



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA

**“Análisis del Uso de la Energía Eléctrica
Final de Consumo Público Municipal”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
EN ENERGÍA**

P R E S E N T A :

OSCAR RUIZ CARMONA

TUTOR:

Dr. JORGE M. ISLAS SAMPERIO

2011





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente: Dr. Sánchez Juárez Aarón

Secretario: Dr. Islas Samperio Jorge M.

Vocal: Dr. Dorantes Rodríguez Rubén José

1^{er} suplente: Dr. Manzini Poli Fabio

2^{do}. Suplente: Dr. Andaverde Arredondo Jorge A.

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

TUTOR DE TESIS:

JORGE M. ISLAS SAMPERIO.

FIRMA

A mis padres
Romeo Ruiz Santiago
Margarita Carmona Reyes

A mis hermanos:
Vladimir Ruiz Carmona,
Anabel Ruiz Carmona
Romeo Ruiz Carmona

A mis sobrinos:
Ximena, Matilde y Mateo

Es a ustedes que dedico esta tesis por ser mi motivación y ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial para:

El Dr. Jorge Islas Samperio, director de esta tesis, por su invaluable ayuda en el desarrollo de esta investigación y corrección de la tesis, de igual manera le agradezco sus enseñanzas y su apoyo.

A los miembros del jurado Dr. Fabio Manzini Poli, Dr, Jorge A. Andaverde Arredondo, Dr. Rubén Dorantes Rodríguez y al Dr Aarón Sánchez Juárez les agradezco sus observaciones y sugerencias para mejorar esta tesis.

Al Centro de Investigación en Energía por brindarme este espacio para la elaboración de la tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) donde la pluralidad de ideas y de pensamientos ha enriquecido mi formación profesional.

Agradezco al Dr. Jorge Andaverde Arredondo por ese don y calidad que lo caracteriza como persona, como profesor y como amigo.

A la Lic. María de Jesús Pérez Orozco por su valiosa e incondicional ayuda, la cual hizo posible obtener las solicitudes de información y búsqueda de cursos que ayudaron a la elaboración de esta tesis.

A la M. I. Genice Kirat Grande Acosta por sus importantes recomendaciones y asesorías en la materia de economía de la energía que fueron de gran utilidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante mis estudios de maestría.

Se agradece el apoyo recibido del Proyecto 117808 del Fondo Sectorial SENER-CONACYT-Sustentabilidad Energética.

A los amigos entrañables del CIE por su valiosa amistad y agradable compañía durante los años de estancia en este centro.

En fin doy gracias a Dios por todo y agradezco a todas las personas que me brindaron su apoyo.

Índice de contenido

Introducción.....	1
Planteamiento del problema.....	5
Justificación.....	8
Objetivos.....	9
Estructura.....	10
CAPÍTULO 1. Análisis del uso final de la energía eléctrica en edificios de la administración pública del municipio de Temixco	
1.1 Introducción.....	11
1.2 Factores técnicos a considerar en la elección de equipos.....	19
1.3 Parámetros económicos.....	25
1.4 Análisis técnico-económico de sustitución de equipos y reducción de emisiones de CO2.....	28
CAPÍTULO 2. Eficiencia energética en el sistema de alumbrado público del municipio de Temixco	
2.1 Introducción.....	38
2.2 Uso final de la energía eléctrica en el sistema de alumbrado público.....	39
2.3 Diagnóstico energético del sistema de alumbrado público.....	42
2.4 Factores técnicos a considerar en la elección de equipos eficientes.....	45
2.5 Análisis técnico-económico de sustitución de equipos y emisiones de CO2 evitadas.....	49
CAPÍTULO 3. Eficiencia energética en el sistema de bombeo de agua potable del municipio de Temixco	
3.1 Introducción.....	58
3.2 Consumo de energía eléctrica y facturación en el sistema de bombeo.....	59
3.3 Sistema de bombeo solar fotovoltaico (SBSFV).....	61
3.4 Dimensionamiento de un SBSFV.....	69
3.5 Propuesta del SBSFV para el municipio de Temixco.....	74
3.6 Análisis técnico-económico de sustitución del sistema actual por el SBSFV y reducción de emisiones de CO2.....	78
CAPÍTULO 4. Resultados globales y Financiamiento	
4.1 Resultados técnico-económicos.....	87
4.2 Ahorros energéticos y emisiones evitadas de CO2.....	92
4.3 Programas e instituciones financieras nacionales.....	96
4.4 Fondos mixtos y mecanismos internacionales de financiamiento.....	102
Conclusiones.....	109
ANEXOS	
Anexo 1. Formato para levantamiento del censo de lámparas y equipos ofimáticos.....	114

Anexo 2. Facturación del palacio municipal.....	116
Anexo 3. Ejemplo de herramienta de calculo para equipos ofimáticos e iluminación.....	118
Anexo 4. Ejemplo de Herramienta para el calculo de indicadores para lámparas del alumbrado público.....	119
Anexo 5. Cotización del Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaico marca LORENTZ.....	121
Anexo 6. Herramienta para el calculo de indicadores económicos del pozo plutarco.....	122
Anexo 7. Solicitud de apoyo para el financiamiento de medidas de eficiencia energética y energías renovables ante el FIDE.....	123
BIBLIOGRAFÍA.....	124

Índice de gráficas

Ilustración 1: Mapa del municipio de Temixco y sus colindancias.....	6
Ilustración 1.1: Consumo de energía eléctrica por dependencias del H. Ayuntamiento de Temixco.....	12
Ilustración 1.2: Porcentaje de consumo de energía eléctrica en edificios municipales.....	12
Ilustración 1.3: Distribución bimestral del consumo de energía eléctrica y facturación del Palacio Municipal para el periodo (2007-2009).....	13
Ilustración 1.4: Consumo de energía eléctrica por uso final en el ayuntamiento de Temixco.....	14
Ilustración 1.5: Distribución del consumo de energía eléctrica en iluminación por área de trabajo.....	15
Ilustración 1.6: Lámparas instaladas por tipo y potencia nominal.....	16
Ilustración 1.7: Carga instalada por tecnología.	17
Ilustración 1.8: Consumo de energía por tipo de lámpara.....	17
Ilustración 1.9: Consumo de energía eléctrica en porcentaje.....	17
Ilustración 1.10: Equipos ofimáticos instalados.....	18
Ilustración 1.11: Consumo de energía eléctrica en equipos ofimáticos.....	19
Ilustración 1.12: Porcentaje de consumo de energía en equipos ofimáticos.....	19
Ilustración 1.13: Radiación visible dentro del espectro electromagnético.....	20
Ilustración 1.14: Clasificación de fuentes artificiales de iluminación.....	21
Ilustración 1.15: Comparación del consumo de energía eléctrica entre equipos convencionales y eficientes.....	37
Ilustración 1.16: Porcentaje de ahorro en energía eléctrica en base al grado de sustitución de lámparas eficientes.....	37
Ilustración 1.17: Porcentaje de ahorro en energía eléctrica en base al grado de sustitución de equipos de oficina.....	37
Ilustración 2.1: Distribución del consumo de energía eléctrica del periodo (2006-2009).....	40
Ilustración 2.2: Distribución del consumo de energía eléctrica en alumbrado público (2006-2009).....	41
Ilustración 2.3: Porcentaje de distribución de lámparas en el sistema de alumbrado público de Temixco.....	43
Ilustración 2.4: Distribución de carga instalada en el sistema de alumbrado público de Temixco.....	43
Ilustración 2.5: Consumo de energía por tipo de lámpara en el sistema de alumbrado público de Temixco.....	44
Ilustración 2.6: Distribución porcentual del consumo de energía eléctrica en el sistema de alumbrado público de Temixco.....	44
Ilustración 2.7: Eficiencia de las lámparas en función de los costos de operación.....	47
Ilustración 2.8: Porcentaje de ahorro de energía eléctrica respecto a los costos de inversión acumulada.....	57
Ilustración 3.1: Distribución del consumo de energía eléctrica para el periodo (Ene09-Sep09).....	59
Ilustración 3.2: Historial de la facturación del SBSFV para el periodo (2007-2009).....	60
Ilustración 3.3: Principales componentes de un SBSFV.....	62
Ilustración 3.4: Parámetros hidráulicos en el proceso de extracción de agua.....	63
Ilustración 3.5: Diagrama de selección de bombas en función de la carga hidráulica y el gasto.....	69
Ilustración 3.6: Ubicación del pozo Plutarco.....	75
Ilustración 3.7: Distribución del consumo de energía eléctrica del pozo Plutarco (2007-2009).....	77
Ilustración 3.8: Facturación histórica del pozo Plutarco de (2007-2009).....	78
Ilustración 3.9: Curva de selección de modelos de bombas marca LORENTZ.....	80
Ilustración 3.10: Suministro de agua potable con el modelo SP-21k de la marca LORENTZ.....	81
Ilustración 3.11: Volumen promedio de agua faltante a ser suministrado por el sistema.....	82

Ilustración 4.1: Consumo de energía eléctrica global municipal. (periodo Enero-08 a Septiembre-09).	87
Ilustración 4.2: Curva de costos de mitigación de CO2.....	94
Ilustración 4.3: Ahorro en el consumo de energía eléctrica por medidas de eficiencia energética.....	95

Índice de tablas

Tabla 1.1: Aspecto cromático de fuentes de luz (fuente: manual de instalaciones de alumbrado y fotometría).....	24
Tabla 1.2: Tecnologías a sustituir en el Palacio Municipal	29
Tabla 1.3: Especificaciones técnicas de lámparas eficientes.....	29
Tabla 1.4: Parámetros para cálculos económicos.....	30
Tabla 1.5: Indicadores económicos en iluminación de oficinas del Palacio Municipal.....	32
Tabla 1.6: Indicadores económicos en iluminación de oficinas del Palacio Municipal.....	32
Tabla 1.7: Indicadores económicos del área de iluminación en el Palacio Municipal.....	33
Tabla 1.8: Indicadores económicos para equipos ofimáticos.....	34
Tabla 1.9: Indicadores económicos para equipos ofimáticos.....	35
Tabla 1.10: Especificaciones técnicas para aire acondicionado.....	35
Tabla 1.11: Especificaciones técnicas para ventiladores.....	36
Tabla 1.12: Indicadores económicos para equipos de aire acondicionado y despachadores de agua.....	36
Tabla 2.1: Comparación del consumo de energía eléctrica (facturación-censo).....	40
Tabla 2.2: Precio medio de energía eléctrica	41
Tabla 2.3: Característica cualitativas del uso de lámparas en alumbrado público.....	46
Tabla 2.4: Características técnicas de las lámparas de VSAP.....	48
Tabla 2.5: Recomendaciones tecnológicas para la sustitución de lámparas.....	50
Tabla 2.6: Recomendaciones tecnológicas para la sustitución de lámparas.....	51
Tabla 2.7: Parámetros para cálculos económicos.....	52
Tabla 2.8: Indicadores económicos de la sustitución de lámparas de ADM por VSAP en el sistema de alumbrado público.....	53
Tabla 2.9: Indicadores económicos de la sustitución de lámparas Mixtas por VSAP en el sistema de alumbrado público.....	54
Tabla 2.10: Indicadores económicos de la sustitución de lámparas de VM por VSAP en el sistema de alumbrado público.....	55
Tabla 2.11: Indicadores económicos de la sustitución de lámparas de INC por VSAP en el sistema de alumbrado público.....	56
Tabla 2.12: Indicadores económicos de la sustitución de lámparas de INC por VSAP en el sistema de alumbrado público.....	56
Tabla 3.1: Valores de la constante k para aplicarse en la fórmula de Manning.....	65
Tabla 3.2: Comparación entre sistemas de bombeo convencional.....	66
Tabla 3.3: Comparación entres sistemas de bombeo solar	70
Tabla 3.4: Eficiencia en motores a diferentes CDT.....	72
Tabla 3.5: Parámetros hidráulicos del sistema de bombeo de agua potable de Temixco.....	74
Tabla 3.6: Parámetros hidráulicos que caracterizan al pozo Plutarco.....	76
Tabla 3.7: Especificaciones técnicas de los componentes del SBSFV.....	82
Tabla 3.8: Parámetros financieros a utilizar en el análisis económico.....	84
Tabla 3.9: Resultado de indicadores económicos para ambos sistemas	85
Tabla 4.1: Resultados globales en ahorro de energía eléctrica y emisiones de CO2.....	93
Tabla 4.2: Costos de mitigación de CO2 para equipos ofimáticos.....	94
Tabla 4.3: Tabla 13. Institución financiera a evaluar los rubros analizado.....	108

Introducción

Existe una relación importante entre la energía y el desarrollo humano debido a que todas las actividades que realiza el hombre requiere del uso de energía, de igual manera el desarrollo de un país esta ligado al uso de la energía. Sin embargo, con el aumento de la población y el desarrollo tecnológico e industrial, tan solo de 1950 a 1990 el consumo de energía se incrementó siete veces [Davis,1990]. Estos incrementos han ocasionado problemas relacionados con la disponibilidad, la economía y los efectos ambientales asociados a la producción, transformación, transporte y uso de la energía.

Uno de los grandes problemas asociado al uso de combustibles fósiles han sido las crisis energéticas, una de las mas importantes fue la de 1973, suceso histórico donde el aumento en el precio del petróleo causó una recesión económica en los países importadores. Este hecho dio indicios de la clara dependencia que se tiene de los combustibles fósiles, así como una distribución desigual del recurso, y de un crecimiento económico que tenía como base el petróleo barato.

La severidad económica de esta crisis alentó como nunca antes la puesta en vigor a nivel mundial políticas de ahorro, eficiencia energética¹ y la búsqueda de alternativas energéticas renovables. Es así como nace el aprovechamiento sustentable de la energía cuyas bifurcaciones son la eficiencia energética y la conservación de la energía, la primera requiere una inversión que conlleva un cambio por lo general tecnológico que a su vez puede tener un efecto de rebote[Herring, 2006], y la segunda recae en las decisiones de consumo del usuario final [Croucher, 2011]

Mas recientemente se ha revelado que un segundo y tal vez más importante problema mundial asociado a la creciente demanda de recursos energéticos denominado cambio climático². Los especialistas del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) han mostrado evidencia del impacto de este fenómeno sobre la naturaleza y han proyectado cambios en elementos estratégicos como la disponibilidad de agua dulce, la seguridad alimentaria, el aumento en el nivel del mar, entre tantas [PNUMA, 2008] que podrían afectar a millones de personas, y que urge mitigarlos.

La problemática del cambio climático y su mitigación, el aseguramiento de un abastecimiento oportuno de energía y la disminución de la intensidad energética³, han impulsado a nivel mundial aún más la implementación de programas de eficiencia energética. Por ejemplo, Europa a través de la implementación de políticas de eficiencia energética se ha propuesto la meta de reducción de un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el año 2020, así como aumentar la proporción de energías renovables en un 20% y la reducción de de emisiones de CO₂ en un 20% respecto a niveles de 1990 [Poveda, 2007].

Dada la importancia del uso eficiente de la energía a nivel mundial, muchos países latinoamericanos han instrumentado políticas públicas encaminadas a la eficiencia energética, utilizando programas con miras al cumplimiento de estas mismas. En la literatura se reportan programas exitosos en la región latinoamericana relacionados con la eficiencia energética en el sector público. Brasil con su amplia experiencia en eficiencia energética ha implementado un

¹ La diferencia entre eficiencia energética y conservación de la energía es que la primera se refiere a la adopción de una tecnología específica que reduce el consumo total de energía sin cambiar el comportamiento, mientras que la segunda implica un cambio en el comportamiento del consumidor [Oikonomou et al. 2009].

² El IPCC se refiere al cambio climático como cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de una actividad humana.

³ La intensidad energética es el consumo de energía necesario para producir USD \$1,000 de PIB.

programa denominado RELUZ, logrando una reducción del 1.7 % del consumo de energía eléctrica en alumbrado público; Chile ha implementado el Programa País de Eficiencia Energética y Argentina por su parte desea aprobar una ley para la ciudad de Buenos Aires, en la cual pretende introducir normas de consumo energético en los edificios y espacios públicos.

A nivel nacional para lograr resultados en eficiencia energética, el Gobierno Federal Mexicano ha instrumentado políticas, creado instituciones, organismos y programas desde 1989, que tienen como objetivo principal el uso eficiente de la energía en el país tales como: a) La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) (antes CONAE), b) El Programa de Ahorro de Energía para el Sector Eléctrico (PAESE), c) El Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI), d) El Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE), e) El Fideicomiso para el Programa para el Aislamiento Térmico (FIPATERM) y g) El Programa para Promover Calentadores Solares (PROCALSOL), el programa ILUMEX.

Es importante la participación de los gobiernos a nivel federal, estatal y municipal, en el desarrollo de estrategias que contribuyan al uso eficiente de la energía y una buena forma de lograrlo es mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética que dan como resultado grandes beneficios tanto económicos como ambientales y sociales. Económicos por el ahorro en facturación, ambientales por la disminución de GEI⁴ por la quema de combustibles fósiles y sociales por el direccionamiento de los ahorros económicos hacia otros programas de carácter social.

En México, como estrategia de mitigación del cambio climático, en el Plan Nacional de Desarrollo, el gobierno federal pretende impulsar la eficiencia y las tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica, aunado a ello se promueve el uso eficiente de la energía en el ámbito doméstico, industrial, agrícola y de transporte. Para lograr estos objetivos se deben crear los elementos necesarios como la implementación de políticas, incentivos y normas [Presidencia de la República, 2007].

Es así como surge el Programa Sectorial de Energía el cual toma como punto de partida el plan nacional de desarrollo, cuyo objetivo de promoción del uso y producción eficiente de la energía fija una meta de ahorro en el consumo de energía eléctrica en 43,416 GWh acumulados para 2012. Además de establecer las siguientes estrategias: a) promover políticas y mecanismos de financiamiento para la adopción de tecnologías eficiente por parte del sector público y privado; b) Impulsar la optimización en el abastecimiento y uso de la energía por parte de las dependencias y entidades que conforman la Administración Pública Federal; y c) Impulsar la reducción del consumo de energía en el sector residencial y edificaciones [Programa Sectorial de Energía, 2007].

Por otra parte a la Secretaría de Energía le corresponde entre tantas tareas: establecer conducir la política energética del país, el eficiencia energética, y elaborar la Estrategia Nacional de Energía con un horizonte de 15 años con ayuda del Consejo Nacional de Energía, [DOF, 2009].

En esta estrategia se plantea una visión al 2024, sustentada en tres ejes rectores que son eficiencia económica y productiva, seguridad energética, y sustentabilidad ambiental, en este ultimo se establece como objetivo un incremento en los niveles de eficiencia en el consumo de energía, como línea de acción se propone un ahorro en el consumo final de energía de 280 TWh acumulados, disminución de un punto porcentual en la tasa de crecimiento anual [SENER, 2010].

⁴ Producto de la quema de combustibles fósiles, los Gases de Efecto Invernadero GEI como el CO₂, CH₄, O₃, No_x y los CFCs o clorofluorocarbonos

Para abarcar los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo se expide el 28 de noviembre de 2008 la Ley para el aprovechamiento sustentable de la energía que es de orden público e interés social. Esta tiene como objeto propiciar un aprovechamiento sustentable de la energía⁵ mediante el uso óptimo de la misma en todos sus procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo [DOF, 2008].

De la ley antes mencionada surge el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE), en él se presentan como áreas de oportunidad para aumentar la eficiencia energética en: la iluminación (19 TWh al 2010-2012), en edificaciones (1.4 TWh al 2010-2012) y en bombas de agua (0.2 TWh al 2010-2012), [DOF, 2009].

Por su parte, la CONUEE⁶, tiene por objeto fungir como órgano técnico de consulta de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, estatal o municipal, en materia de ahorro y uso eficiente de la energía tanto como del aprovechamiento de las energías renovables [DOF, 1999].

Desde la creación de la CONUEE, uno de los programas más exitosos que se ha desarrollado es el denominado Cien Edificios Públicos, el cual se enfocó en la identificación de potencial de ahorro de energía en instalaciones gubernamentales, sobre todo en iluminación. Fue en 1996 cuando la CONUEE propone a las dependencias de gobierno federal, hacer la propuesta de cuáles edificios eran susceptibles a estudio, los resultados fueron presentados hasta el año de 1998.

En el programa antes mencionado, 103 edificios fueron inscritos, de los cuales sólo 90 fueron analizados, se observó que, en términos de energía eléctrica su facturación ascendió a \$34.7 millones de pesos anuales, lo que representa un consumo de energía de 87,547 MWh/año, y 20.79 MW en cuestión de demanda de energía. El estudio señala que el 50% de la demanda correspondía a iluminación donde tan solo el 16% era iluminación eficiente (lámparas fluorescentes tubo lineal), siendo este, un rubro importante a considerar al momento de hacer un análisis del uso final de la energía en edificios de la administración municipal [CONAE, 1998].

De los resultados estimados del programa por medidas operacionales⁷ (control en el encendido y apagado en lámparas, así como de otros equipos consumidores) generarían un ahorro del 6.42% sobre el consumo facturado y por medidas tecnológicas⁸ (sustitución de equipos de iluminación) 15 %. Desde otra perspectivas la CONUEE hace mención sobre los beneficios ambientales y la aportación en la mitigación del cambio climático, con una reducción de 8,721 toneladas de CO₂, 159 toneladas de SO₂, 18 toneladas de NO_x, una conservación de agua de 44,852,634 litros al año en plantas generadoras, y un ahorro en combustible de 3,645,436 litros de combustóleo al año, lo que requeriría una inversión estimada de \$17.58 millones de pesos [CONAE, 1998].

De la experiencia del programa cien edificios públicos nace el programa de Eficiencia Energética en la Administración Pública Federal (APF) creado por la CONUEE y tiene como objetivo establecer un proceso de mejora continua para fomentar la eficiencia energética en inmuebles,

5. El Artículo 2 de la ley para el para el aprovechamiento sustentable de la energía define como, Aprovechamiento sustentable de la energía: El uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo, incluyendo la eficiencia energética.

6 CONAE Comisión Nacional para el Ahorro de Energía en 1989, y que a partir de la publicación de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, el 28 de noviembre de 2008, se crea una nueva comisión denominada CONUEE Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de la Energía.

7 Medidas operacionales: aquellas medidas que no requieren una inversión

8 Medidas tecnológicas: se refiere a las medidas que requieren un cambio tecnológicos y por lo tanto requieren de una inversión

flotas vehiculares e instalaciones de las dependencias y entidades del Gobierno Federal, mediante la ejecución de buenas prácticas e innovación tecnológica, así como la utilización de herramientas de operación, control y seguimiento, que contribuyan al uso eficiente de los recursos públicos con una visión hacia la sustentabilidad.

Los alcances establecen que los programas de eficiencia energética presentados por cada una de las dependencias de la APF, deben incluir:

- Un diagnóstico energético en cada uno de sus inmuebles, flotas vehiculares y/o instalaciones que lo requieran, a fin de conocer la situación energética actual.
- Acciones para generar ahorros en la facturación.
- Destinar recursos, que sean asignados con base en resultado del diagnóstico energético y provenientes de de los presupuesto autorizados por las dependencias y entidades de la APF y autorizados por la H. Cámara de Diputados.
- Sistemas de control y seguimiento que garanticen la ejecución del programa.

La incursión al programa dirigido a dependencias de la APF sólo es aplicable para aquellas con una superficie construida igual o mayor a 1,000 m², independientemente de si son propiedad de la administración o arrendados, si es para uso de oficina o de otro uso.

La ejecución del programa APF en cada dependencia y entidad depende de los recursos disponibles que se asignen y de la utilización de otros recurso como los de Mecanismos de Desarrollo Limpio MDL o cualquier otro esquema de financiamiento que contribuyan a la puesta en marcha de proyectos de eficiencia energética.

Para incrementar el uso eficiente de la energía el programa de la APF establece metas por cada uno de los rubros. Para el caso de inmuebles que sean destinados para otro uso, se menciona que la reducción en el consumo de energía debe ser en un 10% respecto a la facturación, esto mediante la aplicación de medidas tecnológicas enfocadas en los sistemas de iluminación (cambio de lámparas) y medidas operacionales (modificando los patrones de consumo) en inmuebles con cargas eléctricas que operan dentro el periodo de punta.

En flotas vehiculares, se establecieron bitácoras de control de combustible, herramientas de selección de vehículos y manuales de conducción.

En Instalaciones Industriales se establecieron una serie de recomendaciones para minimizar desperdicios en los diferentes procesos industriales.

