvanizado 1 1/4"	pieza	1	80	80	20
Válvula de pie con filtro	pieza	1	105	100	20
Válvula de globo	pieza	1	115	115	20
Válvula de verificación	pieza	1	150	150	20
Codo a 45	pieza	3	27	81	20
Codo a 90	pieza	3	41	123	20
<b>Obra civil</b>					
Soporte tubular de acero 2"	pieza	16	200	3200	20
Caseta contra intemperie	m2	1	2000	2000	20
<b>Mano de obra</b>					
Instalación eléctrica	jornada	1	500	500	única
Excavación	m3	1	300	300	única
Cimentación	m2	1	300	300	única
Albañilería	jornada	1	300	300	única
Plomería	jornada	1	300	300	única
Traslado de material para instalación	viaje	1	500	500	única
<b>Costo total</b>				<b>26077.9</b>	

ANEXO 11  
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO  
(FIRCO volumen II, 2011)

Nombre del proyecto: _____		Evaluador: _____		Fecha: _____	
Lectura actual del medidor de volumen _____ m <sup>3</sup>		Fecha en que ocurrió el incidente _____			
<b>Tipo de mantenimiento:</b>					
<input type="checkbox"/> Planificado		<input type="checkbox"/> No planificado		<input type="checkbox"/> Emergencia	
_____					
<b>Condición del sistema previa a este mantenimiento</b>					
<input type="checkbox"/> No trabaja		<input type="checkbox"/> Bajo rendimiento		<input type="checkbox"/> Normal	
<b>Descripción del evento:</b>					
_____					
<b>Sub-sistemas involucrados:</b>					
<input type="checkbox"/> Arreglo		<input type="checkbox"/> Bomba		<input type="checkbox"/> Estructura	
<input type="checkbox"/> Batería		<input type="checkbox"/> Inversor		<input type="checkbox"/> Cableado	
<input type="checkbox"/> Otro: _____				<input type="checkbox"/> Tubería	
				<input type="checkbox"/> Control/Interruptor	
<b>Acción tomada</b>					
<input type="checkbox"/> Ajuste		<input type="checkbox"/> Prueba		<input type="checkbox"/> Reparación	
				<input type="checkbox"/> Reemplazo	
				<input type="checkbox"/> Inspección	
<b>Partes Reemplazadas:</b>					
_____					
<b>Mano de obra y costos:</b>					
Horas requeridas para viajar		_____		Costo total de mano de obra _____	
Horas requeridas para reparaciones		_____		Costo total de refacciones _____	
Número de personas		_____		Otros costos _____	
Total horas-hombre		_____		_____	
<b>Situación del sistema después de la acción</b>					
Sistema trabajando normalmente		<input type="checkbox"/> Sí		<input type="checkbox"/> NO	
<b>Notas:</b>					
_____					
_____					
_____					

ANEXO 12

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE LA MOTOBOMBA

(Manual del propietario GX120.GX160.GX200, Honda)

PERIODO DE SERVICIO REGULAR (3) Efectúelo a cada intervalo indicado de meses o de horas de funcionamiento, lo que primero acontezca.		Cada utilización	Primer mes o 20 horas	Cada 3 meses o 50 horas	Cada 6 meses o 100 horas	Cada año o 300 horas	Consulte la página
ELEMENTO							
Aceite de motor	Comprobar el nivel	○					9
	Cambiar		○		○		9
Aceite de la caja de reducción (tipos aplicables)	Comprobar el nivel	○					9 – 10
	Cambiar		○		○		10
Filtro de aire	Comprobar	○					10
	Limpiar			○ (1)	○ * (1)		11 – 12
	Reemplazar					○ * *	
Taza de sedimentos	Limpiar				○		12
Bujía	Comprobar-ajustar				○		12
	Reemplazar					○	
Parachispas (tipos aplicables)	Limpiar				○		13
Velocidad de ralentí	Comprobar-ajustar					○ (2)	13
Holgura de válvulas	Comprobar-ajustar					○ (2)	Manual de taller
Cámara de combustión	Limpiar	Después de cada 500 horas (2)					Manual de taller
Depósito y filtro de combustible	Limpiar				○ (2)		Manual de taller
Tubo de combustible	Comprobar	Cada 2 años (Reemplazar si es necesario) (2)					Manual de taller

ANEXO 13

MUNICIPIOS CONSIDERADOS ZONAS DE ALTA PRIORIDAD  
EN LA REGIÓN MIXTECA DEL ESTADO DE OAXACA

(Carpeta Mixteca Oaxaca, 2012)