El programa de la APF ha tenido éxito a nivel nacional por su carácter de obligatoriedad, aunado a ello la participación de los funcionarios y trabajadores de las diferentes dependencias a lo largo del territorio nacional, esto ha propiciado que en cada dependencia la eficiencia energética haya dejando de ser una actividad aislada dentro de los programas anuales.

Datos de la CONUEE del 2003 muestran un ahorro acumulado de \$ 780 millones de pesos en la factura de energía eléctrica, que dejan de lado la discusión del éxito que ha tenido este programa desde su implementación.

En el sector eléctrico de México, el ahorro energético es una de las estrategias establecidas por la CFE a fin de hacer frente a las necesidades futuras. Para ello establece el PAESE (Programa de

Ahorro de Energía en el Sector Eléctrico) y el FIDE (Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico). Este último es un organismo privado con representantes del gobierno, la industria, empresarios y consumidores.

Para promocionar la uso eficiente de la energía en los sectores productivos y de servicios del país la CONUEE reconoce con un premio anual, a aquella institución que haya tenido una participación importante en la eficiencia energética y el aprovechamiento de energías renovables.

Dentro de las categorías, es importante hacer notar la participación de gobiernos estatales y municipales. En el año 2009 se otorgó el reconocimiento al Ayuntamiento de Villahermosa, con el proyecto: “Ahorro de energía en el Municipio del Centro”, un programa con acciones prioritarias en ahorro de energía en el Sistema de Agua y Saneamiento, y la sustitución de luminarias con lámparas de inducción magnética en el alumbrado público.

En México la CONUEE se encarga de promover la participación de municipios en el programa denominado Promoviendo un Sector Público Energéticamente Eficiente (PEPS) de ICLEI-Gobiernos Locales para la Sustentabilidad, el cual busca la eficiencia energética a través de la adquisición de equipos ahorradores de energía. De la misma manera FIDE promueve el financiamiento para la adquisición de equipos eficientes en sistemas de bombeo de agua potable y alumbrado público.

A la fecha 41 municipios [CONUEE, 2010] participan voluntariamente en el programa, para la compra de equipos de alumbrado público y de edificios que cuenten con sello FIDE, equipos de oficina que cuentan con sello Energy Star⁹ y motores con sello NEMA Premium¹⁰. Se han obtenido ahorros por mas de 12,908 MWh y cerca de 20 millones de pesos, se han dejado de emitir 8,300 toneladas de CO₂ equivalentes, y se han realizado compras eficiente por más de \$38 millones de pesos.

Planteamiento del problema

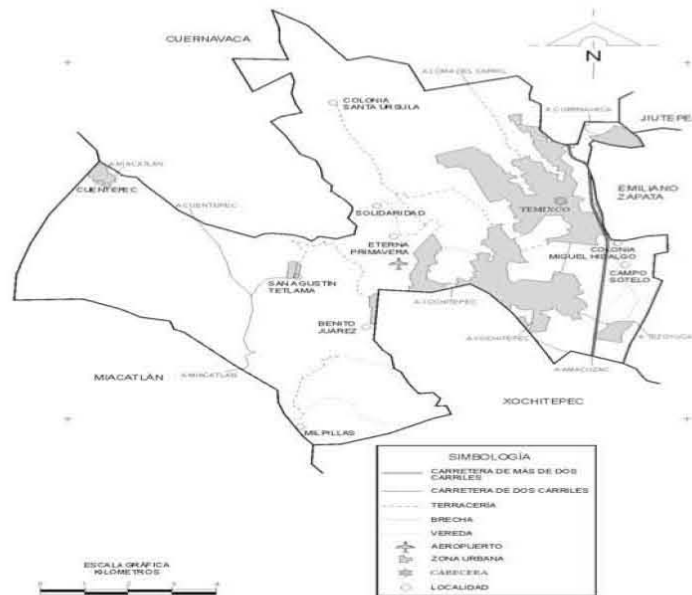
Temixco ubicado al noreste del estado de Morelos, limita al Norte con el municipio de Cuernavaca; al Este con los municipios de Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata y Xochitepec; al Sur con los municipios de Xochitepec y Miacatlán; al Oeste con los municipios de Miacatlán y Cuernavaca (ver ilustración 1). Datos del conteo de población y vivienda 2010 muestran que el municipio cuenta con 108,126 habitantes. En educación la infraestructura va desde preescolar, primaria, secundaria, licenciatura y posgrado, este último nivel impartido en el Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México (CIE-UNAM). Las principales actividades económicas son la floricultura (cultivo de rosas), agricultura, y el comercio [INEGI, 2005].

La estructura de gobierno está integrada por un presidente municipal, un sindico, cinco direcciones generales, cinco regidores de mayoría relativa y cuatro de representación proporcional, de los cuales cada uno cumple una función dentro de la administración pública municipal.

9. Energy Star, es una etiqueta que identifica productos, tales como equipos de oficina, que cumple estrictas norma de ahorro de energía establecidas por la EPA (Environmental Protección Agency) de los Estados Unidos de Norteamérica

10. NEMA Premium, Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos por sus siglas en inglés, es una etiqueta para identificar motores eléctricos con alta eficiencia en base a estándares

Ilustración 1: Mapa del municipio de Temixco y sus colindancias



La administración municipal depende de varias dependencias que se encuentran distribuidas dentro del municipio, solamente la presidencia municipal, las regidurías y direcciones están concentradas en el Palacio Municipal, el cual se encuentra ubicado sobre la avenida Emiliano Zapata No. 16.

De acuerdo a la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos los municipios son los responsables de brindar ciertos servicios y funciones a la población tales como, el bombeo de agua potable, el drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales, el servicio de alumbrado público, la recolección de la basura, mercados, bibliotecas públicas, panteones, parques y jardines.

Los costo asociado al consumo de la energía eléctrica en los municipios por la prestación de servicios, antes mencionados pueden representar importantes egresos para la administración y sus tarifas se incrementan periódicamente.

En México existen 2,439 municipios [INAFED, 2005], de los cuales la CONUEE reporta que para el 2006 el consumo energía eléctrica ascendió a 7,250 GWh que representa el 4% del consumo a nivel nacional. El alumbrado público tiene la contribución porcentual mas importante con un 59.3%, el bombeo de agua potable con un 31.4%, y edificios con un 9.3%¹¹. Estimaciones propias dan como resultado un consumo de energía eléctrica por los municipios de 8,583.8 GWh para el 2009, esto representa un crecimiento anual de poco mas del 5% en 3 años.

Para el caso de estudio en el municipio de Temixco el consumo global de energía eléctrica es de 11,299 MWh, el alumbrado público consume poco mas de la mitad de la energía con un 57.5%, el bombeo de agua potable un 40.3% y edificios un 2.2%

Los egresos por consumo de energía eléctrica son significativos para el H. Ayuntamiento de

11. El consumo de edificios fue calculado mediante la diferencia entre el total global (dato de ICLEI-Gobiernos) y la suma del consumo por bombeo y alumbrado público (dato tomado del Sistema de Información Energética SIE), estimando así el consumo global del 2009

Temixco, los cuales ascendieron a \$20,948,208 MN en el 2008, estos derivados del consumo de energía eléctrica de las tres áreas antes mencionadas:

- 1) Consumo de energía en edificios de la administración municipal.
- 2) Bombeo de agua potable.
- 3) Alumbrado público.

Como resultado de la firma del convenio de colaboración entre el H. Ayuntamiento de Temixco y el CIE-UNAM, se propuso un estudio sobre el consumo de energía eléctrica que abarca las tres áreas antes mencionadas.

El consumo de energía eléctrica en edificios municipales derivado de los equipos de iluminación, equipos ofimáticos y hábitos de consumo, se ve afectado e incrementado por diversos factores, entre ellos se observa una incorrecta distribución en los espacios de trabajo, deficiente iluminación, insuficiente ventilación natural; falta de mantenimiento en las instalaciones eléctricas; utilización de equipos de oficina con altos consumos de energía; inadecuados hábitos de uso de equipos ofimáticos y aire acondicionado por parte del personal. Indudablemente todos estos problemas repercuten en un alto consumo de energía eléctrica, que se ve reflejado en la facturación.

Para el caso de alumbrado público, el cual brinda un servicio a la comunidad para satisfacer necesidades de seguridad peatonal y vial a los habitantes de 54 colonias distribuidas a lo largo del territorio, es fundamental la continuidad del servicio por parte del municipio los 365 días del año, sin embargo presenta problemas como los siguientes:

- **Técnicos** Selección de lámpara y luminaria inadecuada.
 Censos no actualizados.
 Incumplimiento con las normas oficiales.
- **Económicos** Consumos de energía eléctrica elevados que se reflejan en la facturación.
 Recursos presupuestales insuficientes para la modernización del sistema.
- **Administrativos** No hay un plan de mantenimiento.
 Sistema inadecuado de adquisiciones.
- **Política pública** Desconocimiento de fuentes de financiamiento.
 No existe la creación de programas de eficiencia energética.
- **Capacitación** Desconocimiento de tecnologías eficientes.
 Procedimientos no adecuados para la elaboración de censos.
 Inexistencia de planos del sistema de alumbrado público.
- **Ambientales** Emisión de dióxido de carbono por la quema de combustibles fósiles al consumir energía eléctrica.
 Contaminación lumínica, visible como brillo nocturno en la bóveda celeste.

Un servicio fundamental para la población en general, es el abastecimiento de agua potable a 21,427 viviendas [INEGI, 2008], para esto el Sistema de Agua Potable y Saneamiento de Temixco SAPST, cuenta con 18 pozos para suministrar el vital líquido a la población. Para hacer esto es necesario el uso de bombas sumergibles que operen continuamente y así asegurar un suministro continuo. Problemas asociados al bombeo pueden deberse a los siguientes factores:

- **Técnicos** Periodos largos de operación de los equipos
Reparaciones continuas a los equipos provocando una disminución en su eficiencia.
Bombas no adecuadas para las cargas dinámicas totales existentes.
Variaciones hidrológicas de los pozos.
Fuga de agua en tuberías.
Equipos fuera de norma.
- **Económicos** Elevados consumos de energía reflejados en la facturación.
Falta de presupuesto para la modernización de equipos.
Recaudación insuficiente para el pago de la energía eléctrica.
- **Sociales** Descontento social por el corte del servicio de agua potable a falta del pago de energía eléctrica.
- **Administrativos** Falta de plan de mantenimiento
Adquisición de bombas ineficientes.
- **Política pública** Desconocimiento de financiamiento para compra de equipos eficientes.
Inexistencia de programas de eficiencia energética.
- **Capacitación** Desconocimiento de equipos eficientes.
Elaboración de censos sobre CDT, eficiencia de equipos y factor de potencia.
- **Ambientales** Producción de dióxido de carbono por la quema de combustibles fósiles al consumir energía eléctrica.

Justificación

En México las dependencias de la administración pública federal, empresas paraestatales como CFE y PEMEX, empresas privadas, gobiernos estatales y municipales, han establecido programas de eficiencia energética como estrategias de ahorro con base a las políticas y programas antes mencionados.

Aunque la participación de los gobiernos municipales sea de manera voluntaria en los programas de eficiencia energética creados por la CONUEE, las ventajas son enormes para la economía de los municipios, siempre que esta funcione como un programa fundamentado en los potenciales de ahorro de energía en el municipio, estableciendo una política energética de sustentabilidad, flexible a las transiciones partidistas y que sea parte integral del motor del desarrollo en el municipio de Temixco.

Si bien el uso de la energía eléctrica es de suma importancia en alumbrado público, bombeo de agua potable y edificios municipales, es necesario identificar el uso de ésta mediante un diagnóstico energético. Mediante un análisis técnico-económico se determinarán alternativas de uso final de la energía para elegir la mejor opción resultado de la evaluación, la aplicación de alternativas eficientes generaran beneficios en los consumos de energía sin comprometer la funcionalidad; reducción en la facturación; un impacto positivo al medio ambiente por la disminución de GEI .

Los ahorros económicos que se pueden obtener por medidas de eficiencia energética, en principio podrán ser destinados a la inversión, subsecuentemente pueden ser usados en otros programas de desarrollo para el municipio. En alumbrado público el dinero ahorrado en la facturación puede ser utilizado para la adquisición de nuevos equipos, en bombeo de agua potable para mejorar el suministro, pagar a tiempo la facturación y evitar el corte en el servicio de agua potable a la población.

En un sentido general la eficiencia energética en el municipio de Temixco significa aumentar la eficiencia de los sistemas consumidores, empleando sólo lo estrictamente necesario para satisfacer una determinada necesidad. Las administración municipales temixquense puede beneficiarse y contribuir al desarrollo sustentable de su comunidad a través de estrategias o políticas públicas orientadas al ahorro en el consumo de energía.

Objetivos

Dada la importancia de los programas de aprovechamiento sustentable de la energía a nivel nacional, implementados por la CONUEE, es importante reconocer que hay una falta de participación por parte de los gobiernos a nivel estatal y municipal, es por eso que se pretende que en este trabajo se identifique el potencial de ahorro de a energía eléctrica de consumo final par el municipio de Temixco, lo que permitirá brindar un mejor servicio a la población, considerando los beneficios que el ahorro de energía pueda traer al municipio. En esta tesis se establecen los siguientes objetivos:

- a) Identificar el uso final de la energía eléctrica en edificios municipales, sistema de alumbrado público y bombeo de agua potable.
- b) Determinar alternativas tecnológicas que propicien el ahorro de energía en las áreas mencionadas.
- c) Mostrar los potenciales de ahorro de energía eléctrica y económico en inmuebles del municipio de Temixco, sistema de alumbrado público y sistema de bombeo de agua potable.
- d) Ante el monto de la inversión requerida para llevar a cabo las medidas de ahorro, identificar los organismos y dependencias que otorgan financiamiento para proyectos de eficiencia energética.

Para el logro de los objetivos antes señalados, el estudio se realizará con datos obtenidos del Ayuntamiento de Temixco.

Estructura.

Le estructura de la tesis consta de 4 capítulos. En el capítulo 1 se desarrolla el análisis del uso final de la energía eléctrica en edificios municipales. Este capítulo consta de cuatro secciones. En la primera sección se da una breve introducción sobre el uso final en edificios municipales y se delimitan las áreas de estudio. En la segunda sección se establecen los factores técnicos que se deben considerar al momento de seleccionar un equipo eficiente. En la tercera sección establece los parámetros económicos que serán de utilidad para la evaluación económica de alternativas. Por último, en la cuarta sección se presentan los resultados del análisis técnico-económico de sustitución de alternativas en el Palacio Municipal.

En el capítulo dos se analiza el sistema de alumbrado público del municipio de Temixco y se proponen medidas de eficiencia energética para disminuir el consumo de energía eléctrica. Este capítulo está dividido en cinco secciones. La primera sección se introduce al lector en el problema del alumbrado público. En la segunda sección se hace un análisis de los consumos de energía eléctrica del sistema de alumbrado público del municipio de Temixco. En la tercera sección se realiza un diagnóstico del uso de tecnologías de consumo final en alumbrado público en Temixco. En la cuarta sección se determinan los factores técnicos a considerar para la elección de equipos eficientes. En la quinta sección se presentan los resultados del análisis técnico-económico de sustitución de lámparas en el alumbrado público del municipio de Temixco.

En el capítulo tres se analiza el sistema de bombeo de agua potable del municipio de Temixco, en el cual se evalúa técnica y económicamente la sustitución de un equipo de bombeo existente por un sistema de bombeo solar fotovoltaico SBSFV. Este capítulo está dividido en seis secciones. La primera sección introduce al lector sobre la problemática del bombeo de agua potable. En la segunda sección se presenta un diagnóstico del consumo de energía eléctrica del sistema de bombeo de agua potable del municipio de Temixco. En la tercera sección se presentan el funcionamiento y aspectos técnicos que rigen el funcionamiento de un SBSFV. En la cuarta sección se trata el tema del dimensionamiento de un SBSFV. En la sección cinco se delimita el caso de estudio a un pozo en particular, se analizan el consumo energético y se presenta la propuesta de un SBSFV. En la sección seis se presentan los resultados del análisis técnico-económico de la comparación del sistema convencional por el sistema de bombeo solar.

En el capítulo cuatro se presentan los resultados globales de las medidas de eficiencia energética y las diferentes opciones de financiamiento que permitan en un momento dado implementar las medidas en el municipio de Temixco. Este capítulo está dividido en cuatro secciones. La primera sección se presentan análisis integral sobre los resultados globales, a fin de presentar las mejores opciones de sustitución. En la segunda sección se presentan los ahorros energéticos y beneficios ambientales. En la tercera sección se presentan las opciones de financiamiento nacionales. En la cuarta sección se presentan los fondos mixtos y mecanismos de financiamiento a nivel internacional a los cuales el municipio puede acceder en un momento determinado.

Finalmente las conclusiones

CAPÍTULO 1. Análisis del uso final de la energía eléctrica en edificios de la administración pública del municipio de Temixco

1.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza un estudio acerca del consumo de la energía eléctrica en oficinas del H. Ayuntamiento de Temixco en base a los usos finales, esto permitirá definir la estructura del uso final de la energía eléctrica y poder plantear con mejor conocimiento las mejores oportunidades de ahorro de energía y su factibilidad económica y financiera. Para este estudio fue necesario hacer un diagnóstico energético del uso final de la energía eléctrica a partir de la información proveniente por un lado del censo de equipos instalados y sus características técnicas de uso y por otro lado de la recopilación de la facturación histórica de consumo de energía eléctrica en estas edificaciones.

Para el levantamiento del censo fue necesario elaborar dos formatos (ver anexo 1), uno para levantamiento de dispositivos de iluminación (lámparas) y otro para equipos ofimáticos (p.ej. computadoras, impresoras, aire acondicionado, etc.). En cada formato se especifica el tipo de equipo, la potencia (en Watts), las horas de uso diario del equipo y el número de equipos instalados.

El censo de los equipos se realizó de octubre a diciembre del 2009, pasando por cada uno de los departamentos y anotando en cada formato la potencia del equipo mostrada en la ficha técnica, el tiempo de uso de los equipos, lo cual fue proporcionado por los usuarios, la marca del equipo y otras observaciones o recomendaciones que hicieron los usuarios.

Para el caso de la facturación histórica fue necesario solicitar información a través del sistema electrónico INFOMEX, recabándose datos sobre la facturación y consumo de energía del periodo comprendido de septiembre de 2007 a septiembre de 2009 (la información detallada se encuentra en el anexo 2).

Delimitación de espacios:

De la facturación proporcionada por el ayuntamiento y complementada por el sistema electrónico INFOMEX, se determinó la demanda energética por cada una de las dependencias municipales, obteniéndose el consumo promedio anual de una de ellas. En la Ilustración 1.1 se presenta este consumo de energía eléctrica, donde es evidentemente que las oficinas que pertenecen al edificio conocido como Palacio Municipal tiene el mayor consumo de energía eléctrica, siendo este consumo de 136,491 kWh anuales.

En la gráfica Ilustración 1.2 se muestra que el consumo de energía eléctrica por parte del edificio del Palacio Municipal¹² representa el 55.49% del total, dejando el 44.51% restante a otras oficinas o dependencias pertenecientes a la administración municipal y que se encuentran ubicadas en diferentes partes del municipio de Temixco.

12. Palacio Municipal: En el reside el presidente municipal junto con su cabildo y las diferentes regidurías y estas constituido por 3 edificios contiguos.

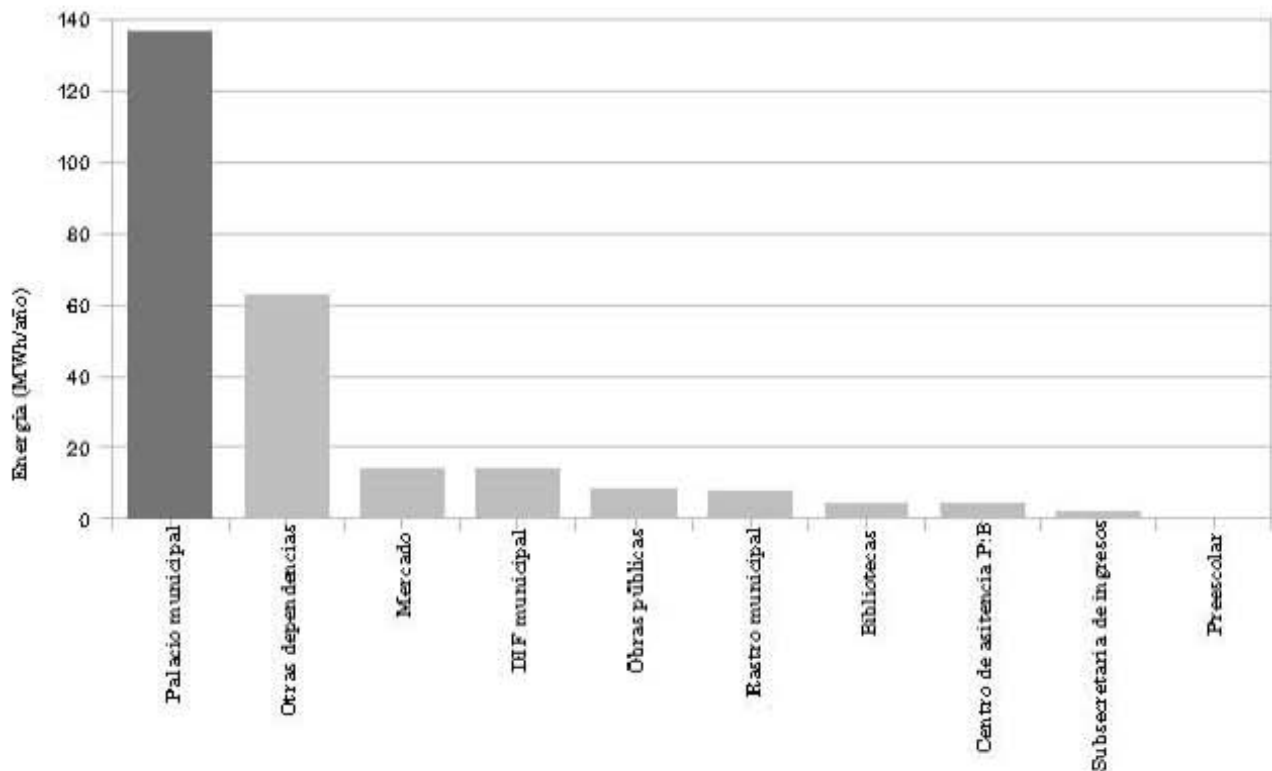


Ilustración 1.1: Consumo de energía eléctrica por dependencias del H. Ayuntamiento de Temixco.
Fuente (facturación de energía eléctrica y sistema INFOMEX)

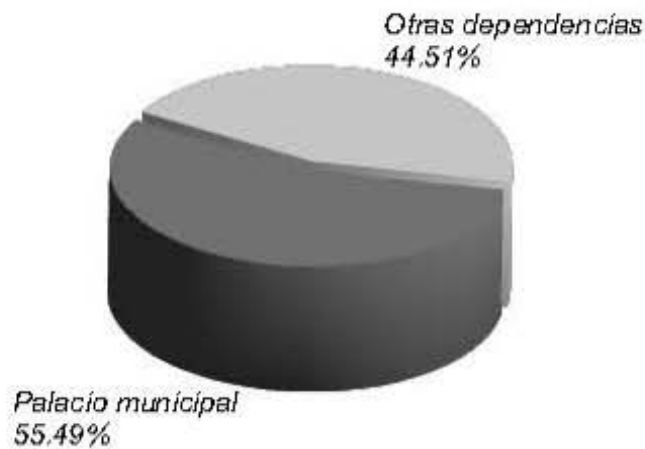


Ilustración 1.2: Porcentaje de consumo de energía eléctrica en edificios municipales.

Tomando en cuenta el alto porcentaje de consumo de energía por parte del Palacio Municipal se optó por realizar un diagnóstico de uso final de la energía eléctrica en dicho lugar.

Con el fin de visualizar la evolución en el consumo de energía eléctrica se presenta en la Ilustración 1.3 los valores de facturación histórica del Palacio Municipal, en ella se observa que el consumo bimestral oscila entre 10,000 y 30,000 kWh, presentándose un periodo anómalo (nov-ene 2008) en donde el consumo fue superior a los 50,000 kWh. No existe una razón conocida para esta anomalía, sin embargo, se pueden suponer 4 posibles causas: (1) debido a una fuga de energía en las instalaciones; (2) una mala toma de la lectura en el medidor; (3) por decoración en luminarias por ser temporada navideña y (3) un aumento en la carga, pero este último queda descartado por la disminución en el consumo en los meses siguientes.

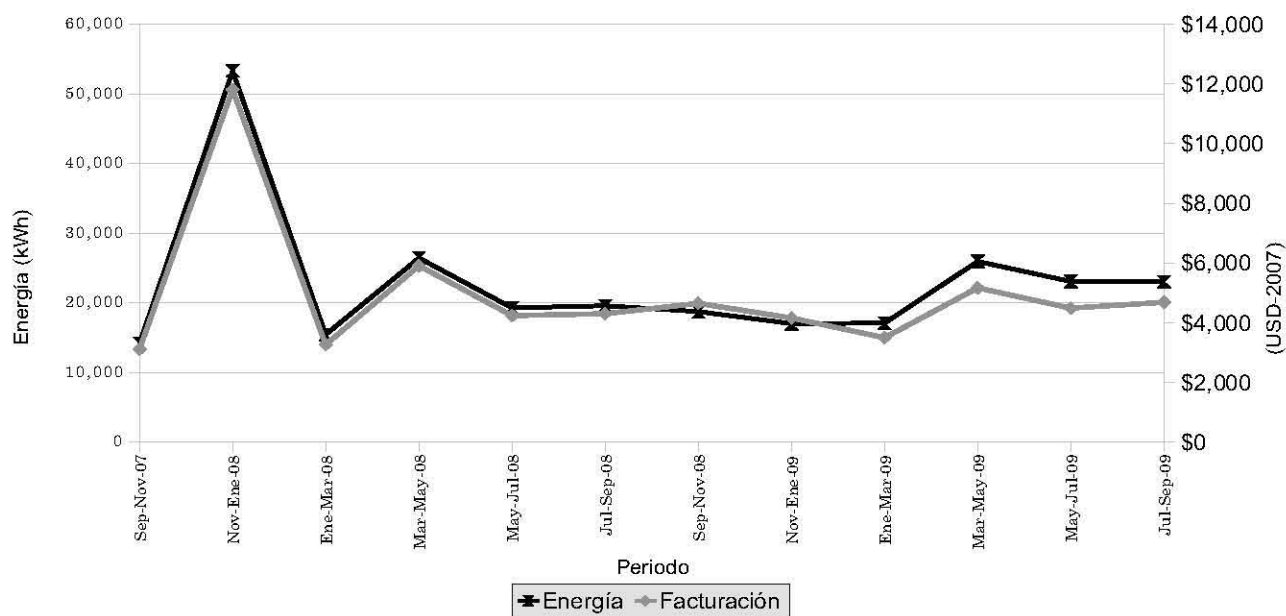


Ilustración 1.3: Distribución bimestral del consumo de energía eléctrica y facturación del Palacio Municipal para el periodo (2007-2009).

Con la finalidad de comparar los egresos por concepto de consumo de energía eléctrica se realizaron dos operaciones comunes en este tipo de estudios. La primera consiste en expresar los gastos de facturación en dólares americanos (USD) por ser esta una moneda estable y de uso más común en el sector financiero. En la segunda, cada facturación se transformó de moneda corriente a constante tomándose como base el año 2007 por ser este un año económicamente estable.

En términos monetarios, el elevado consumo de energía eléctrica representa gastos significativos para el Municipio, los cuales deben de ser analizados y en su caso disminuidos. En la Ilustración 1.3 se presenta la facturación histórica concerniente al consumo eléctrico del Palacio Municipal, en ella se observa que los egresos se han mantenido entre los 2,000 USD y 6,000 USD, con la excepción del periodo (nov-diciembre 2008) donde se presentó una facturación superior a los 10,000 USD.

Una forma de conocer la causa de los altos consumos de energía es mediante un diagnóstico energético identificando y caracterizando los usos finales. Para lo anterior se realizó el censo de los equipos ofimáticos, iluminación y climatización, dando como resultado la demanda de energía

por cada uno de los equipos la que se muestra en la Ilustración 1.4.

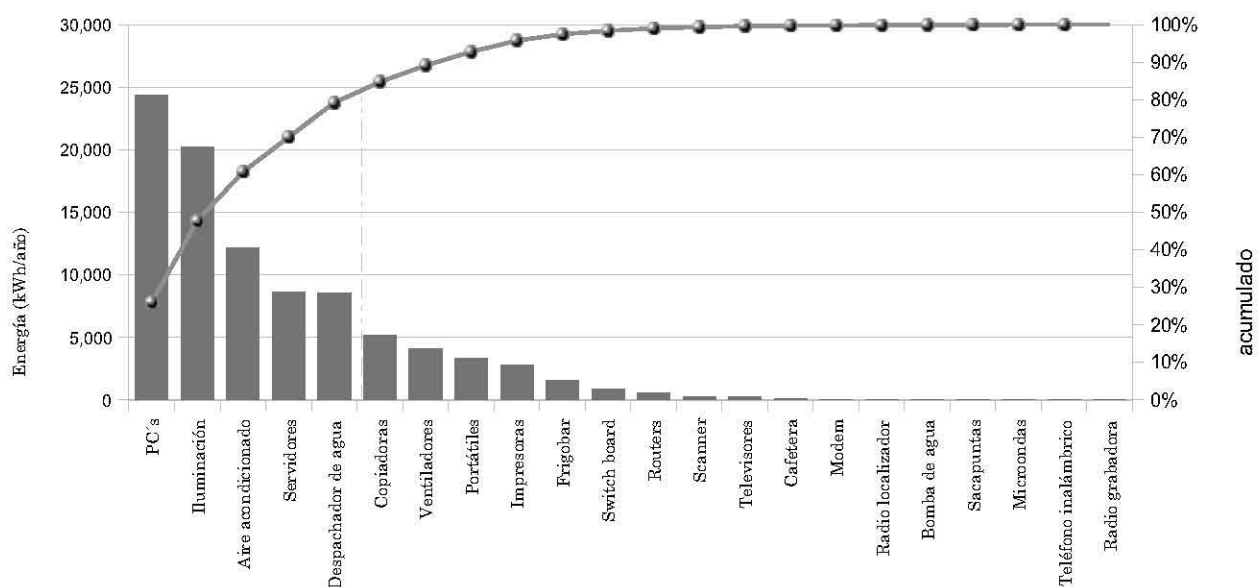


Ilustración 1.4: Consumo de energía eléctrica por uso final en el ayuntamiento de Temixco

El consumo de energía eléctrica por cada uno de los equipos se determinó en base al tiempo de uso durante la jornada laboral multiplicado por la potencia de los equipos sumando las pérdidas por uso de balastos electromagnéticos, englobado en un periodo de 240 días laborables.

Utilizando la siguiente fórmula [Di Stefano, 2000]:

$$(1.1)$$

Donde:

F = número de lámparas

P = Es la potencia de la lámparas (W)

H = número de horas de operación al año de las lámparas (h)

De acuerdo a los resultados en la gráfica 1.5 se muestra un diagrama de Pareto en el cual podemos observar que el 80% del consumo de la energía eléctrica está destinado tan solo al uso de los siguientes aparatos: PC's, iluminación, aire acondicionado, servidores y despachadores de agua.

De acuerdo a lo descrito anteriormente fue necesario hacer una clasificación que permita hacer el estudio respecto al tipo de tecnología, esta clasificación se hizo en dos grupos: 1) iluminación y, 2) equipos ofimáticos y de climatización

1) *Iluminación:*

Siendo la iluminación el rubro de mayor consumo de energía eléctrica, es importante denotar el consumo que representa por cada una de las áreas de trabajo, esto con el fin de poder facilitar al municipio la información que permita direccionar adecuadamente las medidas de eficiencia energética.

La Ilustración 1.5, muestra en un diagrama de Pareto¹³ que el 80% del consumo de energía para iluminación se destina a satisfacer las necesidades en las siguientes áreas de trabajo: oficina de la presidencia, secretaría de desarrollo humano, coordinación de administración, dirección de cabildo y asuntos migratorios, archivos de contabilidad y administración, coordinación de logística, el almacén y los sanitarios.

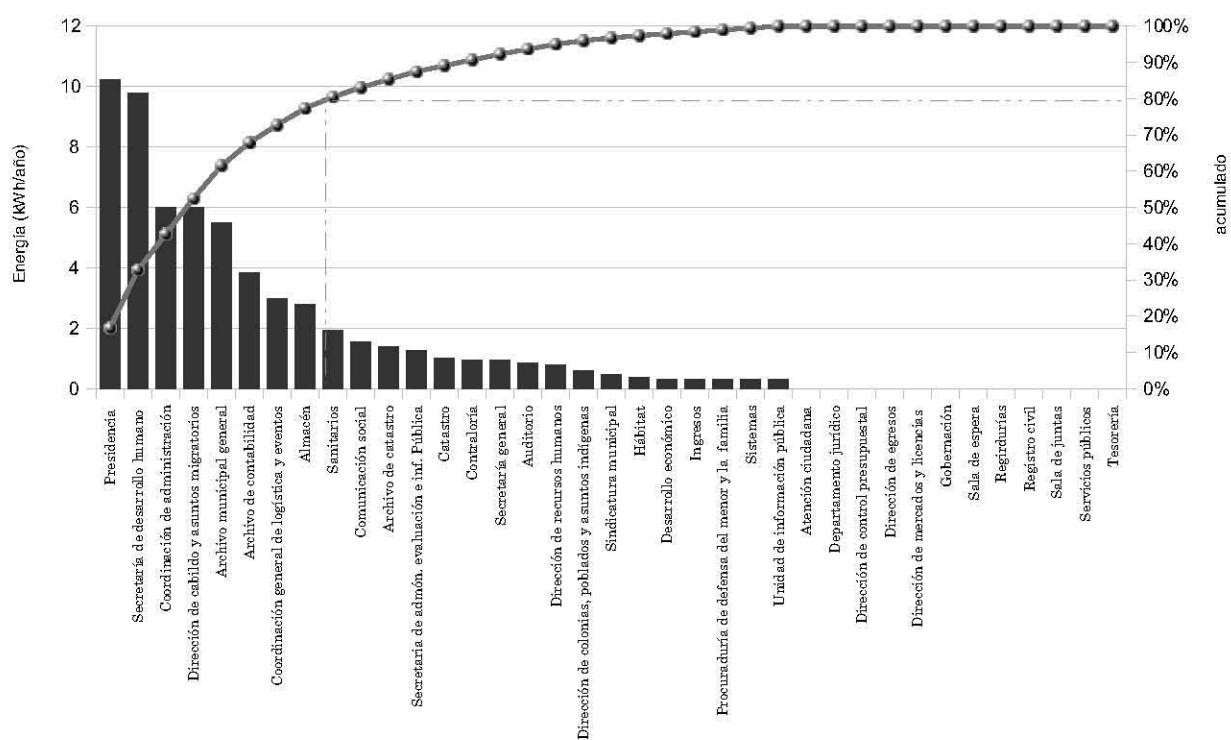


Ilustración 1.5: Distribución del consumo de energía eléctrica en iluminación por área de trabajo.

Cabe mencionar que el almacén y los archivos de contabilidad y administración son áreas de trabajo ubicadas en el sótano del edificio, que presentan problemas de iluminación natural y problemas asociados a una mala distribución de luminarias.

13. El diagrama de Pareto permite asignar un orden de prioridades, en este caso las áreas potenciales de ahorro de energía eléctrica.

Por otra parte la NOM-007-ENER-2004 establece los niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), con que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones, y modificaciones de los ya existentes, con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica y contribuir a la preservación del medio ambiente.

La DPEA es la relación entre la carga instalada y el área a iluminar y esta expresada en (W/m²)

$$(1.2)$$

De acuerdo a la norma, las oficinas no deben exceder un valor de DPEA=14 (W/m²). Con un área de 1,591 m² y una carga instalada de 15,686 W la DPEA=9.86 para el Palacio Municipal, por lo tanto cumple holgadamente con la NOM-007-ENER-2004 [DOF, 2005].

Del censo realizado se encontró una distribución conformada principalmente por lámparas fluorescentes compactas de 20, 32 y 16 Watts (consideradas como eficientes); lámparas fluorescentes lineales T-12 de 75, 70, 55 y 39 Watts; lámparas incandescentes de halógeno de 50 y 150 Watts, y lámparas incandescentes de 100, 75 y 60 Watts (consideradas como ineficientes), las cuales se muestran en la (Ilustración 1.6).

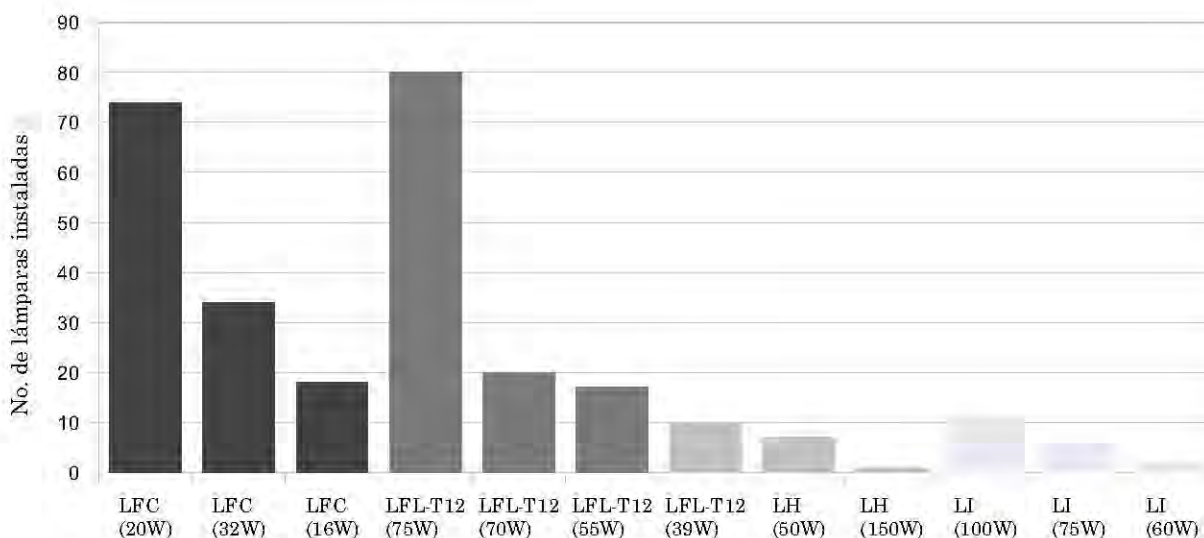


Ilustración 1.6: Lámparas instaladas por tipo y potencia nominal.

El 45% de la carga total instalada corresponde a lámparas fluorescentes compactas, el restante 55% esta compuesto por FL-T2, incandescentes y de halógeno mostrado en la Ilustración 1.7.

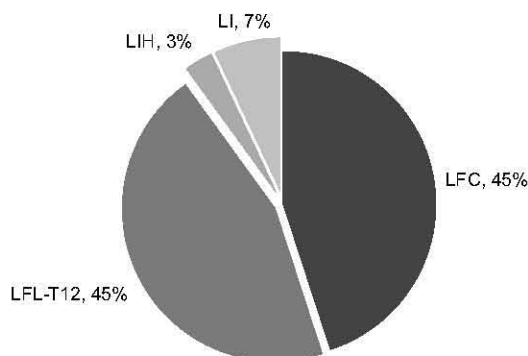


Ilustración 1.7: Carga instalada por tecnología.

Considerando ahora la contribución del consumo de energía eléctrica, son las lámparas fluorescentes lineales del tipo T12 las de mayor consumo (poco más de 15,000 kWh) como se aprecia en la Ilustración 1.8, las fluorescentes compactas consumen alrededor de (3,000 kWh). En términos porcentuales el 75% corresponde a las del tipo T12, el 6 y 1% para incandescentes y halógenos respectivamente, y finalmente 18% para LFC mostrado en la Ilustración 1.9.

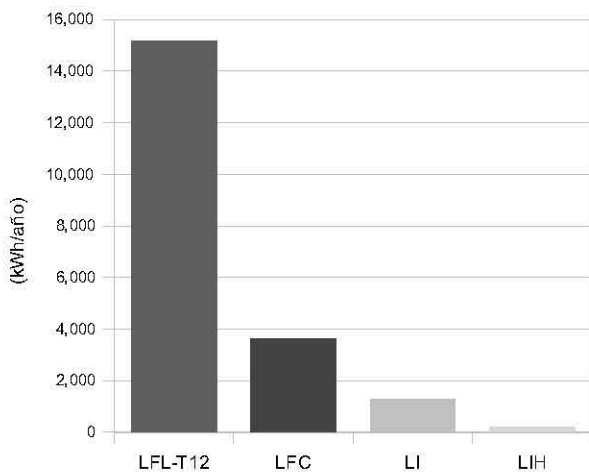


Ilustración 1.8: Consumo de energía por tipo de lámpara.

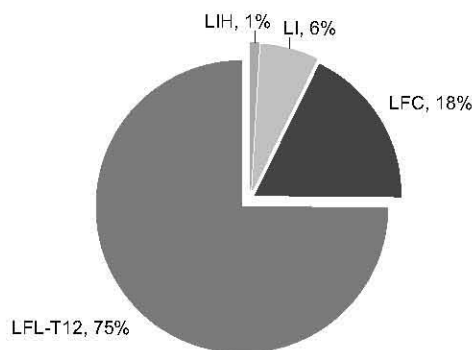


Ilustración 1.9: Consumo de energía eléctrica en porcentaje.

LFL: Lámpara Fluorescente Linea LI: Lámpara Incandescente
 LFC: Lámpara Fluorescentes Compacta
 LIH: Lámpara Inc de Halógeno

2) Equipos ofimáticos y de climatización

La participación en el consumo de energía por parte de lo equipos ofimáticos y de climatización va a depender de la saturación de equipos instalados, del tipo de tecnología y los hábitos de uso. En la Ilustración 1.10 es evidente que existen más computadoras de escritorio, debido principalmente al tipo de trabajo que se realizan en el ayuntamiento.

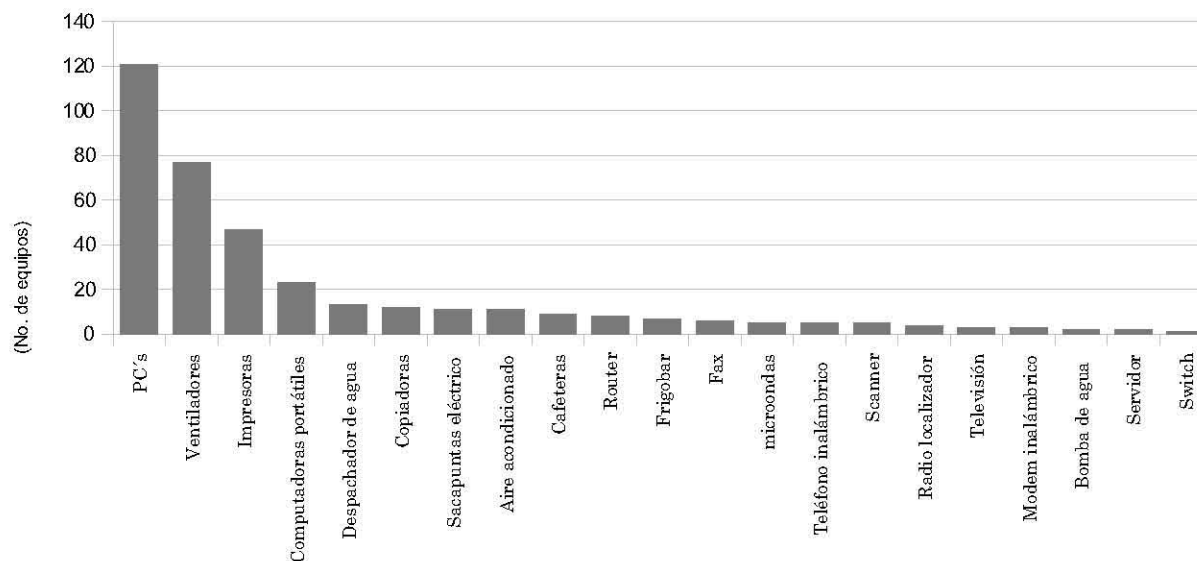


Ilustración 1.10: Equipos ofimáticos instalados.

Con el fin de identificar el consumo de energía eléctrica por cada uno de los equipos se construyó la Ilustración 1.11 en donde se muestra que la mayor consumo de energía es por equipos de cómputo, aire acondicionado y los servidores, esto tres representan poco más del 50% (ver Ilustración 1.12).

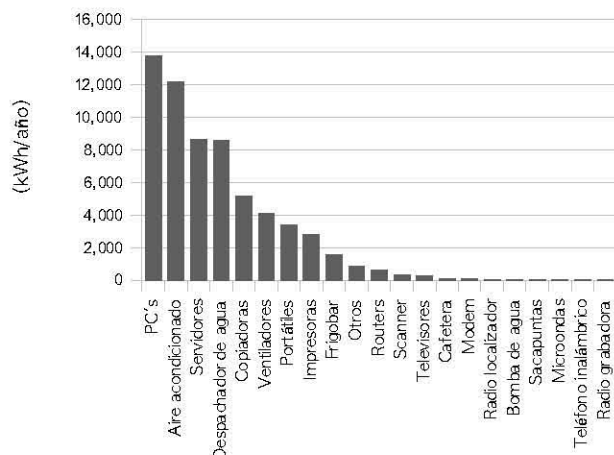


Ilustración 1.11: Consumo de energía eléctrica en equipos ofimáticos.

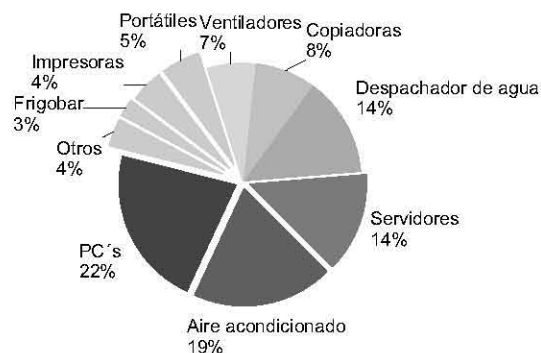


Ilustración 1.12: Porcentaje de consumo de energía en equipos ofimáticos.

1.2 Factores técnicos a considerar en la elección de equipos

Una vez identificados los equipos con mayor consumo de energía tanto en iluminación como equipos ofimáticos y climatización, es necesario realizar un ejercicio de simulación para ver en cuanto se puede disminuir el consumo de energía sustituyendo los equipos actuales por unos más eficientes. Antes de realizar la simulación es necesario hacer una correcta elección de equipos.

En muchas ocasiones la elección y compra de equipos ofimáticos por parte de dependencias de gobierno, empresas privadas, municipios, centros educativos entre otros; se da sin tomar en cuentas las especificaciones, las funcionalidades y compatibilidades con las labores a realizar y necesidades del personal que va a trabajar con los equipos.

Cuando se requiere de nuevos equipos, algunos organismos administrativos realizan compras sin tomar en cuenta si dichos equipos cumplen con los estándares de eficiencia energética, más bien toman decisiones atendiendo a sus bajos costos. Dentro de la administración municipal es necesario que existan políticas de compra de equipos eficientes, para promover el ahorro energético y tomando en cuenta que estos ahorros pueden invertirse en un programa de sustitución continua de equipos poco eficientes.

En función de lo visto podemos analizar la eficiencia en la iluminación, en los equipos ofimáticos y en los equipos de climatización. En primera instancia están las lámparas, que son los artefactos de uso final que transforman la energía eléctrica en luz. En la actualidad existen una amplia variedad de lámparas que utilizan distintas tecnologías para cumplir tal propósito.

Por otra parte se analizarán los equipos de cómputo (ofimáticos), ya que ellos son consumen gran cantidad de energía eléctrica. Por último, se analizarán los equipos destinados a la climatización

(aparatos de aire acondicionado y ventiladores) En esta sección del capítulo describiremos los diferentes tipos de tecnologías tanto de iluminación, de cómputo y de climatización con la finalidad de proponer más adelante un plan de ahorro energético específico de estos rubros.

Iluminación:

Antes de elegir una luminaria es necesario entender los conceptos relacionados con el papel de las luminarias en el trabajo: La luz es esencial para iluminar las labores que se están realizando, sin embargo una mala iluminación puede afectar su desempeño, por ello la ergonomía estudia la adaptación del hombre con la tecnología, en este caso con la iluminación artificial.

El sol y las lámpara son consideradas como fuentes de luz. Las lámparas transforman otras formas de energía en longitudes de onda de energía radiante que llamamos luz; el ojo humano es capaz de percibir sólo una parte de este espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos ultravioleta y los rayos infrarrojos (ver Ilustración 1.13), esta parte del espectro comprende una estrecha banda de longitudes de onda entre los 400 y 720 nm, [Mckelvey, 1981].

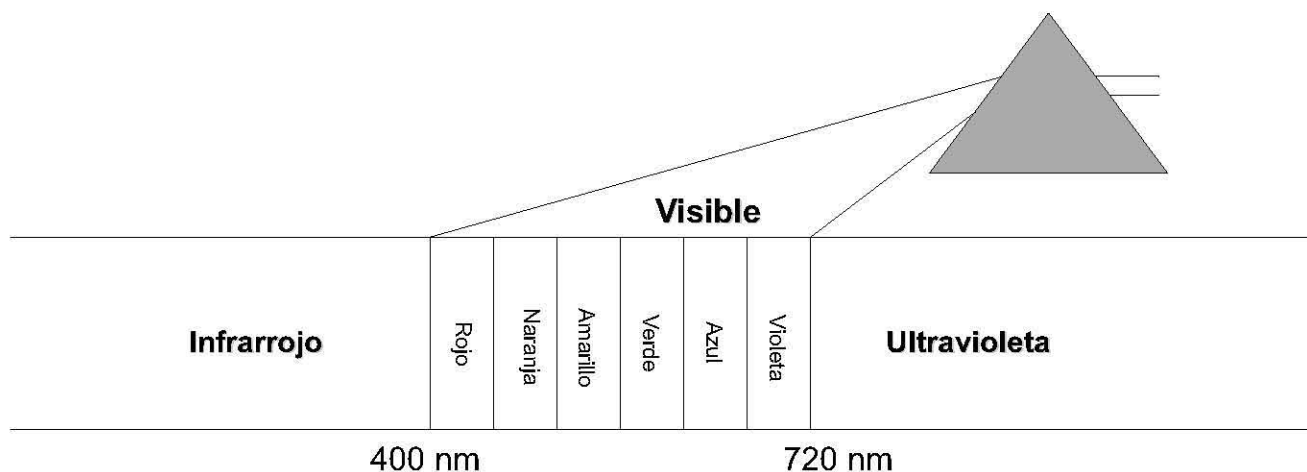


Ilustración 1.13: Radiación visible dentro del espectro electromagnético.

Entendido este concepto, un sistema de iluminación tiene por objeto:

- Favorecer al máximo las percepciones de las informaciones visuales utilizadas en el trabajo.
- Asegurar un nivel adecuado de iluminación para una correcta ejecución de las tareas
- Procurar un grado aceptable de confort visual, lo cual incluye que el color de las fuentes de luz sea el adecuado para la realización de tareas y psicología de las personas.

La tarea o trabajo a realizar, el sistema de iluminación y las características de las lámparas son factores que inciden sobre el rendimiento visual del trabajador, y por tanto, sobre su seguridad y eficacia [Llaneza, 2009].

Como parámetros relativos al ser humano podemos mencionar al ojo, que es el órgano fisiológico mediante el cual se perciben las sensaciones de luz y color, al momento de estar trabajando ponemos al ojo a realizar actividades como la fijación durante tiempos continuos, cambios de distancia, búsqueda de detalle en zonas débilmente visibles, pasar de zonas poco iluminadas a muy iluminadas. Estas exigencias deben ser consideradas para el diseño y elección de un adecuado sistema de iluminación, de no hacerlo, se pueden presentar problemas como la fatiga visual y deslumbramiento [Llaneza, 2009].

Descripción de las fuentes artificiales de iluminación:

Existen dos formas de producir iluminación artificial por medio de la energía eléctrica, una de ellas es por medio de la incandescencia y la otra por luminiscencia (ver Ilustración 1.14). Dentro de estas categorías se encuentran varios tipos de lámparas de las cuales se expondrán sus principales características para su adecuada elección.

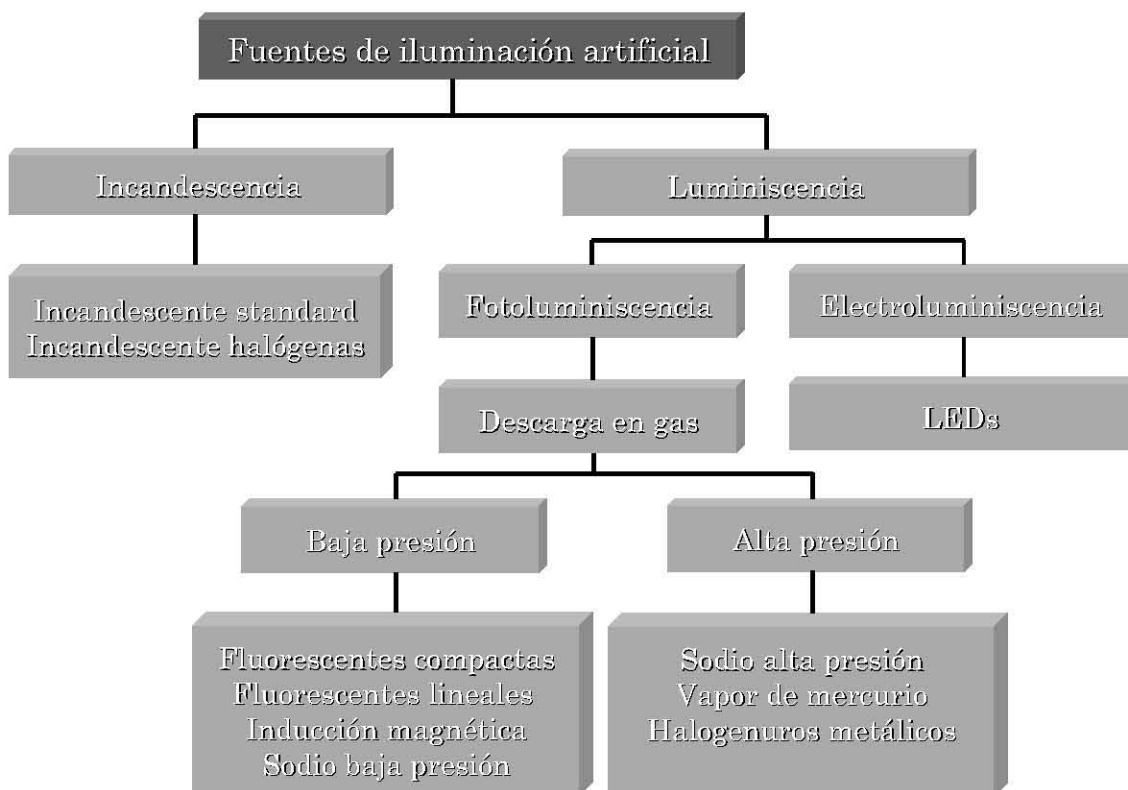


Ilustración 1.14: Clasificación de fuentes artificiales de iluminación.

Incandescencia:

Como se mostró en la sección anterior en las oficinas aún se siguen utilizando lámparas incandescentes las cuales sólo convierten del 10 al 12% de la energía eléctrica en luz visible, el resto es radiación infrarrojas que se disipan en forma de calor [Chapa, 1990]. Estas lámparas

pueden ser de argón, nitrógeno, halógeno ó de cuarzo, siendo las más comunes las de argón, donde se hacen pasar una corriente eléctrica por un hilo conductor, el cual es de tungsteno que se encuentra dentro de un bulbo con el gas inerte para evitar la evaporación del filamento [Westinghouse Electric Corporation, 1989].

Luminiscencia:

La luminiscencia es el proceso mediante el cual la materia absorbe energía y luego la emite en forma de fotones. Cuando la emisión es inmediata a la excitación el proceso se denomina fluorescencia mientras que cuando hay un retraso en este proceso se denomina fosforescencia.

Este tipo de lámparas se clasifican en baja y alta presión. Dentro de las lámparas de baja presión podemos encontrar las fluorescentes compactas, fluorescentes lineales, de inducción magnética y vapor de sodio en baja presión.

Por su gran eficiencia y larga vida, el alumbrado fluorescente tiene el potencial de ser utilizado masivamente en edificios públicos, oficinas, hogares y en la industria [Ambriz, 1989]. Las lámparas de este tipo están formadas por un tubo de vidrio, con electrodos de tungsteno en cada extremo, llevan en su interior una gota de mercurio o un gas inerte a baja presión, las capas interiores están cubiertas con una de fósforo en polvo. En una lámpara de este tipo el 90% de la luz se produce por fluorescencia y el resto por radiaciones del arco de mercurio [Carreón, 2004].

En el capítulo 3, cuando se aborde el tema del alumbrado público, se describirán a detalle las lámparas de descarga en alta presión, cuya uso final es apto para iluminar exteriores.

Electroluminiscencia:

La electroluminiscencia es la conversión directa de la energía eléctrica en luz, sin que exista un paso intermedio como sucede con las lámparas de descarga o las incandescentes. Existen dos mecanismos a través de los cuales tiene lugar la excitación en este proceso: la recombinación de portadores de carga en ciertos semiconductores y mediante la excitación de centros luminiscentes de fósforo, siendo los LEDs¹⁴ el ejemplo más conocido de fuentes de luz basados en la electroluminiscencia [Carreón, 2004].

Características generales de las fuentes luminosas:

Todas las lámparas poseen características generales que se pueden dividir en cuatro grupos y que se definirán a continuación [Carreón, 2004]:

- 1) Fotométricas
- 2) Colorimétricas
- 3) Eléctricas y
- 4) Duración

1) Característica fotométricas:

¹⁴ LED (light emitting diode) por sus siglas en ingles convierte directamente la energía eléctrica en luz sin generar calor

Para poder determinar la cantidad de luz emitida por una fuente y que llega al ojo, la sensación que esto produce y la cantidad de energía que una lámpara convierte en luz es necesario conceptualizar las siguientes características: el flujo luminoso, la intensidad y la eficacia.

a) Flujo luminoso

El flujo luminoso es la medida de la potencia luminosa percibida, medida en lúmenes.

$$lm = cd * sr \tag{1.3}$$

donde

lm= Lumen

cd= Candela

sr= Estereoradián

Se obtiene ponderando la potencia para cada longitud de onda con la función de luminosidad.

b) Intensidad luminosa

La intensidad luminosa no es más que el flujo luminoso emitido por una unidad de ángulo sólido en una dirección concreta, su unidad es la candela (*cd*)

c) Eficacia:

La eficacia se define como la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente y la potencia total consumida de la lámpara expresado en (*lm/W*)

2) Características cromáticas:

Las calidades cromáticas se caracterizan por dos aspectos diferentes:

-Por su apariencia de color la cual está dada por la temperatura de color.

-Por su capacidad de rendimiento de color, que afecta los aspectos cromáticos de los objetos iluminados por la lámpara.

a) Temperatura del color:

La temperatura del color¹⁵ es un concepto usado para determinar el color de una fuente luminosa comparándola con el de un cuerpo negro, la relación se establece a partir de que como cualquier cuerpo incandescente, un cuerpo negro cambia de color al aumentar su temperatura, empezando primero como rojo oscuro, pasando después por rojo claro, naranja, amarillo, blanco, blanco azulado y finalmente azul (ver Tabla 1.1).

15 La temperatura de color no es una medida de temperatura real, ya que define solamente el color y puede ser aplicada únicamente a fuentes que se parezcan mucho al cuerpo negro.

Tabla 1.1: Aspecto cromático de fuentes de luz (fuente: manual de instalaciones de alumbrado y fotometría)

Temperatura de color correlacionada (°K)	Aspecto cromático
> 5 000	Frío (blanco azulado)
3 300 – 5 000	Intermedio (blanco)
< 3 300	Cálido (blanco rojizo)

La luz de una lámpara de filamento de tungsteno de 100 W se acerca al color blanco, por lo que el cuerpo negro debe ser calentado a los 2,875 °K [Westinghouse electric corporation, 1989].

b) Rendimiento del color (R_c):

Se considera el rendimiento de color como el efecto de la lámpara sobre la apariencia de color de los objetos que ilumina cuando ésta se compara, consciente o inconscientemente, con la que produce una fuente de iluminación patrón.

Se recomienda usar lámparas con un rendimiento de color R_c de 85 y con una temperatura de color entre los 3,300 y 5,500 °K lo que nos da un aspecto cromático frío (blanco azulado). Estas características son ideales para oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias finas [Chapa, 1990].

3)Eléctricas:

Las características eléctricas van a depender de la cantidad de iluminación que se requiera en base a la potencia de cada una de las lámparas.

4)Duración:

La duración de las lámparas va depender en gran medida de los ciclos de encendido y apagado a los que se someta, es importante identificar las horas de vida promedio de las lámparas.

Equipos ofimáticos y de climatización.

Entre los factores que deben ser considerados para la buena elección de un equipo de cómputo están los siguientes: la compatibilidad, el rendimiento de los programas, la pérdida de información y el cumplimiento con normas de eficiencia energética.

En el caso de impresoras, fotocopiadoras, scanners, multifuncionales es importante tomar en cuenta: la calidad, la velocidad, los costos de impresión y del toner son algunos de los aspectos a tomar en cuenta y los cuales deben ajustarse a las necesidades en las oficinas.

Aire acondicionado.

La función principal del aire acondicionado es procurar las condiciones de confort térmico a las personas que ocupan una oficina, nave industrial, o cualquier tipo de edificación. Factores como la temperatura, humedad, movimiento y pureza del aire influyen en la comodidad de las personas y es importante que el edificio provea de las condiciones confortables a sus ocupantes.

Es importante tomar en cuenta el control de los equipos de aire acondicionado para evitar un

consumo de energía excesivo, para evitarlo hay que tomar en cuenta los límites de temperatura efectiva para un adecuado confort térmico a saber [Gomez, 2006]:

- En invierno 21 a 23 °C
- En verano 23 a 26 °C

La forma de identificar equipos eficientes es mediante una etiqueta de eficiencia energética, la cual da la seguridad al consumidor de estar adquiriendo equipos que cumplen con los más altos estándares en materia de ahorro de energía, los equipos pueden identificarse en México con las etiquetas Sello Fide, Energy Star.

En México la norma NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000, y la NOM-021-ENER/SCFI-2008 establecen los valores de Relación de Eficiencia Energética (REE) para acondicionadores de aire tipo cuarto y la NOM-011-ENER-2006 establece el nivel mínimo de Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE) que deben cumplir los acondicionadores de aire tipo central, tipo paquete o tipo dividido.

1.3 Parámetros económicos

Tomando en cuenta los parámetros técnicos para la elección de equipos es importante realizar un análisis económico de comparación entre equipos eficientes y actuales, esto con el fin de determinar si es o no conveniente la sustitución de los equipos actuales, tanto en iluminación como equipos ofimáticos y climatización.

Para ello en esta sección del capítulo se definen conceptos y parámetros económicos tales como valor del dinero en el tiempo, parámetros relacionados con el valor presente neto (VPN), el valor anual equivalente (VAE), el periodo de recuperación (PR), la tasa interna de retorno (TIR), y el costo de la energía ahorrada (CEA).

Valor del dinero en el tiempo:

Los métodos de evaluación económica se basan en el valor del dinero en el tiempo, este se define como un costo por desaprovechar la oportunidad de ganar interés¹⁶ o utilidad en una inversión, que debe ser reflejado en el valor del dinero en el tiempo [Thuesen et al, 1986].

La relación entre el valor actual o presente de una suma de dinero y el valor futuro está determinado por ese costo de oportunidad, expresado en una tasa de interés, en donde la relación de un valor futuro de una suma de dinero se relaciona con un valor presente por:

$$F = P(1+i)^n \quad (1.4)$$

Visto de otra forma, el valor presente será:

$$P = F(1+i)^{-n} \quad (1.5)$$

Donde:

¹⁶ Interés: Representa el poder de ganancia del dinero.

$F =$ cantidad futura

$P =$ cantidad presente

$i =$ costo de capital o tasa de retorno mínima atractiva

$n =$ número de periodos

Valor presente neto:

El método de valor presente neto (VPN) es un índice de comparación entre alternativas de inversión que refleja las diferencias entre alternativas teniendo en cuenta el efecto del tiempo sobre el valor de la moneda. El VPN es una medida del valor actual de los ingresos o gastos que se contraerán en el futuro [Short et al, 1995] y esta dado por:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^n} \quad (1.6)$$

Donde:

$VPN =$ valor presente neto

$F_t =$ flujo futuro en el periodot.

$i =$ costo de capital o tasa de retorno mínima atractiva

$n =$ número de periodos

Al momento de la evaluación de tecnologías, el criterio para seleccionar alternativas mutuamente excluyentes es elegir la que maximice el VPN o simplemente la que rinda el mayor valor positivo de VPN [Riggs et al, 2002].

El VPN posee las siguientes características que lo hacen el adecuado para efectos de comparación:

- Toma en cuenta el efecto del tiempo sobre el valor de la moneda de acuerdo con el valor de la tasa de descuento i que se haya seleccionado para el cálculo.
- Tesume el valor equivalente de cualquier flujo en un índice único, en un punto particular en la escala de tiempo.
- el valor de la cantidad presente es siempre único, independientemente del cual pueda ser el patrón del flujo de caja de la inversión, en otras palabras, cualquier secuencia de ingresos y egresos generarán un valor presente único para un valor de la tasa de descuento i .

Valor Anual Equivalente:

El valor anual equivalente (VAE) se convierte en una base de comparación con características similares a las del VPN,. El VAE convierte un flujo de efectivo en una serie de pagos anuales iguales, calculando primero el valor presente de la serie original y multiplicando este valor por el factor de interés $(A/P, i, n)$, el objetivo es identificar la alternativa con el menor valor anual equivalente.

$$VAE = P(i)(A/P, i, n) \quad (1.7)$$

ó

$$VAE = \left[\sum_{t=1}^n F_t (1+i)^{-t} \right] \left[i \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (1.8)$$

Donde:

VAE = valor anual equivalente

F_t = Flujo futuro

i = costo de capital o tasa de retorno mínima atractiva

Se debe tomar en cuenta a la hora de calcular el VPN o el VAE, utilizar las tasas reales de descuento si los flujos de efectivos son en dólares constantes y utilizar las tasas nominales si el flujo de efectivo esta en dólares corrientes [Short et al, 1995]

Periodo de Recuperación:

Otro de los indicadores a utilizar es el periodo de recuperación (PR), el cual se define como la longitud de tiempo requerida para recuperar el costo inicial de una inversión a partir de los flujos netos de caja producidos por ella para una tasa de interés igual a cero, la representación matemática se muestra en la ecuación 1.9.

$$P = \sum_{t=1}^n F_t \quad (1.9)$$

donde:

P = costo inicial de una inversión

F_t = es el flujo neto de caja en el periodo t

Este método es muy sencillo de obtener, puesto que si conocemos la inversión y las utilidades promedio anuales podemos calcular el PR de la inversión aplicando la siguiente fórmula.

$$PR = \frac{\text{inversión total}}{\text{beneficio promedio anual}} \quad (1.10)$$

Tasa Interna de Retorno:

La tasa interna de retorno (TIR) es otro método de comparación de flujo de efectivo, la cual consiste en determinar la tasa de descuento a la cual el valor presente neto de los flujos de efectivo se hace cero. El cálculo de una TIR muestra si una alternativa satisface el valor de la tasa de rendimiento mínima atractiva (TREMA).

La TIR puede calcularse al igualar el valor anual, presente o futuro del flujo de efectivo a cero y resolver la tasa de interés TIR que permita la igualdad.

Costo de la Energía Ahorrada:

El costo de la energía ahorrada (CEA) es un método de comparación que consiste en transformar a anualidades equivalentes los costos de inversión de la tecnología eficiente y de la convencional,

la diferencia entre las anualidades equivalentes obtenidas, es el costo anual adicional que tiene el sistema eficiente por concepto de la inversión, este costo se divide entre la diferencia de consumos anuales en la factura energética, lo cual da como resultado el costo incurrido por ahorrar cada unidad de energía (\$/kWh). El criterio de decisión es implantar el sistema eficiente si el costo de la energía ahorrada es menor que el costo de compra de la misma.

$$CEA = [(VP(I)_f - VP(I)_c) * (A/P, i, n) + (AE(O)_f - AE(O)_c)] / (CE_c - CE_f) \quad (1.11)$$

Donde:

$VP(I)$ = valor presente de la inversión inicial

$AE(O)$ = anualidad equivalente de operación y mantenimiento

CE = cargo por consumo de energía

subíndice f = eficiente

subíndice c = convencional

Relación Beneficio/Costo:

Debido al especular crecimiento en el tamaño de los gobiernos y a la ausencia de presiones competitivas para hacer uso más eficiente de los recursos, hay una creciente necesidad por entender claramente la deseabilidad económica del uso de estos recursos. El problema es asignar los recursos de manera tal que se alcance el beneficio máximo social. Una forma de medir cuantitativamente la deseabilidad de ciertos programas y proyectos es el método de análisis beneficio-costo [Thuesen et al, 1986].

Este método ayuda a decidir sobre la justificación de un proyecto, esta relación puede expresarse como:

$$CB(i) = \frac{\text{(beneficios para el público)}}{\text{(costo para el gobierno)}} \quad (1.12)$$

Para el cálculo de esta relación tanto los ingresos como los egresos llevan el mismo signo, dividiendo el VPN de los beneficios entre el VPN de los costos o egresos del proyecto.

$$B/C = \frac{\text{(VPN Beneficios)}}{\text{(VPN Costos)}} \quad (1.13)$$

El criterio de decisión es aceptar un proyecto cuando $B/C > 1$, cuando la relación $B/C = 1$ la TIR es igual a la TREMA [Thuesen et al, 1986].

1.4 Análisis técnico-económico de sustitución de equipos y reducción de emisiones de CO₂

En esta sección del capítulo se realiza un análisis técnico-económico concerniente a la comparación entre equipos (actuales y otros considerados más eficientes) con base a lo expuesto

anteriormente. En primer lugar se hace la evaluación de los equipos de iluminación, y en segundo lugar se evalúan los equipos ofimáticos y de climatización.

Análisis técnico-económico en iluminación.

Como se mencionó en la sección , en la distribución del consumo por concepto de iluminación en oficinas, el 75% corresponde a lámparas fluorescentes lineales T-12, incandescentes 6% y halógenas 1%, el restante 18% corresponde a fluorescentes compactas. De esta distribución la Tabla 1.2 muestra la sustitución y propuesta por cada tipo de lámpara.

Tabla 1.2: Tecnologías a sustituir en el Palacio Municipal

<i>Convencional</i>	<i>por</i>	<i>Eficiente</i>
Lámpara fluorescente lineal (LFL-T12)	⇒	Lámpara fluorescente lineal (LFL-T8)
Lámpara incandescente	⇒	Lámpara fluorescente compacta
Lámpara incandescente de halógeno	⇒	LED

La sustitución de las lámparas actuales por lámparas más eficientes obedece a los lineamiento de eficiencia energética para la administración pública federal, donde se establece la utilización de equipos eficientes como lámparas fluorescentes compactas, fluorescentes lineales T8 con balastro electrónico y luminarias normalizadas.

Ademas de un estudio realizado en la universidad de Melbourne ha demostrado que la viabilidad económica de sustitución de lámparas va a depender del tipo de lámpara para cada tipo de área a la cual va a ser instalada [Di Stefano, 2000]

Otro estudio realizado en Tailandia en oficinas demostró la obtención de ahorros en el consumo de energía del 69% mediante la sustitución de lamparas T-8 [Bush, 1993].

En relación a los parámetros de elección de equipos la Tabla 1.3 muestra las características de cada una de las lámparas a sustituir.

Tabla 1.3: Especificaciones técnicas de lámparas eficientes

<i>Especificaciones</i>	<i>LFL T8</i>	<i>LFC</i>	<i>LED</i>
Potencias (W)	17, 32, 49	13 – 56	1.4
Temperatura de color °K	Entre 3,000 y 4,000	Entre 2,700 a 4100	5500
IR _c	82	82	80
Eficacia (lm/W)	79-103	60-80	85
Vida nominal promedio (h)	24000	8000	30000

Las lámparas fluorescentes lineales deben contar con balastos electrónicos que cumplan con los requerimientos que estable la norma NOM-058-SCFI-1999 [DOF, 1999].

La rentabilidad del reemplazo está en función de varios parámetros. Por un lado, están los costos directos que están relacionados con la inversión y el costo por concepto de energía consumida (tarifa de energía eléctrica) por otro lado los costos indirectos con la operación y mantenimiento; y la TREMA (ver Tabla 1.4).

Para la realización del análisis técnico-económico en la iluminación del Palacio Municipal se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- La propuesta de sustitución de equipos se hizo tomando en cuenta los parámetros técnicos, ergonómicos y normativos expuestos anteriormente.
- El periodo de estudio para el caso de las lámparas fluorescentes lineales es de 10 años, esto por la vida promedio útil del balastro electrónico.
- El periodo de estudio para las lámparas fluorescentes compactas por incandescentes es de 5 años, los cuales corresponde al tiempo de vida útil de la lámpara respecto a las horas de uso.
- El periodo de estudio para las lámparas LED's por incandescentes de halógeno es de 10 años correspondiente a la vida útil de las lámparas LEDs.
- Dentro del periodo de estudio la política de reemplazo se refiere a la sustitución de lámparas al término de su vida útil, la cual varía dependiendo del tipo de lámpara.
- Se considera que los costos de inversión, instalación, mantenimiento de reemplazo y los costos de la energía eléctrica se mantienen constantes a lo largo del periodo de estudio es decir, que aumentarán al mismo ritmo que la inflación.
- El análisis económico se realizará en moneda constante, tomando como periodo base el año 2007, por ser este un año donde la economía se mantuvo estable y en dólares americanos por ser una moneda estable.
- Para el sector gubernamental no es necesario incluir impuestos sobre la renta por que este sector no los paga [Short et al, 1995]

Tabla 1.4: Parámetros para cálculos económicos

Tasa de rendimiento mínima atractiva (TREMA)	10%
Tipo de cambio técnico	\$12.92 USD <i>fuentes: COPAR 2009</i>
Periodo base de estudio	Año 2007
Precio medio de la energía eléctrica tarifa 02	0.17 USD-07

Se optó por realizar el estudio considerando el tipo de lámpara instalada en cada una de las áreas

de trabajo, esto con el fin de cumplir con las normas de eficiencia energética vigentes. Para ello fue necesario determinar cuatro áreas importantes:

1. Auditorio
2. Almacenes
3. Archivos
4. Oficinas

La herramienta de cálculo fue diseñada en Excel y evalúa cada parámetro con el fin de determinar la conveniencia de la tecnología en base a los criterios de elección (ver anexo 3).

La Tabla 1.5, 1.6, 1.7 muestra los resultados obtenidos de la evaluación económica. Estos se presentan por área de trabajo, tomando en consideración los parámetros ergonómicos de iluminación. En la tabla 1.5 se muestran los resultados para iluminación en el Auditorio, Almacén, y Archivos. En la tabla 1.6 y 1.7 se presentan los resultados de iluminación en oficinas.

Con una inversión total de \$2,055.03 dólares del 2007¹⁷, las lámparas eficientes ofrecen grandes ventajas económicas a lo largo del uso de las mismas. Muestra de ellos se puede observar que en todas las áreas el VPN y el VAE es menor para las tecnologías eficientes, con periodos de recuperación menores a un año, (con excepción de las lámparas en el auditorio) y esto se debe básicamente a que el ahorro en el gasto directo por consumo de energía anual es poco para amortizar la inversión.

Los ahorros por concepto de energía están por encima del 60%, llegando a ser superiores al 80% y esto es un resultado aceptable que mejora la eficiencia energética. Por otro lado, los costos de energía ahorrada son menores al costo que se tendría que pagar a la CFE para la tarifa 2 y que es de 0.17 USD/kWh (precio medio moneda constante 2007).

Por último, la TIR como indicador de rentabilidad supera a la TREMA de 10%, llegando a valores superiores al 150%, lo que indica la rapidez de la recuperación de la inversión.

Dados los resultados obtenidos y a la rentabilidad de los equipos, queda en manos de las personas que toman decisiones el implementarlas.

17 En la presente tesis cada que se presente una cifra en dólares se tendrá por entendido que son dólares constantes del 2007.

Tabla 1.5: Indicadores económicos en iluminación de oficinas del Palacio Municipal

Indicadores	Auditorio		Almacén		Archivo	
	Actual T12	Eficiente T8	Actual T12	Eficiente T8	Actual T12	Eficiente T8
Potencia (W)	75	17	70	17	55	17
Lámparas a reemplazar	10		4		17	
Inversión (USD-07)	-101.14		-59.80		-231.10	
VPN (USD-07)	-496.10	-391.74	-1013.00	-463.10	2848.08	-1128.80
VAE (USD-07)	-80.74	-63.75	-165.01	-75.37	-463.51	-183.71
PR (AÑOS)	5.5		0.64		0.79	
Ahorro de energía (%)	81.00		79.60		74.04	
Costo de energía ahorrada (c/USD-2007)	0.01		0.006		0.005	
TIR (%)	28.60		158.22		128.82	
B/C	1.1		9.5		7.7	

Tabla 1.6: Indicadores económicos en iluminación de oficinas del Palacio Municipal

Indicadores	Oficinas							
	Actual T12	Eficiente T8	Actual T12	Eficiente T8	Actual T12	Eficiente T8	Actual Incandescente	Eficiente FC
Potencia (W)	75	17	70	17	39	17	100	14
Lámparas a reemplazar	70		16		10		11	
Inversión (USD-07)	-933.68		-213.41		-133.38		-100.58	
VPN (USD-07)	-10,106.00	0.00	-2,909.80	-999.60	-1,432.00	-784.70	-675.90	-319.00
VAE (USD-07)	-1,644.70	-944.30	-473.50	-162.70	-233.00	-121.70	-178.30	-84.10
PR (AÑOS)	0.77		0.65		1.1		0.98	
Ahorro de energía (%)	81.0		79.6		63.4		86	
Costo de energía ahorrada (c/USD-2007)	0.009		0.008		0.012		0.017	
TIR (%)	133.2		155.2		89.4		116.2	
B/C	8.0		9.4		5.2		4.5	

Tabla 1.7: Indicadores económicos del área de iluminación en el Palacio Municipal

Indicadores	Oficinas					
	Actual Incandescente	Eficiente FC	Actual Incandescente	Eficiente FC	Actual Incandescente	Eficiente FC
Potencia (W)	75	14	60	14	50	1.4
Lámparas a reemplazar	6	0	2		7	
Inversión (USD-07)	-54.84		-182.55		-44.54	
VPN (USD-07)	-512.88	-269.74	-241.61	-182.55	-428.40	-283.00
VAE (USD-07)	-135.30	-71.16	-63.74	-48.16	-69.70	-46.00
PR (AÑOS)	0.8		0.83		1.7	
Ahorro de energía (%)	81.3		81.6		97.2	
Costo de energía ahorrada (c/USD-2007)	0.012		0.009		0.014	
TIR (%)	140.5		140.4		67.9	
C/B	5.4		5.4		3.6	

Análisis técnico-económico de equipos ofimáticos y climatización.

La elección de equipos ofimáticos se dio en función al consumo de energía. De la información presentada en la sección 1.5 el 22% corresponde a equipos de cómputo, el 19% al aire acondicionado, 14% al despachador de agua, 8% a las copadoras y 4% impresoras.

Tomando en cuenta el comportamiento en el consumo de energía, se eligieron los equipos ofimáticos considerando estándares de calidad

Para ayudar a los gobiernos en la elección de equipos ofimáticos, el PEPS de ICLEI-Gobiernos locales por la sustentabilidad ha creado un manual de compras energéticamente eficientes [ICLEI-Gobiernos locales por la sustentabilidad, 2007], ese manual ha sido revisado conjuntamente por la CONUEE, la agencia de desarrollo internacional de los Estados Unidos y el laboratorio Nacional Lawrence Berkeley. Este manual contiene recomendaciones para la compra de computadoras, monitores, impresoras, copadoras, entre otros aparatos.

Una de las recomendaciones es la compra de equipos ofimáticos que cuenten con sello Energy Star de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por su siglas en inglés), la cual pública continuamente un listado de equipos recomendados.

En base a las recomendaciones se eligieron equipos de cómputo, impresoras y copadoras con la menor potencia en los tres niveles de consumo: 1) en modo encendido, 2) en modo reposo y 3) en modo apagado o potencia en espera [Webber et al, 2005].

Para la realización del análisis técnico-económico en la iluminación del Palacio Municipal se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- La propuesta de sustitución de equipos se hizo tomando en cuenta los parámetros técnicos, expuestos anteriormente.
- El periodo de estudio para el caso de las computadoras de escritorio se estableció en 5 años, para las impresoras de 6 años y para las copiadoras de 7 años.
- Se considera un valor de salvamento de cero.
- Dentro del periodo de estudio no se presenta la sustitución de equipos.
- Se considera que los costos de inversión, instalación, mantenimiento de reemplazo y los costos de la energía eléctrica se mantienen constantes a lo largo del periodo de estudio es decir, que aumentarán al mismo ritmo que la inflación.
- El análisis económico se realizara en moneda constante, tomando como periodo base el año 2007, por ser este un año donde la economía se mantuvo estable y en dólares americanos por ser una moneda estable.
- Se utilizan los mismo parámetros expuestos en la Tabla 1.4.

Los resultados del análisis económico de cada uno de los equipos mencionados se muestran en la Tabla 1.8. Los altos costos directos en inversión para estas tecnologías ascienden a poco mas de \$122,942 dólares.

De los resultados se puede observar que para la evaluación de las copiadoras, impresoras láser e impresora multifuncional, los indicadores económicos satisfacen los criterios de selección para las tecnologías eficientes. De esto resultados solo las computadoras y las impresoras a inyección de tinta cumple con el criterio de selección para un VPN y un VAE menor a las tecnologías actuales.

Tabla 1.8: Indicadores económicos para equipos ofimáticos

<i>Indicadores</i>	<i>Computadora</i>		<i>Copiadora</i>		<i>Impresora láser</i>	
	<i>Actual</i>	<i>Eficiente</i>	<i>Actual</i>	<i>Eficiente</i>	<i>Actual</i>	<i>Eficiente</i>
Equipos a reemplazar		121		30		27
Inversión		-95,599.79		-1,495.43		-2,086.26
VPN (USD-07)	-106,918.70	-106,492.34	-22,243.12	-23,575.19	-2,048.07	-3,557.79
VAE (USD-07)	-28,204.90	-28,092.40	-4,568.86	-4,842.47	-470.25	-816.89
PR (AÑOS)		3.6		7.6		15
Ahorro de energía (%)		70.3		53.2		30.8
Costo de energía ahorrada (c/USD-2007)		0.17		0.27		0.63
TIR (%)		11.52		-2.14		-22.14
B/C		1.04		0.6		0.2

Tabla 1.9: Indicadores económicos para equipos ofimáticos

<i>Indicadores</i>	<i>Impresora inyección</i>		<i>Impresora multifuncional</i>	
	<i>Actual</i>	<i>Eficiente</i>	<i>Actual</i>	<i>Eficiente</i>
Equipos a reemplazar	2		4	
Inversión	-118.29		-399.81	
VPN (USD-07)	-338.98	-300.41	-282.61	-411.69
VAE (USD-07)	-77.83	-63.98	-64.89	-94.53
PR (AÑOS)	3		6.4	
Ahorro de energía (%)	97.46		88.64	
Costo de energía ahorrada (c/USD-2007)	0.13		0.24	
TIR (%)	20.57		-1.95	
C/B	1.3		0.7	

Los ahorros energéticos ascienden a poco más del 50%, para las computadora e impresoras multifuncional la TIR del 11 y 20% respectivamente es superior a la TREMA, y con una relación B/C superior a uno, hace viable la sustitución de estas dos tecnologías.

Análisis técnico-económico en aire acondicionado ventiladores y despachadores de agua.

De acuerdo a lo establecido en los lineamientos para la administración pública federal en su capítulo III referente al uso de aires acondicionados en instalaciones y dependencias, se estableció la sustitución de equipos de aire acondicionado para adecuarlas a las normas NOM-011-ENER-2006 y NOM-021-ENER/SCFI-2008.

Para reducir el consumo de energía en climatización se propuso la sustitución de aire acondicionado, tipo minisplit cuya eficiencia energética se especifica en su valor de la Relación de Eficiencia Energética (REE), que para el caso de potencias menores a 3500 W el REE tiene que ser igual o mayor a 9.3 BTU/Wh [Proyecto de NOM-023-ENER-2008]. En cuanto a los ventiladores se puede tomar criterio de sustitución la potencia requerida. En la Tabla 1.10 y Tabla 1.11 se presentan las características técnicas (eléctricas) de dichos dispositivos.

Tabla 1.10: Especificaciones técnicas para aire acondicionado

<i>Especificaciones</i>	<i>Mod. ASW 18B3/EVR (sello FIDE)</i>
Capacidad de enfriamiento (BTU)	13000
Potencia (W)	980
Amperaje	8.7
REE	13.5
Circulación de aire (m ³ /h)	620

Tabla 1.11: Especificaciones técnicas para ventiladores

Especificaciones	Ventilador mca. Birtman
Voltaje y frecuencia	120 V 60 Hz
Potencia (W)	40

La Tabla 1.12 muestran los resultados obtenidos de la evaluación económica de los aires acondicionados, los ventiladores y los despachadores de agua. En todos los casos podemos observar que el VPN y la AE es menor en las tecnologías eficientes, con periodos de recuperación que van de año y medio a tres años.

Los ahorros de energía para los equipos de aire acondicionado son cercanos al 40% y para el caso de ventiladores y despachadores de agua son superiores al 60%, el costo de energía ahorrada para el aire acondicionado y ventiladores es menor al costo de energía que se paga a la CFE, en el caso de los despachadores de agua este costo es superior pero la TIR para los tres casos es superior a la TREMA.

Tabla 1.12: Indicadores económicos para equipos de aire acondicionado y despachadores de agua

Indicadores	Aire acondicionado		Ventiladores		Despachador de agua	
	Actual	Eficiente	Actual	Eficiente	Actual	Eficiente
VPN (USD-07)	-17,278.00	-13,543.04	-2,878.85	-2,575.17	-11,507.46	-6,503.45
AE (USD-07)	-3,000.16	-2,351.62	-759.43	-679.32	-1,873.79	-1,058.41
PR (AÑOS)		1.7		3.1		1.3
Ahorro de energía (%)		39.61		66.05		69.14
Costo de energía ahorrada (c/USD-2007)		\$0.10		\$0.14		\$0.04
TIR (%)		58.03		17.67		77.29
B/C		3.6		1.2		4.8

Existen equipos que por su alto costo de inversión no se pudiera recuperar en un corto plazo, sin embargo el ahorro de energía eléctrica es significativo, por lo que para un edificio de oficina como es el caso del ayuntamiento de Temixco donde el producto final es un servicio no lucrativo, la sustitución resulta ser rentable al verse reflejada en los ahorros en facturación eléctrica.

De la implementación de las medidas de eficiencia energética analizadas en este capítulo el municipio de Temixco estaría generando ahorros anuales en el consumo de energía eléctrica del orden del 65 % en iluminación y 32 % en equipos ofimáticos (ver Ilustración 1.15).

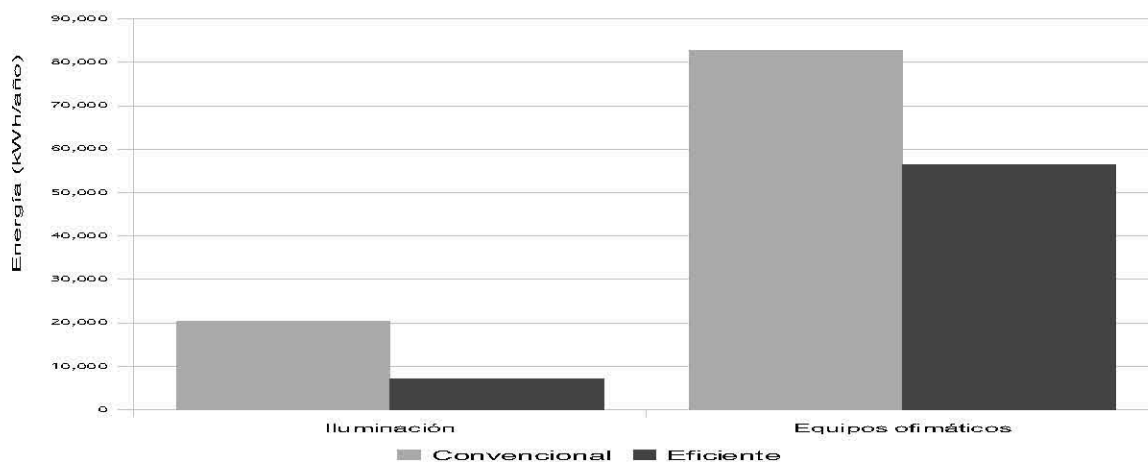


Ilustración 1.15: Comparación del consumo de energía eléctrica entre equipos convencionales y eficientes

Por ultimo los resultados que puedan obtenerse por la aplicación de medidas para el ahorro de energía en iluminación y en equipos ofimáticos va a depender del grado de sustitución de equipos eficientes, para alcanzar los porcentajes antes mencionado se propone la sustitución de la de mayor grado de impacto a la de menor grado, eso se puede ver ilustrado en las Ilustración 1.16 y 1.17.

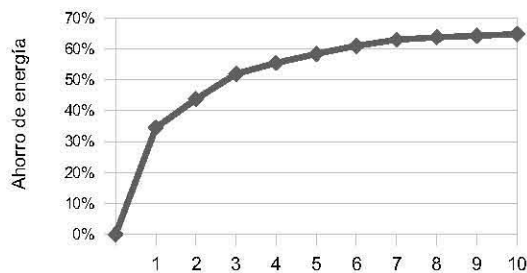


Ilustración 1.16: Porcentaje de ahorro en energía eléctrica en base al grado de sustitución de lámparas eficientes

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Oficinas: T-12 de (75W) por T-8 | 6. Almacén: T-12 de (70W) por T-8 |
| 2. Oficinas: T-12 de (70W) por T-8 | 7. Oficinas: INC de (75W) por LFC |
| 3. Archivos: T-12 de (55W) por T-8 | 8. Oficina: halógeno de (50W) por LED |
| 4. Oficinas: T-12 de (39W) por T-8 | 9. Auditorio: T-12 de (75W) por LFC |
| 5. Oficinas: INC (100W) por LFC | 10. Oficina: INC de (60W) por LFC |

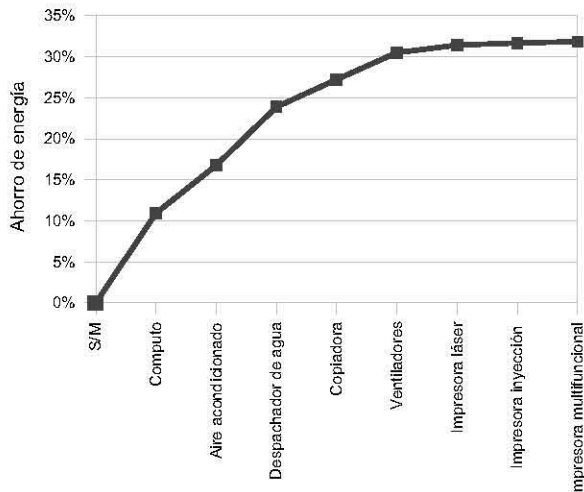


Ilustración 1.17: Porcentaje de ahorro en energía eléctrica en base al grado de sustitución de equipos de oficina

Por otra parte, los porcentajes de ahorro de energía antes mencionados aportan beneficios ambientales al reducir en la misma cantidad emisiones de CO₂, que contribuyen a la mitigación del cambio climático.

CAPÍTULO 2. Eficiencia energética en el sistema de alumbrado público del municipio de Temixco.

2.1 Introducción

El alumbrado público representa una fuente de consumo de energía eléctrica elevada para los municipios, esto debido a que se trata de un sistema con largos tiempos de funcionamiento. Es por ello que cualquier forma de gestión del mismo conlleva a importantes niveles de ahorro de energía eléctrica, lo que supone importantes beneficios económicos y ambientales. En esta sintonía alcaldes de varias ciudades han tomado acuerdos para reducir las emisiones de CO₂ y los basuras, así como la dependencia energética exterior, aumentar la eficiencia energética y la movilidad urbana sostenible [Radulovic et al, 2010]

A partir de esto se plantea la necesidad de un análisis energético en el sistema de alumbrado público del municipio de Temixco, con el objeto de optimizar el consumo de energía eléctrica en iluminación orientado a la reducción en la facturación sin detrimento de la calidad de aquella, cumpliendo con la normatividad vigente y limitando el resplandor luminoso [IDAE, 2008].

En el presente capítulo se realiza un análisis al sistema de alumbrado público del municipio de Temixco para detectar áreas de mejora y proponer medidas de optimización, de esta manera el municipio podrá tener información sobre la situación actual y medidas orientadas a mejorar la eficiencia en el sistema.

Como parte fundamental en la participación de los municipios a nivel nacional en materia de ahorro de energía, la CONUEE presenta una metodología para alumbrado público, en ella se hace la petición a los municipios para entregar la siguiente información: datos de contacto, datos de facturación eléctrica, y datos económicos [CONUEE, 2005]. Para el caso de estudio del municipio de Temixco sólo se tomó en cuenta el censo de alumbrado público, la facturación y datos generales.

Para analizar el sistema de alumbrado público fue necesario la recopilación de información relativas al número de lámparas instaladas, potencia instalada y la facturación de energía eléctrica, esto a través dos fuentes: el beneplácito del H. Ayuntamiento y mediante el sistema INFOMEX.

El H. Ayuntamiento proporcionó información que corresponde al censo de lámparas el cual fue realizado en el año 2007. De este levantamiento se obtuvieron las características técnicas y el número de lámparas instaladas correspondientes a cada una de las 54 colonias del municipio de Temixco.

El consumo de energía eléctrica y los egresos por dicho concepto, se obtuvieron de dos fuentes, la primera de ellas fue ir directamente a los archivos municipales en busca de los recibos de energía eléctrica, esta labor se realizó en un periodo de dos meses, en los cuales se revisó carpeta por carpeta para obtener las facturas y la segunda fue complementar la facturación mediante una solicitud de información a través del sistema INFOMEX. De la integración de ambas fuentes de información se obtuvo la facturación que comprende el periodo de mayo de 2006 a septiembre de 2009.

2.2 Uso final de la energía eléctrica en el sistema de alumbrado público

El alumbrado público es un servicio esencial para la población ya que cubre necesidades importantes en el quehacer cotidiano de las personas, además de proveer seguridad al peatón, iluminar avenidas y bulevares, así como en espacios públicos, en parques, plazas y jardines.

Además de ser un servicio en demanda continua, debido al desarrollo urbano y al crecimiento de la población, también requiere de grandes inversiones para su ampliación que en ocasiones los municipios no pueden solventar.

Como se mencionó anteriormente, los municipios son los responsables de prestar el servicio de alumbrado público, sin embargo el sistema en sí mismo pueden volverse un problema y convertirse en un sistema ineficiente y costoso al no prever su actualización o mejoramiento.

Para conocer el estado actual del sistema de alumbrado público en el municipio de Temixco se analizaron dos áreas importantes, la financiera y la tecnológica.

En el área financiera el estudio se focalizó en el análisis de la facturación histórica, partiendo por el consumo de energía eléctrica y después los costos asociados a esta. Con esto siendo posible identificar las variaciones que contribuyen a un consumo elevado de energía eléctrica del sistema de alumbrado público.

En el área tecnológica el estudio se enfocó en dos componentes:

- Tecnologías existentes de lámparas: considerando el tipo de tecnologías, parámetros de funcionamiento y consumo de energía.
- Tecnologías de control de iluminación: asociadas al control, regulación y distribución de la energía eléctrica a la lámpara.

Con el fin de visualizar la evolución del consumo de energía eléctrica en el sistema de alumbrado público, en la Ilustración 2.1 se presenta el histórico del periodo de mayo de 2006 a septiembre de 2009. En la facturación se observa una oscilación en el consumo de energía eléctrica entre los 500,000 y 600,000 kWh/mes con una pequeña disminución en el consumo a partir de enero del 2008 pero con un leve incremento a partir de junio de 2009.

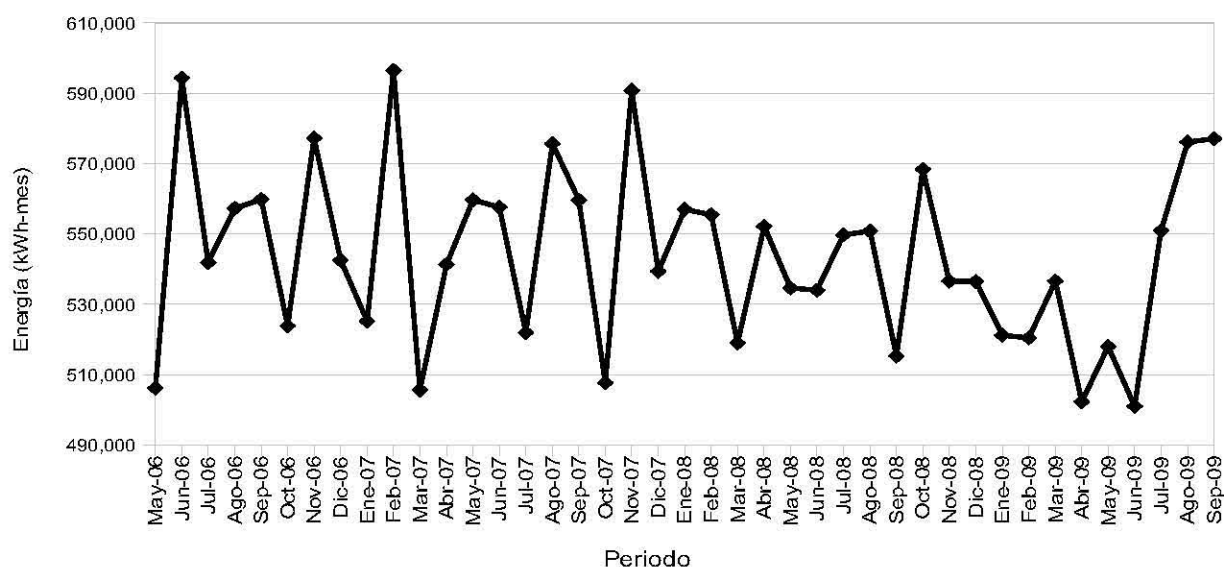


Ilustración 2.1: Distribución del consumo de energía eléctrica del periodo (2006-2009)

Es importante señalar que por no tener un control en la medición del consumo de energía eléctrica, la CFE la calcula en base a la carga instalada (más un 25% por pérdidas en el uso de balastos electromagnéticos), y considerando 12 horas diarias de operación durante un promedio de 30.4 días al mes [CONUEE, 2005].

Se realizó un análisis comparativo entre lo facturado por CFE y cálculos propios (tomando como base el censo). En la tabla Tabla 2.1 se muestran los resultados de esta comparación (considerando un factor de carga del 100%). El año de comparación es el 2007 ya que es el año de realización del censo.

Tabla 2.1: Comparación del consumo de energía eléctrica (facturación-censo)

Año	Fuente de información	Consumo (kWh/año)
2007	CFE	6,581,116
2007	Censo	6,492,561

Los resultados muestran una diferencia de 88,600 kWh/año en el consumo de energía eléctrica entre lo calculado mediante el censo y lo facturado por la CFE para el año 2007. Lo que puede significar que el censo no se haya hecho correctamente o que la carga contratada no haya sido la correcta, por lo tanto se estaría facturando energía eléctrica que no se está consumiendo.

En el sistema de alumbrado público de Temixco existen 66 servicios contratados de suministro de energía eléctrica, de los cuales sólo 17 cuentan con sistema de medición (medidor), en los restantes se estima el consumo de energía eléctrica.

La tarifa contratada es la 5A para el servicio de alumbrado público en media o baja tensión, esta tarifa contienen un cargo por la energía consumida y se aplica, por lo general, con base en el número y características de las luminarias que conforman las redes de alumbrado público [SENER, 2008].

A nivel nacional la tarifa 5 y 5A cuenta con subsidios que en 2007 ascendieron a poco mas de \$1,283 (millones de pesos), sin embargo, los costos por facturación han ido aumentado conforme el incremento en el precio medio de la tarifa (ver la Tabla 2.2).

Tabla 2.2: Precio medio de energía eléctrica

Tarifa	2008 (\$/kWh)	%	2009 (\$/kWh)	%	2010 (\$/kWh)
5A	1.75	5.9	1.85	5.8	1.96

(FUENTE: estadísticas CFE)

El monto de la facturación obtenida de los archivos y complementada con la del sistema INFOMEX se muestra en la gráfica Ilustración 2.2. A fin de tener una percepción de como han ido incrementando los egresos por consumo de energía eléctrica, estos se expresan en dólares en moneda constante al 2007, sin tomar en cuenta las fluctuaciones en la moneda causadas por la inflación.

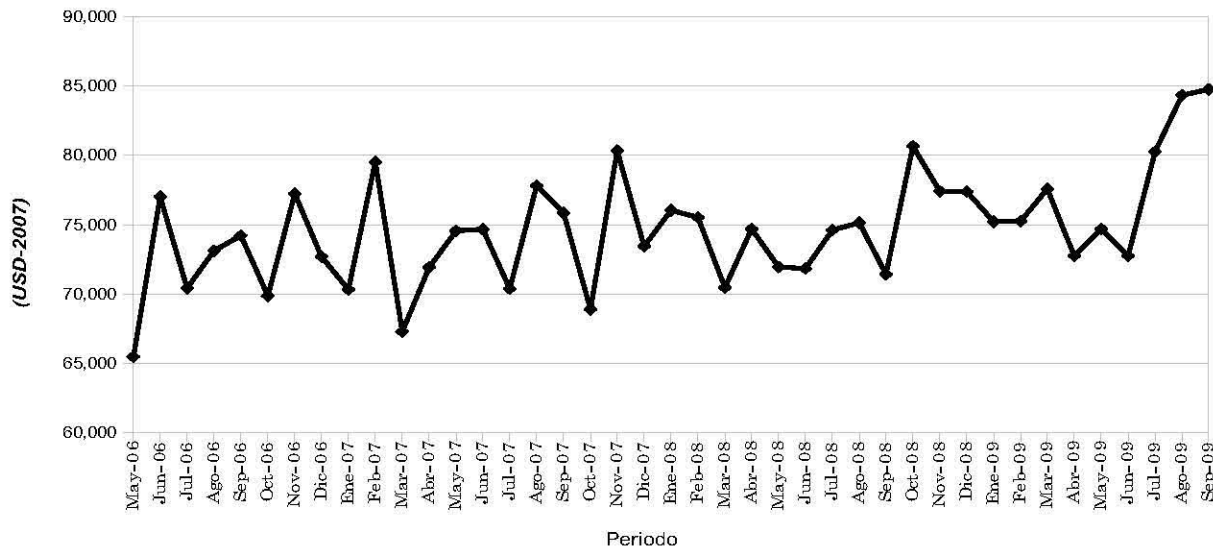


Ilustración 2.2: Distribución del consumo de energía eléctrica en alumbrado público (2006-2009)

Los egresos por concepto de consumo de energía eléctrica en el sistema de alumbrado público mostrados en la gráfica, muestran un leve incremento a lo largo del periodo observado entre mayo del 2007 y septiembre del 2009, con oscilaciones entre los 60,000 y 80,000 dólares.

De la correcta elaboración del censo y el contar con un sistema de medición energía eléctrica va permitirle al ayuntamiento una mejor administración de los recursos materiales y económicos.

2.3 Diagnóstico energético del sistema de alumbrado público

El sistema de alumbrado público cuenta con muchas lámparas que son necesarias de mantener. En la mayoría de los casos estas son inadecuadas y utilizan aún balastro electromagnéticos. Es por eso la necesidad de hacer un análisis del sistema de iluminación, pero para poder realizar cambios, primero es importante conocer la situación existente de lo que se pretende modificar.

Para la obtención de los datos del sistema de alumbrado público, es necesaria la realización de un censo, por parte del ayuntamiento. Este debe contar con los siguiente elementos: a) lámparas, b) Balastos, c) luminarias y d) Altura de instalación en los postes [CONUEE, 2005].

El H. Ayuntamiento de Temixco proporcionó el censo de las lámparas instaladas, pero con la desventaja que este no contempla información relacionada con el luminario y datos del poste. Sin embargo los datos proporcionados son suficientes para realizar estudios de eficiencia energética, en cumplimiento con las normas vigentes. De la veracidad del censo va depender que los potenciales de ahorro de energía eléctrica estén bien sustentados.

Para identificar con claridad las áreas de oportunidad se clasificó la información de las lámparas instaladas respecto a:

- Características de las lámparas.
- Potencia nominal.
- Tipología.

Esta información se muestra en la Ilustración 2.3, en ella se observa un total de 6,925 lámparas instaladas, de las cuales el 57% es a base de vapor de sodio en alta presión, consideradas como las más utilizadas por los municipios y de mayor eficiencia [Chapa, 1999], el restante 43% esta constituido por lámparas mixtas, vapor de mercurio, fluorescentes, incandescentes, y aditivos metálicos.

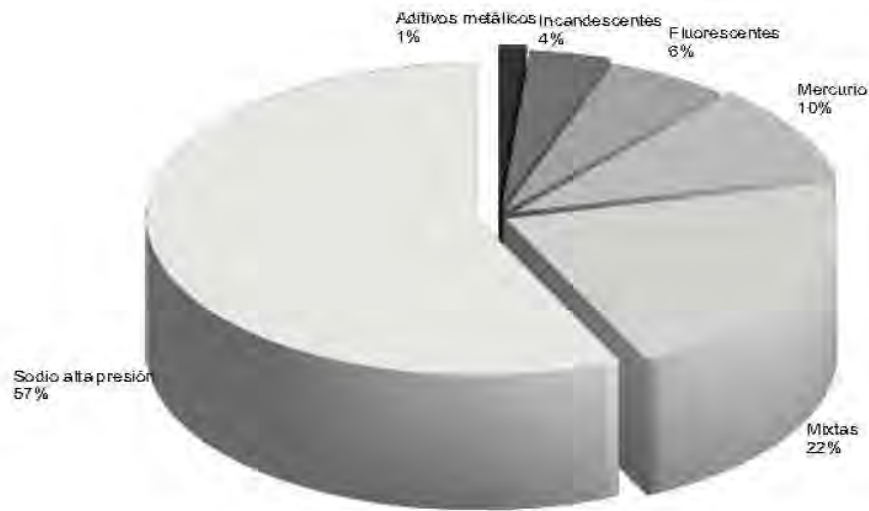


Ilustración 2.3: Porcentaje de distribución de lámparas en el sistema de alumbrado público de Temixco

De un potencia total instalada igual a 1,475.58 kW, el (51%) corresponde a lámpara de vapor de sodio en alta presión con 756 kW, con un 27% están las lámparas mixtas, con un 15% las lámparas de vapor de mercurio, con un 4% las lámparas incandescentes, con un 2% fluorescentes y 2% aditivos metálicos, ver Ilustración 2.4.

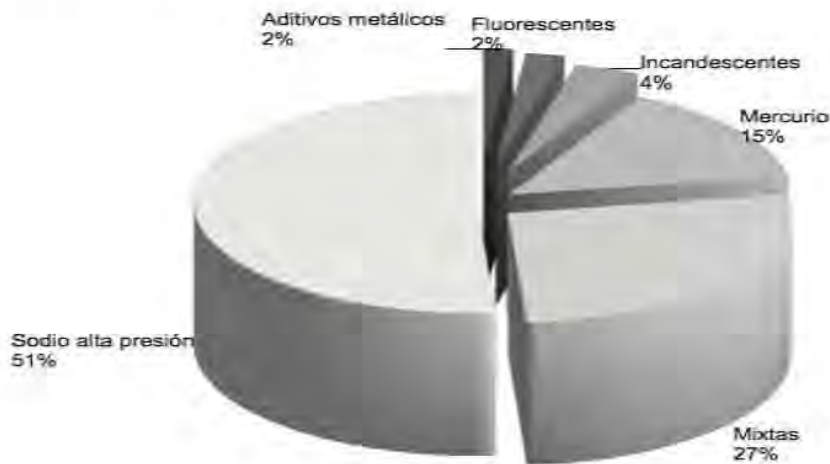


Ilustración 2.4: Distribución de carga instalada en el sistema de alumbrado público de Temixco.

Por el número de lámparas instaladas y la carga eléctrica que ello representa, cerca de la mitad de los equipos son susceptibles a ser sustituidos por equipos más eficientes.

Pasando al consumo de energía eléctrica del sistema, este fue calculado de acuerdo a la siguiente fórmula :

$$\text{Energía eléctrica consumida} = \text{No. de lámparas} * \text{Potencia instalada} * \text{Horas de operación} \quad (2.1)$$

donde la potencias instalada incluye las pérdidas del balastro.

Para el cálculo de la carga total instalada para lámparas de vapor de sodio en alta presión, vapor de mercurio aditivos metálicos y fluorescentes se calculó considerando un 25% de pérdidas del balastro magnético.

El consumo de energía eléctrica para el sistema de alumbrado público en el municipio de Temixco asciende a 6,486 MWh/año. En la Ilustración 2.5 se observa la distribución del consumo por tipo de tecnología. Se puede observar que las lámparas de mayor demanda de energía son las de vapor de sodio en alta presión con un consumo de energía eléctrica de poco mas de 3,000 kWh/año, sin embargo existe un potencial de ahorro que engloba a las lámparas mixtas, vapor de mercurio, incandescentes y aditivos metálicos sin considerar las fluorescentes compactas.

Cerca de la mitad de la demanda de energía eléctrica (48%) es susceptible a mejorar con la aplicación de nuevas tecnologías como se muestra en la Ilustración 2.5 .

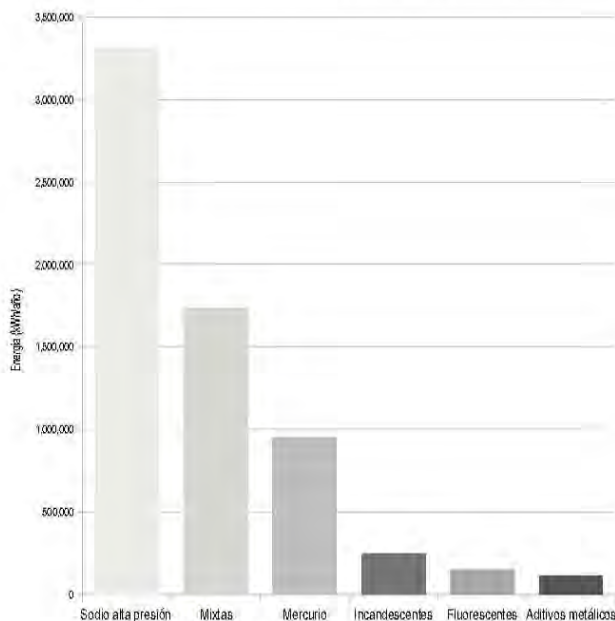


Ilustración 2.5: Consumo de energía por tipo de lámpara en el sistema de alumbrado público de Temixco

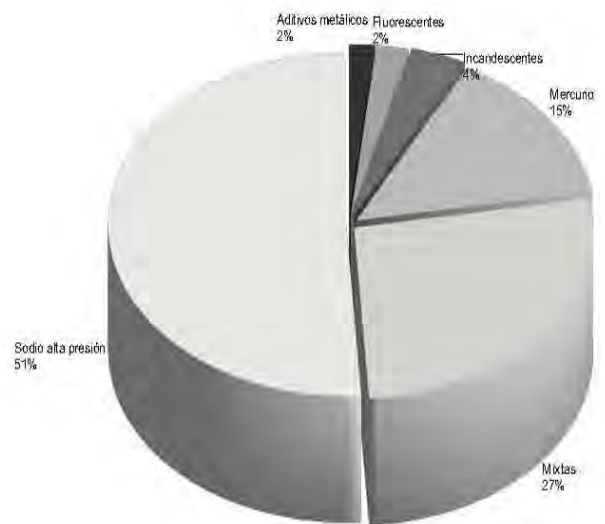


Ilustración 2.6: Distribución porcentual del consumo de energía eléctrica en el sistema de alumbrado público de Temixco

2.4 Factores técnicos a considerar en la elección de equipos eficientes.

En las instalaciones del sistema de alumbrado público de Temixco existe un potencial de ahorro de energía eléctrica, que para aprovecharlos es necesario conocer la tecnologías y formas eficientes de operación. Para ello la elección y sustitución de equipos constituye un aspecto fundamental del ahorro de energía eléctrica que en consecuencia trae importantes beneficios económicos y ambientales.

De los problemas asociados a los altos consumos de energía eléctrica en alumbrado público podemos mencionar los técnicos, estos están relacionados con la elección del tipo de lámpara, censos no actualizados y desconocimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

La sustitución de equipos y la adecuación en los niveles de iluminación son las soluciones técnicas de mayor importancia [CONUEE, 2005].

Para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de energía eléctrica la CONUEE presenta las siguientes soluciones técnicas [CONUEE, 2005]:

- Se deben utilizar equipos eficientes.
- Adecuar los niveles de iluminación.
- Aplicar las Normas Oficiales Mexicanas.

La elección de equipos se va llevar a cabo tomando en cuenta la características técnicas de las lámparas, y de igual manera los balastos.

En esta sección del capítulo se presenta información detallada de las lámparas y balastos, en en la sección 1.4 se habló sobre los conceptos básicos sobre iluminación. Todo esto con el objeto de determinar la mejor elección de los equipos.

De acuerdo a lo visto en el capítulo 1, las lámparas pueden agruparse en tres tipos:

Incandescentes

Fluorescentes

Descarga de alta intensidad

En función del uso en la Tabla 2.3 se muestra cada una de ellas.

Tabla 2.3: Característica cualitativas del uso de lámparas en alumbrado público

Tipo	Uso	Eficacia (lm/W)	
Incandescentes	Sólo se justifica en poblaciones aisladas en forma provisional o en casos especiales; no recomendable	20	Baja
Fluorescentes	Recomendado ocasionalmente en pasos a desnivel y túneles, uso limitado en áreas abiertas	40-56	Media/alta
Descarga de alta intensidad: Sodio alta presión	Alumbrados exteriores, ocasionalmente en locales interiores grandes; recomendable	75-90	Alta
Aditivos metálicos	Fachadas y monumentos; parques y jardines	60-70	Media/alta

Fuente (Elaboración propia con datos de la NOM-028 y CONUEE)

Para la sustitución de equipos actuales por eficientes en alumbrado público se recomienda que sean lámparas de vapor de sodio en alta presión por sus ventajas de alta emisión luminosa, alta eficiencia y larga duración. El encendido debe estar controlado automáticamente mediante celdas fotoeléctricas, y con su respectivo balastos de bajas pérdidas.

Los sistemas de iluminación ineficientes instalados en deben ser sustituidos por equipos con un mayor flujo luminoso igual o mayor al actual para garantizar los niveles de iluminación adecuados.

Se deben realizar una verificación de los flujos luminosos con el objeto de cumplir con los valores mínimos establecidos en la norma NOM-001-SEDE-2005.

De acuerdo con la CONUEE no se recomienda instalar lámparas mixtas, vapor de mercurio y halógenas en el alumbrado público [CONUEE, 2010].

En la Ilustración 2.7 se muestra la eficiencia lumínica de las lámparas en función de los costos de operación unitarios.

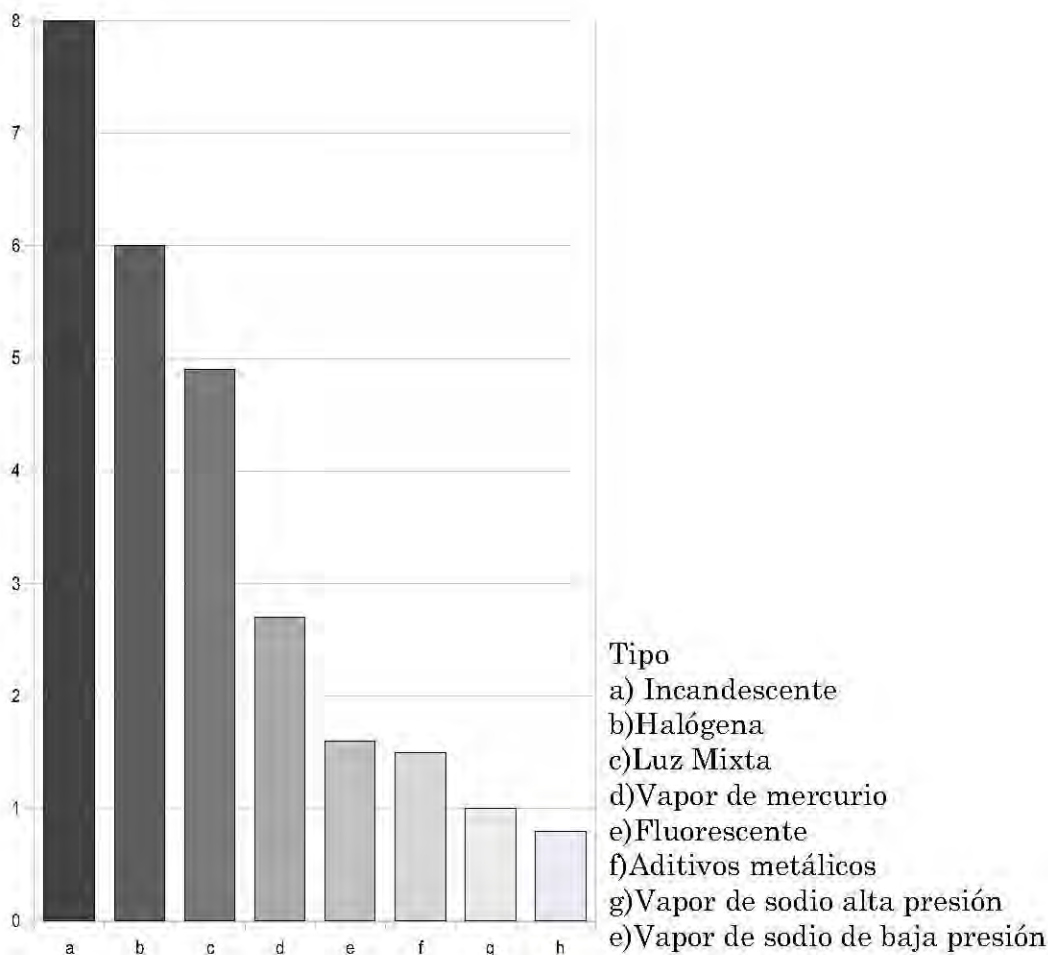


Ilustración 2.7: Eficiencia de las lámparas en función de los costos de operación

Fuente (CONAE, 2005)

En la gráfica realizada por la CONUEE se muestra la diferencia de costos por tiempo de funcionamiento y por tipo de lámpara encendida para mantener un mismo nivel de iluminación, la referencia es la lámpara de vapor de sodio de alta presión. Como ejemplo una lámpara incandescente (a) tiene costos de operación 8 veces superiores a los de una lámpara de vapor de sodio de alta presión con niveles de iluminación similares.

Es posible reducir el costo unitario por un mismo nivel de iluminación haciendo una buena elección de lámparas. Generalmente el condicionante principal en la selección de la lámpara es la eficiencia energética (luz producida/potencia consumida) ya que cuanto mayor sea, menor será el consumo de energía [San Martín et al, 1998].

La NOM-13-ENER-2004 establece para áreas exteriores públicas como lagos, cascadas fuentes,

monumentos, esculturas, banderas, parques, jardines, alamedas y kioscos; el valor mínimo de eficacia de la fuente de iluminación debe ser de 22 lm/W [DOF, 2004].

Los sistemas para alumbrado de áreas exteriores públicas como aceras, paraderos, plazas y zócalos; el valor mínimo de eficacia de la fuente de iluminación debe ser de 70 lm/W [DOF, 2004]. Tomando en cuenta las consideraciones antes expuestas, es posible aplicar medidas tecnológicas para elevar la eficiencia y disminuir los niveles de consumo y por ello se optó elegir las lámparas de vapor de sodio de alta presión como las ideales para la sustitución.

Ciudades como Rijeka en Croacia mediante un programa de las Naciones unidas ha implementado un programa de sustitución de lámparas de Mercurio por VSAP obteniendo importantes ahorros [Radulovic, 2010]

lámparas de vapor de sodio en alta presión:

Este tipo de lámparas es del tipo de descarga de arco eléctrico al igual que las fluorescentes, la luz se produce mediante una descarga eléctrica a través de una atmósfera de vapor de sodio, este tipo de lámparas son las más eficientes [Chapa, 1999].

Las lámparas de VSAP son de larga duración, en promedio 24,000 horas de vida, con una eficiencia luminosa de 130 lúmenes por watt. Este tipo de lámpara produce energía radiante en todas las ondas del espectro visible, sin embargo la mayor parte está concentrada en la franja amarilla-anaranjada del espectro. Al igual que todas las lámparas de descarga estas requieren del uso de un balastro para su funcionamiento.

El funcionamiento de este tipo de lámparas se da por el contenido de una cantidad de sodio que cuando la lámpara funciona a una presión entre 13 y 26 kN/m² permite que en el interior del tubo queden remanentes de sodio, dando como resultado un vapor de sodio saturado.

Se utiliza un exceso de mercurio como gas amortiguador y se incluye xenón a baja presión para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor del arco a la pared del tubo [Chapa, 1999].

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión además de cumplir con las NOM y NMX vigentes deben cumplir con las siguientes características presentados en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4: Características técnicas de las lámparas de VSAP

Características	<i>Lámparas de Vapor de Sodio en Alta Presión (VSAP)</i>						
Potencia (W)	35	50	70	100	150	250	400
Flujo luminoso (lm)	2250	4000	6300	9500	16000	28500	50000
Temperatura del color (°K)	1900 a 200						
Rendimiento cromático R _c	22						
Horas de vida promedio (h)	24000						

Fuente: (CONUEE, 2005)

Las lámparas de VSAP tienen las siguientes ventajas comparadas con las lámparas convencionales [Kostic et al, 2009]:

- Eficacia por arriba de los 150 lm/W
- Mayor resistencia a golpes y vibraciones
- Menor porcentaje de falla, y una lenta reducción del flujo luminoso durante el tiempo de vida, que resultan en una vida económica de más de 24,000 h.

Dispositivos auxiliares:

Las lámparas de alta intensidad de descarga requieren de dispositivos adicionales para su funcionamiento, estos dispositivos llamados balastos limitan la corriente para el correcto nivel de operación y así limitar el nivel del voltaje de arranque adecuado para iniciar y mantener el arco.

Cada balastro está diseñado para una lámpara específica, tamaños del bulbo, rango del voltaje y frecuencia de la línea de alimentación. Al hacer el cambio de lámparas es importante también hacer el cambio de balastro debido a que la potencia es controlada por el balastro y no por la lámpara.

Los balastos son un dispositivo electromagnético, electrónico o híbrido que, por medio de inductancias, capacitancias, resistencias, y/o elementos electrónicos (transistores, tiristores, etc.), solo ó en combinación limita la corrientes de la lámpara y cuando es necesario la tensión y corriente de encendido. Los balastos tienen una frecuencia de salida de 60 Hz. El factor de potencia de los balastro de alta eficiencia es igual o mayor a 90% [DOF, 1999].

De acuerdo con la CONUEE la estimación del consumo de energía en las lámparas se verá incrementado en un 25% por el uso de un balastro [CONUEE, 2005]. Recomendaciones del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) las pérdidas en balastos electromagnéticos deben ser inferiores al 20% (recomendable entre un 5 y 15%) mientras que para el caso de balastos electrónicos dichas pérdidas no superaran el 5% [IDAE, 2002].

Por recomendaciones de IDAE se debe limitar el uso de balastos serie tipo inductivos, ya que un aumento en la tensión de la red en un 10% ocasiona un incremento de potencia de la lámpara entre 20 y 25% pudiéndose alcanzar hasta un 30% [IDAE, 2002].

2.5 Análisis técnico-económico de sustitución de equipos y emisiones de CO₂ evitadas

De acuerdo al alto porcentaje de consumo de energía eléctrica por equipos actuales y con base a las características técnicas a cumplir, en esta sección del capítulo se analiza la sustitución de lámparas actuales por lámparas más eficientes, tomando en cuenta los criterios de selección, y los parámetros económicos que se vieron en la sección 1.5 del capítulo 1.

Como se vio anteriormente, el diagnóstico arrojó que el 48% del total de la carga instalada es susceptible de mejorar, la cual está integrada por lámparas de luz mixta (27%), vapor de mercurio (15%), incandescentes (4%), y aditivos metálicos (2%), para este caso no se tomó en consideración a las lámparas fluorescentes.

El consumo de energía eléctrica por el uso de las tecnologías antes mencionadas asciende a los 3,034.27 MWh/año con un costo en la facturación de 424,797.8 dólares.

En relación con las tecnologías de lámparas utilizadas en la actualidad, se presentan propuestas de mejora, las cuales se clasifican de manera individual y por tipo, esta se realiza utilizando los criterios de selección antes mencionados y con ello mejorar la eficiencia, calidad, ahorro y descontaminación lumínica.

La alternativa de sustitución de lámparas convencionales por eficientes se muestra en la Tabla 2.5, tomando en consideración las recomendaciones de la CONUEE.

Tabla 2.5: Recomendaciones tecnológicas para la sustitución de lámparas

Tipo	Convencional		por	Eficiente		
	Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)		Tipo	Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)
ADM	175	14,400	⇒	VSAP	70	6,300
ADM	250	22,000	⇒	VSAP	100	9,500
ADM	400	36,000	⇒	VSAP	250	28,000
MIXTAS	250	5,500	⇒	VSAP	100	9,500
MIXTAS	500	14,750	⇒	VSAP	150	16,000
VM	175	8,500	⇒	VSAP	100	9,500
VM	250	13,000	⇒	VSAP	150	16,000
VM	400	23,000	⇒	VSAP	250	28,000
INC	100	1,200	⇒	VSAP	70	4,000
INC	150	2,250	⇒	VSAP	70	4,000
INC	200	3,200	⇒	VSAP	70	6,300
INC	300	5,505	⇒	VSAP	70	6,300
INC	500	9,675	⇒	VSAP	100	9,500

El otro elemento a evaluar es la eficacia de las lámparas que para el caso de estudio se utilizarán lámparas de mayor eficacia (lm/W). Para los requerimiento cromáticos demandados por la instalación, y que cumplir con la normatividad vigente, la eficacia debe ser igual o mayor a 70 lm/W

En la tabla Tabla 2.6 se muestra la eficacia de las lámparas, y del conjunto lámpara-balastro, donde la eficacia disminuye por el consumo de energía eléctrica del balastro, para el caso del uso de balastos electrónicos este consumo se vería reducido y en consecuencia la eficacia aumenta.

Tabla 2.6: Recomendaciones tecnológicas para la sustitución de lámparas

Tipo	Potencia (W)	Eficacia lámpara (lm/W)	Eficacia conjunto lámpara-balastro (lm/W)
ADM	175	82.3	65.8
ADM	250	88.0	70.4
ADM	400	90.0	72.0
MIXTAS	250	22.0	17.6
MIXTAS	500	29.5	23.6
VM	175	48.6	38.9
VM	250	52.0	41.6
VM	400	57.5	56.0
INC	100	12.0	9.6
INC	120	18.8	15.0
INC	200	16.0	12.8
INC	300	18.4	14.7
INC	500	19.4	15.5
VSAP	70	90.0	74.3
VSAP	100	95.0	83.3
VSAP	150	106.7	93.8
VSAP	200	112.0	101.8

De las lámparas instaladas únicamente las de aditivos metálicos de 250 y 400 W tienen eficacias en conjunto lámpara-balastro superiores a los 70 lm/W que establece la NOM-13-ENER-2004. Por su parte las lámparas de vapor de sodio de alta presión en su mayoría tienen eficiencias superiores a los 70 lm/W.

De la misma manera que las lámparas, se presenta la alternativa de sustitución de balastos electromagnéticos por electrónicos de bajas pérdidas, que además cuenten con sello FIDE con factor de potencia corregido (>0.99) y con eficiencia mínima a 85% para lámparas de VSAP entre 70 hasta 150 Watts y 88% para lámparas de VSAP de 150 a 400 Watts.

Para la realización del análisis técnico-económico de las lámparas se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- EL análisis financiero de sustitución se hizo dependiendo del tipo de tecnología, tomando en cuentas las recomendaciones técnicas y basado en los cálculos vistos en la sección 1.5.
- Cálculo de ahorro de energía: La estimación del ahorro de energía eléctrica para todos los

equipos se realizó tomando en consideración el promedio de 4,380 horas de funcionamiento al año [CNUEE, 2005]; y la potencia del conjunto lámpara-balastro, tomando en cuenta las pérdidas para cada tipo de balastro (25% para balastos electromagnéticos y de 10 a 20% para balastos electrónicos dependiendo de la potencia de la lámpara a suministrar [FIDE, 2010].

- El periodo de estudio para todos los casos fue considerado de 10 años, tomando como base el tiempo de vida útil del balastro y por recomendaciones del IDAE [IDAE, 2002];
- Dentro del periodo de estudio de análisis, la política de reemplazo se refiere a la sustitución de lámparas al término de su vida útil, el cual es diferente para cada tecnología.
- Se considera que los costos de instalación, de inversión, de reemplazo. de las lámparas y de electricidad se mantienen constantes a lo largo del periodo de estudio es decir que aumentarían al mismo ritmo que la inflación.
- El análisis se realizaron en moneda constante para no incluir la inflación tomando como año base el 2007.
- Además de evaluar el VAE, el PR y el CEA como recomienda [Di Stefano, 2000] se evaluaron el VPN, la TIR y el CEA (ver sección 1.5), los parámetros a utilizar para el análisis económico se muestran en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7: Parámetros para cálculos económicos

Tasa de rendimiento mínima atractiva	10%
Tipo de cambio técnico	\$12.92 USD <small>Fuente COPAR 2009</small>
Año base de estudio	2007
Precio medio de energía eléctrica en tarifa 5A	\$0.14 USD-07 <small>Fuente CFE</small>

Para el análisis del estudio fue necesario diseñar la herramienta de cálculo en excel que permita evaluar a detalle cada parámetro por cada tipo de lámpara y estimar tanto el económico, energético y ambiental (ver anexo 4).

En el análisis comparativo entre lámparas de AM por VSAP, el monto de la inversión sería de \$4,003.23 dólares, con la cual se podrá hacer el cambio de 75 lámparas de 175 Watts, 2 de 150 Watts, 17 de 400 Watts. Esta inversión incluye el costo de las lámparas de VSAP, los balastos electrónicos y el costo de instalación, los cuales se obtuvieron a través de cotizaciones proporcionadas por proveedores de materiales eléctricos.

En el estudio se considera el costo por sustitución de lámparas a lo largo del periodo de estudio. De acuerdo a estimaciones del tiempo de vida útil de las lámparas, la política de reemplazo para lámparas en AM es de 2 años, y para las de VSAP de 4 años [IDAE, 2005].

En los indicadores económicos se observa que el VAE para el costo de inversión del sistema eficiente fue mayor al VAE del sistema actual, esto debido a que la tecnología eficiente tiene un costo mayor, sin embargo al evaluar los sistemas incluyendo el costo de la energía eléctrica consumida, la AE es menor para el sistema eficiente ver (Tabla 2.8).

De este análisis se determinará que los sistemas eficientes son preferibles a los sistemas actuales ya que la AE de utilizar este sistema se reduce en 50% en la sustitución de ADM de 175 W por VSAP de 70 W; un 56% en la sustitución de ADM de 250 por VSAP de 100W y un 39% en la sustitución de ADM de 400 por VSAP de 250W.

El PR de la inversión es menor a un año para los tres casos de estudio, con un costo de energía ahorrada mucho menor a \$0.14 c/USD que es el costo de comprar la electricidad a la red, una TIR superior al 100%, y ahorros de energía superiores al 50%.

Tabla 2.8: Indicadores económicos de la sustitución de lámparas de ADM por VSAP en el sistema de alumbrado público

Indicador	Actual		Eficiente		Actual		Eficiente	
	ADM	VSAP	ADM	VSAP	ADM	VSAP	ADM	VSAP
Potencia (W)	175	70	250	100	400	250		
VPN (USD-07)	-66,304.46	-32,160.26	-2,481.32	-1,080.35	-33,215.55	-20,216.66		
VAE (USD-07)	-10,790.74	-5,233.93	-403.82	-175.82	-5,405.68	-3,290.17		
PR (años)		0.64		0.43		0.51		
Costo de energía ahorrada (c/USD-07)		\$0.02		\$0.01		\$0.02		
TIR (%)	9	162.95	237.35		202.78			
B/C		9.5	7.3		12.2			
Energía ahorrada (kWh/año)		44,019	1,738		16,751			
Ahorro de energía (%)		61.26	63.51		44.99			

Para el análisis de las lámparas de Luz Mixta por VSAP, se requiere una inversión de \$81,979.96 dólares, con la cual se podrá hacer el cambio de 1,434 lámparas de 250 Watts y 74 de 500 Watts. Esta inversión incluye el costo de las lámparas de VSAP, los balastos electrónicos de bajas pérdidas y el costo de instalación, los cuales se obtuvieron a través de cotizaciones proporcionada por proveedores de materiales eléctricos.

En base al tiempo de vida útil de las lámparas de luz mixta que es de 10,000 h, la política de reemplazo para estas se estableció en 2 años, con un uso de 12 h diarias y para las de VSAP de 4 años [IDAE, 2005].

Como en el caso anterior, el VAE sólo para el costo de inversión, resultó ser mayor para el sistema eficiente que el del sistema actual, esto debido a que la tecnología eficiente tiene un costo mayor, sin embargo al evaluar los sistema incluyendo el costo de la facturación energética, el VAE es menor para el sistema eficiente (Tabla 2.9).

De los resultados obtenidos se determina que el sistema eficiente es preferible al sistema actual

ya que el costo anual equivalente de utilizar este sistema reduce en un 38% al sustituir las lámparas mixtas de 250 W y un 60% al sustituir las de 500 W, con un PR de la inversión menor a un año para los dos casos de análisis, un costo de energía ahorrada mucho menor al costo de comprarla a la red, una TIR superior al 100%, y ahorros de energía superiores al 40% y llegando a más del 70%.

Tabla 2.9: Indicadores económicos de la sustitución de lámparas Mixtas por VSAP en el sistema de alumbrado público

Indicador	Actual		Eficiente	
	Mixtas	VSAP	Mixtas	VSAP
Potencia (W)	250	100	500	150
VPN (USD-07)	-1,243,968.91	-774,627.93	-179,512.45	-59,050.12
AE (USD-07)	-202,450.21	126,067.13	-29,214.82	-9,610.13
PR (años)		0.82		0.26
Costo de energía ahorrada (c/USD-07)		\$0.03		\$0.01
TIR (%)		125.05		386.80
B/C		7.4		23.5
Energía ahorrada (kWh/año)		657,737.94		147,328.75
Ahorro (%)		47.87		72.73

En el caso donde se analizaron lámparas de VM por VSAP, se requiere una inversión de \$58,069.66 dólares, con la cual se podrá hacer el cambio de 4 lámparas de 175 Watts, 684 de 250 Watts y 4 de 400 Watts. Esta inversión incluye el costo de las lámparas de VSAP de 100, 250 y 400 Watts; el costo de balastos electrónicos e instalación.

En base al tiempo de vida útil de las lámparas de VM que es de 24,000 h, la política de reemplazo para estas se estableció en 4 años, con un uso de 12 h diarias, para las de VSAP de 4 años [IDAE, 2005].

Como en los casos anteriores, el análisis del VAE sólo para el costo de inversión, en el sistema eficiente fue mayor que la AE del sistema actual debido a que la tecnología eficiente tiene un costo mayor, sin embargo al evaluar los sistema incluyendo el costo de la facturación energética y las sustitución de lámparas, el VAE es menor para el sistema eficiente (Tabla 2.10).

De los resultados obtenidos y tomando como referencia los criterios de selección, se determinó que el sistema eficiente es preferible al sistema actual ya que el costo anual equivalente de utilizar este sistema reduce a poco más del 30% para los tres casos con un PR de la inversión menor a un año.

Para los tres tipos de lámparas evaluadas, el costo de energía ahorrada resultó ser mucho menor al costo de comprarla a la red, se obtuvo una TIR superior al 100%, y ahorros de energía cercanos a un 50% para los tres tecnologías a analizar.

Tabla 2.10: Indicadores económicos de la sustitución de lámparas de VM por VSAP en el sistema de alumbrado público

Indicador	Actual	Eficiente	Actual	Eficiente	Actual	Eficiente
	VM	VSAP	VM	VSAP	VM	VSAP
Potencia (W)	175	100	250	150	400	250
VPN (USD-07)	-3,394.62	-2,224.21	-825,584.84	-561,400.40	-7,716.28	-4,834.81
AE (USD-07)	-552.46	361.98	-134,360.13	-91,365.33	-1,255.79	-788.31
PR (años)		0.94		0.9		0.58
Costo de energía ahorrada (c/USD-07)		\$0.04		\$0.04		\$0.02
TIR (%)		102.44		99.66		170.92
B/C		6.5		6.4		10.6
Energía ahorrada (kWh/año)		1,834.69		425,570.44		3,941.47
Energía ahorrada (%)		47.87		45.46		44.99

En el caso donde se analizó la sustitución de lámparas Incandescentes por VSAP, se requiere una inversión de \$16,588 dólares, con la cual se podrá hacer el cambio de 77 lámparas de 100 Watts, 118 de 150 Watts, 7 de 200 Watts, 36 de 300 Watts y 35 de 500 Watts; esta inversión incluye el costo de 273 lámparas de VSAP de 70 Watts, el costo de mismo número de balastos electrónicos e instalación.

En base al tiempo de vida útil de las lámparas Incandescentes que es de 2,500 h, se estableció una política de reemplazo de 2 sustituciones por año, con un uso de 12 h diarias. Para las de VSAP de 4 años [IDAE, 2005].

Como en los casos anteriores, el análisis la AE sólo para el costo de inversión, la AE del sistema eficiente fue mayor que la del sistema actual, esto debido a que la tecnología eficiente tiene un costo mayor, sin embargo, al evaluar los sistema incluyendo el costo de la facturación energética, la AE es menor para el sistema eficiente ver Tabla 2.11 y Tabla 2.12.

De los resultados obtenidos y tomando como referencia los criterios de aceptación, se determinó que el sistema eficiente es preferible al sistema actual ya que el costo anual equivalente de utilizar este sistema se reduce considerablemente en todos los casos, y un PR de la inversión menor a un año con excepción en las lamparas de 100 y 150 Watts.

Para los cinco tipos de lámparas evaluadas, el costo de energía ahorrada resulto ser mucho menor al costo de comprarla a la red, se obtuvo una TIR superior a la TREMA, y ahorros de energía superiores a un 50% con excepción de la sustitución de INC de 100 W por VSAP de 70 W que presento un ahorro del 15% pero sin embargo se mejora la calidad visual debido a los lúmenes que proporciona la tecnología eficiente.

Tabla 2.11: Indicadores económicos de la sustitución de lámparas de INC por VSAP en el sistema de alumbrado público

Indicador	Actual	Eficiente	Actual	Eficiente	Actual	Eficiente
	INC	VSAP	INC	VSAP	INC	VSAP
Potencia (W)	100	70	150	70	200	70
VPN (USD-07)	-35,963.99	-34,240.28	-77,555.59	-52,472.12	-5,982.10	-3,112.75
AE (USD-07)	-5,852.97	-5,572.45	-12,621.98	-8,539.60	-973.56	506.59
PR (años)		2.5		1.1		0.7
Costo de energía ahorrada (c/USD-07)		\$0.09		\$0.02		\$0.01
TIR (%)		20.78		83.97		140.39
B/C		2.4		5.6		8.9
Energía ahorrada (kWh/año)		5,143.22		33,723.81		3,533.57
Energía ahorrada (%)		15.25		43.50		57.63

Tabla 2.12: Indicadores económicos de la sustitución de lámparas de INC por VSAP en el sistema de alumbrado público

Indicador	Actual	Eficiente	Actual	Eficiente
	INC	VSAP	INC	VSAP
Potencia (W)	300	70	500	100
VPN (USD-07)	-44,572.37	16,008.44	69,960.29	15,563.76
AE (USD-07)	-7,253.94	2,605.30	11,385.71	2,532.93
PR (años)		0.39		0.22
Costo de energía ahorrada (c/USD-07)		\$0.004		\$0.002
TIR (%)		245.49		450.34
B/C		15.1		27.7
Energía ahorrada (kWh)/año		33,940.62		63,675.83
Energía ahorrada (%)		71.75		83.05

Sin duda alguna la eficiencia energética en el sistema de alumbrado público es un recurso importante para evitar gastos a la administración municipal, ya que esta no trabaja con fines de

lucro, si no que presta un servicio a la comunidad.

Si bien como los costos de implementación de medidas de eficiencia energética pueden resultar bastante elevados, se puede proponer una sustitución gradual, que permita mediante los ahorros en la facturación, la consecución del programa de ahorro de energía en el sistema de alumbrado público. La Ilustración 2.8 muestra el porcentaje de ahorro de energía eléctrica que se puede obtener de la sustitución por etapas.

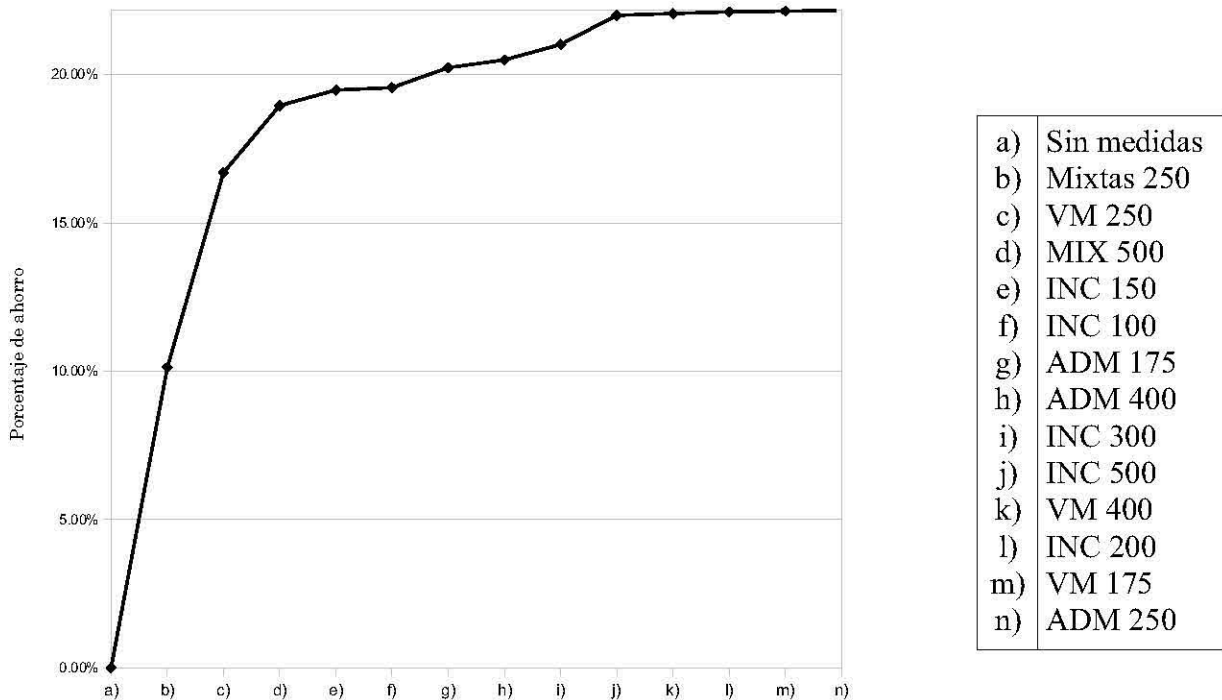


Ilustración 2.8: Porcentaje de ahorro de energía eléctrica respecto a los costos de inversión acumulada

Ademas de obtener grandes beneficios económicos, y energéticos por la sustitución de lámparas en el sistema de alumbrado público del municipio de Temixco, existe el beneficio ambiental, el cual consiste en calcular las emisiones de CO₂ evitadas a la atmósfera con un factor de emisión de 0.524 kgCO₂/kWh.

De las emisiones provocadas por la constante demanda de energía eléctrica por parte del sistema actual, el alumbrado público emite a la atmósfera 3,402 tCO₂, mientras que sustituyendo las lámparas de ADM, VM, Mixtas, INC por VSAP las emisiones anuales serían de 2,648 tCO₂, por lo tanto se estaría evitando alrededor de 754 tCO₂ a la atmósfera, esto es una reducción del 22%.

CAPÍTULO 3. Eficiencia energética en el sistema de bombeo de agua potable del municipio de Temixco.

3.1 Introducción.

En este capítulo se realiza un estudio sobre el uso de la energía eléctrica final en el sistema de bombeo de agua potable del municipio de Temixco, y se presenta el análisis técnico-económico para la propuesta de sustituir un equipo de bombeo actual por un sistema de bombeo solar fotovoltaico (SBSFV), para el pozo Plutarco. Para la elección del pozo se analizaron los parámetros hidráulicos y se buscó en el mercado el equipo más adecuado a esos parámetros.

Una vez elegido el equipo se realizó el análisis económico y en base a los índices a evaluar se determinó la viabilidad del proyecto.

El bombeo de agua potable es el tercero de los rubros de carácter de estudio en esta tesis, que al igual que el alumbrado público y edificaciones, representa erogaciones por el consumo ineficiente de energía eléctrica. Este sistema es administrado por el H. Ayuntamiento de Temixco a través del Sistema de Conservación, Agua Potable y Saneamiento de Agua de Temixco, Morelos (SCAPSATM).

Como un servicio a la sociedad el suministro de agua potable es un derecho fundamental para cada ciudadano y es esencial para el bienestar de una población [ONU, 2005]. En México datos obtenidos del atlas digital del agua 2010, se estiman que el 90.03% de la población cuenta con el suministro de agua potable. En el municipio de Temixco el suministro de agua potable es del 94% [INAFED, 2005].

Un problema relacionado al consumo de agua potable es el aumento de población y las presiones sobre el recurso hídrico en que en Morelos es de un 49% [CONAGUA, 2010]. Esta fuerte presión se puede trasladar a los gastos de operación de las fuentes y en los costos energéticos por llevar el vital líquido hasta los hogares. Muestra de ello es que del 2008 al 2009 el consumo de energía eléctrica en este sector se incrementó en un 35% [Estadísticas de CFE].

Como alternativa el bombeo fotovoltaico es una opción sin embargo el problema con el diseño e implementación de un sistema de bombeo es el costo del panel fotovoltaico entre otros componentes [Short et al, 2003]

Para analizar el sistema de bombeo de agua potable del municipio de Temixco fue necesario la recopilación de información concerniente al consumo de energía eléctrica, facturación, especificaciones técnicas de los equipos de bombeo instalados y parámetros hidráulicos de cada uno de los pozos.

En el caso de la facturación eléctrica, ésta fue obtenida de dos fuentes, la primera de los archivos de SCAPSAMT, donde se realizó una revisión exhaustiva en los archivos para encontrar la facturación, y la segunda fuente como en los casos de alumbrado público y edificios municipales se obtuvo mediante el sistema INFOMEX.

De la integración de ambas fuentes se logró obtener el consumo de energía eléctrica para todo el sistema de bombeo de agua potable del periodo de 2007 a 2009, de igual manera se obtuvieron los costos de la facturación energética.

Para la obtención de datos técnicos de los equipos y parámetros hidráulicos de cada uno de los pozos, se acudió con los encargados del SCAPSAMT, estos proporcionaron gran parte de la información, con algunas inconsistencias y ausencias.

3.2 Consumo de energía eléctrica y facturación en el sistema de bombeo

El suministro de agua potable es un servicio en constante demanda, por ello uno de los costos asociados es el de la facturación por consumo de energía eléctrica. El uso eficiente de esta va depender de factores que se mencionaran mas adelante. En esta sección del capítulo se analiza el consumo de energía eléctrica y la facturación de la misma, esta información es concerniente a 18 pozos que proporcionan el vital líquido a la población.

Una vez integrada la información de las dos fuentes antes mencionadas, el consumo de energía eléctrica en el sistema de bombeo de agua potable se presenta en la Ilustración 3.1, en ella se muestra la evolución histórica mensual, para el periodo comprendido de enero de 2007 a septiembre del 2009.

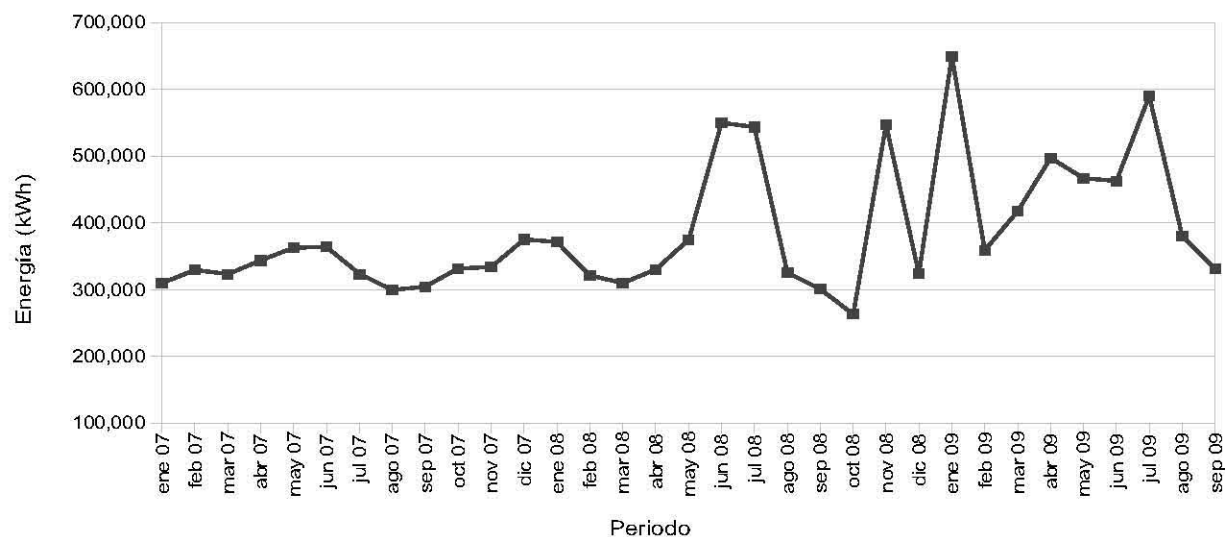


Ilustración 3.1: Distribución del consumo de energía eléctrica para el periodo (Ene09-Sep09)

Se puede observar que existe un consumo de energía con pocas fluctuaciones de enero de 2007 a mayo del 2008, donde se se aprecia un aumento en en el consumo de energía eléctrica en los meses abril, mayo y junio, siendo estos periodos temporadas donde la demanda del consumo de agua aumenta por las sequías.

Del mes de mayo de 2008 se aprecia un desorden en el consumo de energía, el cual se caracterizan por incrementos que pudieran deberse a factores como: incremento en los usuarios de agua potable, incremento en la demanda de agua, cambio de equipos mal dimensionados, ó equipos que por ser reparados disminuyen su eficiencia.

Cabe mencionar que al momento de integrar el consumo de energía, hay dos pozos que presentan facturación a partir de 2009, sin mostrar un historial de consumo antes de esa fecha.

La facturación de la energía eléctrica de los 18 pozos se muestra en la Ilustración 3.2, la cual se presenta en moneda constante, tomando como base el año 2007, con el fin de ver la evolución de los costos y omitiendo los efectos causados por la inflación. La tarifa contratada para este servicio es la 06 para bombeo de agua potable o negras, de servicio público.

En ella podemos observar a detalle un patrón en la facturación relativamente estable de enero 2007 a abril 2008, caracterizado por elevaciones en el consumo en las temporadas de estiaje. A partir de abril hay incrementos y disminuciones más pronunciadas, los cuales llegan a un punto máximo por encima de los \$65,000 dólares.

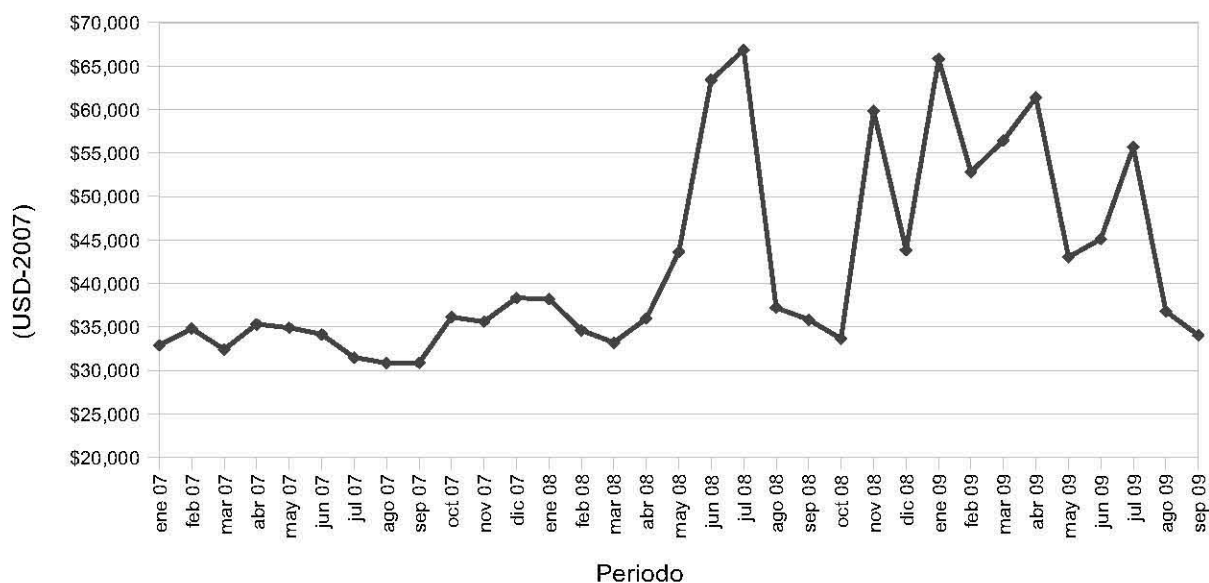


Ilustración 3.2: Historial de la facturación del SBSFV para el periodo (2007-2009)

Como se observó en los gráficos anteriores el bombeo de agua potable, representa una fuente de consumo de energía eléctrica elevada para el municipio, esto debido a que se trata de un sistema en demanda continua y con largos periodos de funcionamiento. Es por ello que cualquier forma de gestión del mismo conlleva a importantes niveles de ahorro de energía eléctrica, lo que supone importantes beneficios económicos y ambientales.

3.3 Sistema de bombeo solar fotovoltaico (SBSFV)

Ante este panorama de alto consumo de energía eléctrica se propone el uso de tecnologías alternativas para el suministro de agua potable. En el caso del sistema de agua potable del municipio de Temixco, se propone la aplicación de un sistema de bombeo solar fotovoltaico (SBSFV), con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica, y proteger el medio ambiente de la contaminación por la quema de combustibles fósiles para generar energía eléctrica.

Si bien el uso de sistemas fotovoltaicos se da en regiones en desarrollo como en Asia, Africa y Sudamérica, el agua potable es una necesidad crítica para estas [Meah et al, 2006]. Sistemas de pequeña escala podrían permitir el acceso al agua potable y mejorar la calidad de vida de los pobladores.

Meah et al, 2006 identificaron a los costos de capital como una de las limitantes para el uso de estos sistemas en países en desarrollo

Dependiendo de las circunstancias en donde se requiera aplicar la tecnología FV, y una de los problemas es la aceptación de estos sistemas, Meah et al, 2006 cita a Dunn, 1979, el cual describe los siguientes criterios de adaptación y apropiación de esta tecnología.

Objetivos de desarrollo:

- Mejora la calidad de vida de las personas
- Maximiza el uso de recursos renovables
- Crea fuentes de trabajo donde las personas viven

Las solución deben satisfacer los siguientes criterios:

- Utilizar los conocimientos locales
- Emplear recursos materiales locales
- Emplear recursos financieros locales
- Ser compatible con las practicas y culturas locales
- Satisfacer los deseos y necesidades locales

Los SBSFV pueden asegurar un suministro ininterrumpido de agua mediante el cumplimiento de los cinco criterios anteriores. La implementación de esta tecnología en el municipio de Temixco debe de cumplir con estos elementos y reflejar el interés de los tomadores de decisiones para contribuir al desarrollo sustentable de la comunidad.

En esta sección se provee información de los componentes de un SBSFV diseñando para el suministro de agua potable. En la Ilustración 3.3 se muestra un diagrama de un sistema de bombeo solar fotovoltaico.

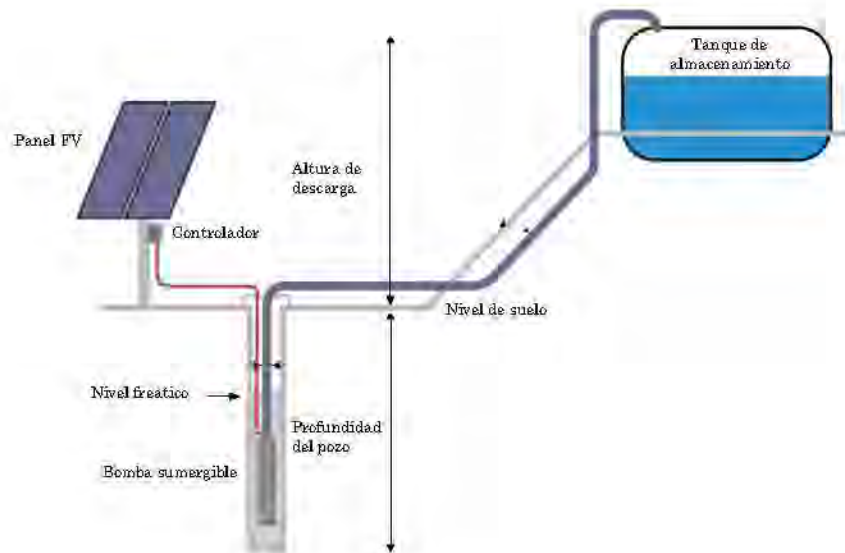


Ilustración 3.3: Principales componentes de un SBSFV

Panel fotovoltaico.

El recurso de la energía eléctrica para el SBSFV es proporcionado por el panel FV, cada panel tiene sus propias características (I-V). El punto de máxima potencia depende de factores como la radiación solar, temperatura, la carga conectada y tamaño de la celda. Para una específica potencia de salida depende de la eficiencia de la celda, las celdas solares se dividen en tres categorías acorde al material cristalino utilizado en su fabricación: monocristalino, policristalino, amorfo. El nivel de eficiencia disponible es alrededor de 7%, 15% y 17% para amorfo, policristalino y silicio monocristalino, respectivamente [Meah et al, 2006].

Arreglo fotovoltaico.

Para que un sistema de bombeo fotovoltaico funcione de manera eficiente es necesario realizar el cálculo adecuado del arreglo fotovoltaico, Este es un conjunto de módulos conectados eléctricamente en serie y/o paralelo, donde la corriente y el voltaje pueden ser modificados de acuerdo número de módulos conectados en serie o paralelo.

Incremento del voltaje:

Si varios módulos de características iguales son conectados en serie la corriente eléctrica generada es igual a la generada por un solo módulo, sin embargo se obtienen voltajes de salida más grandes. Este es un dato por la suma de voltaje generados por cada módulo.

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \quad (3.1)$$

Incremento de la corriente:

Siguiendo el mismo precepto, si varios módulos de características eléctricas iguales son conectados en paralelo estos generan la misma cantidad de voltaje que la de un solo panel, sin

embargo se obtienen corrientes generadas más grandes. En este sistema el voltaje del conjunto es el mismo que el de un módulo (o un panel) pero la corriente de salida, I_s , es la suma de cada unidad conectada en paralelo.

$$I_s = I_1 + I_2 + I_3 + \dots \quad (3.2)$$

Para evitar un flujo de corriente en la dirección opuesta se utilizan diodos de bloqueo y los diodos de paso proporcionan un camino de alivio para evitar que circule corriente por un panel o un módulo sombreado. Un módulo sombreado no generará energía, por lo cual los demás módulos lo verán como un punto de resistencia. En consecuencia, fluirá corriente hacia él convirtiéndose en un punto caliente del arreglo, al pasar esto aumentará la temperatura y se degradará lentamente.

Hidráulica de un SBSFV.

Para diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico es importante entender conceptos básicos que describen las características técnicas y las condiciones hidráulicas de un sistema. En los sistemas de bombeo un dato de suma importancia es la distancia a la cual se desea elevar el agua, esta dato influye al momento de calcular potencia hidráulica requerida para elevar cierta cantidad de agua a una distancia requerida. La Ilustración 3.4 muestra estos parámetros que serán definidos en esta sección del capítulo.

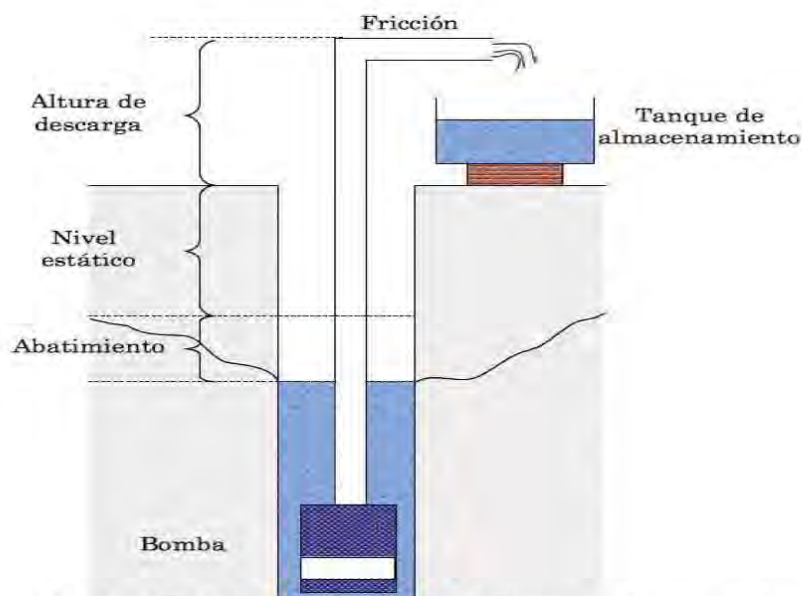


Ilustración 3.4: Parámetros hidráulicos en el proceso de extracción de agua.

Demanda o requerimiento de agua: Cantidad de agua solicitada por un usuario, en un tiempo determinado, para satisfacer una necesidad dada. Esta se mide en litros l y se especifica por día, por mes o por temporada.

Capacidad del pozo ó noria: Es la cantidad de agua que la fuente puede suministrar en un tiempo determinado (día, mes, etc.), se mide en litros l ó metros cúbicos m^3 .

Razón de flujo o gasto: Volumen de agua que se desplaza por una tubería en la unidad de tiempo. Es el producto de la velocidad v que lleva el líquido por el área de la sección transversal, S , de la tubería. Se simboliza por Q y se mide en litros por segundo l/s , ó metros cúbicos por hora. La relación entre estas variables esta dada por

$$Q = v * S \quad (3.3)$$

Para un gasto fijo, el agua se desplazará a menor velocidad en tuberías de mayor diámetro.

Régimen de bombeo (Rb): Es el volumen de agua proporcionado por la bomba en la unidad de tiempo. Se mide en litros/segundo (l/s). Mediante este procedimiento se cuantifica la capacidad de una fuente de agua, pozo o noria, al mismo tiempo que permite conocer el nivel de abatimiento y se recomienda hacerlo en el mes más seco.

Ademe: Diámetro del tubo de protección ó camisa del pozo.

Espejo de agua: Superficie en reposo del agua dentro del pozo.

Nivel estático: Es la distancia desde la superficie al nivel del espejo de agua.

Nivel dinámico: Es la distancia desde la superficie al nivel que adquiere el espejo de agua durante el proceso de bombeo.

Nivel de descarga: Altura a la que hay que llevar el agua. Distancia que hay desde la superficie hasta el borde superior del tanque de almacenamiento y se mide en metros (m).

Profundidad de abatimiento: Diferencia de distancia entre el nivel estático y el dinámico, se mide en metros (m).

Altura de fricción: Distancia adicional que hay que considerar debido a la fuerza de fricción que opone las paredes de la tubería, conexiones y válvulas, al flujo de agua.

Dos de los elementos primordiales para el diseño del sistema son la Carga Dinámica Total CDT y el volumen de agua diario requerido. Al producto entre la CDT expresada en unidades de longitud (m) y el volumen de agua requerido, expresado en metros cubicos (m^3) se le denomina ciclo hidráulico. Este elemento define el tamaño del generador fotovoltaico para una localidad dada y en consecuencia su costo[Sánchez,(S/A)].

La CDT es la suma de la Carga Estática (CE) y la Carga Dinámica (CD) donde

$$CDT = CE + CD = Nivel\ estático + abatimiento + altura\ de\ descarga + fricción \quad (3.4)$$

La CE: es la distancia a la que hay que llevar el agua desde el nivel estático hasta el nivel de descarga y estará dada por la suma entre la profundidad del espejo de agua (nivel estático) con la altura del descarga y puede obtenerse con mediciones directas.

La CD: es una carga adicional que aparece cuando el agua se desplaza dentro de la tubería, en toda su longitud, a un gasto dado. Esta carga se cuantifica por factores físicos que dependen del tipo de tubería, longitud y área de la misma, y en el gasto que circula en ella.

Para calcular la CD es necesario encontrar la distancia que recorre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Con esta información recabada se puede determinar la carga dinámica de varias maneras.

Valor por omisión: Para longitudes de recorrido menores a 50 m la carga por fricción es aproximadamente el 2 % del total de la tubería. Por lo general el resultado es una estimación conservadora si se asume que los sistemas de bombeo solar típicos tienen flujos de menos de 1 l/s.

Tablas de fricción: Este método se debe al trabajo realizado por M. Manning quien al analizar las pérdidas de presión en tuberías de PVC y hierro galvanizado, encontró que la caída de presión medida en metros de carga esta dada por:

$$H_f = k * l * Q^2 \quad (3.5)$$

donde:

H_f = Es la carga de fricción expresada en distancia lineal (m)

k = Constante empírica cuyo valor depende del diámetro de la tubería y del material

l = Es la distancia recorrida por el agua en las tuberías

Q^2 = Es el flujo expresado en m^3/s

La constante k se obtuvo después de estar experimentando con varios materiales y tamaños de tuberías.

La tabla Tabla 3.1 muestra estos valores de k para tubos de plástico PVC y acero galvanizado.

Tabla 3.1: Valores de la constante k para aplicarse en la fórmula de Manning

Material	Diámetro en pulgadas				
	0.5	0.75	1	1.5	2
PVC	9,544,491	1,261,034	291,815	31,282	7,236
Galvanizado	19,909,642	2,631,046	608,849	65,263	15,097

Motores para sistemas Fotovoltaicos.

Un sistema de bombeo convencional esta constituido por dos partes fundamentales, la primera de ella es el motor el cual va a producir la energía mecánica y la segunda la bomba que la transforma en energía hidráulica. Para que este tipos de motores puedan operar es necesario el suministrar cierta potencia, esta se puede obtener de varias formas las cuales pueden ser con corriente eléctrica, con la quema de combustibles, con la fuerza del viento, y los animales.

Actualmente los sistemas accionados por motores eléctricos son los que proveen agua a la gran

mayoría de las comunidades a nivel mundial, siempre y cuando exista un recurso eléctrico, para los casos donde no existen este recurso las otras aplicaciones tienen nichos de aplicación [Sánchez].

En el caso del municipio de Temixco donde se cuenta con infraestructura eléctrica, los equipos de bombeo de agua potable están conectados a la red.

La aplicación de sistemas bombeo solar fotovoltaico ha demostrado ser una alternativa económica, confiable y de menor costo que las otras formas convencionales para extraer agua, esto según resultados obtenidos por medio de los programas del Banco Mundial. [Sánchez, (S/A)], la Tabla 3.2 muestra una comparación entre sistemas de bombeo convencional.

Tabla 3.2: Comparación entre sistemas de bombeo convencional

Tipo de sistema	Ventajas	Inconvenientes
Manual	Bajo costo, tecnología simple, fácil mantenimiento, limpieza, no necesita combustible, se puede usar en norias.	Mantenimiento periódico, bajo gasto, se requiere de un operador para extraer el agua, no es aplicable para pozos profundos
Viento	Inversión moderada, No requiere combustible, se puede usar para pozos profundos	Sólo es aplicable para recursos eólicos mayores de 4.5 m/s. El caudal depende de la velocidad del viento. Mantenimiento periódico. No es fácil predecir y controla el volumen de agua.
Motor de combustión interna	Costo relativamente bajo, portátil, tecnología madura, fácil instalación, aplicable para cualquier pozo (con bombas eléctricas)	Requiere de un operador, mantenimiento periódico, no es de trabajo continuo, consume combustible que puede ser caro en el sitio, produce desechos contaminantes y ruido.
Sola Fotovoltaica	Bajo mantenimiento, limpieza, fácil de instalar, fiable, larga vida, sistemas modulares que pueden ser acoplados a la necesidades.	Alto costo inicial, su producción disminuye con los días nublados.

Motores eléctricos:

Un motor es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Por el tipo de alimentación eléctrica, los motores pueden clasificarse en corriente directa o continua CD y corriente alterna CA.

Motores CD: Estos motores pueden ser de imán permanente con o sin escobillas, serie, paralelo,

shunt o coumpound. Las partes fundamentales de este tipo de motores son el inductor o estator (parte fija de la máquina), el inducido o rotor (es la parte giratoria), el colector que va montado sobre el mismo eje que el rotor y giran simultáneamente. Estos motores requieren de escobillas (conocidas como carbones) que son unos contactos que a presión rozan sobre el colector, cuya misión es transmitir la potencia eléctrica a éste.

Uno de los principales inconvenientes que tienen los motores de corriente continua con carbones es su desgaste al funcionamiento. Sin embargo se han desarrollado motores CD sin carbones que tienen imanes permanentes en el rotor y conmutan electrónicamente el estator. La ventaja de estos motores estriba en la posibilidad de operar sumergidos reduciendo el mantenimiento por no tener que reemplazar dichos elementos.

Las principales ventajas de los motores CD son:

- a) Alta eficiencia, del orden del 85%
- b) Se diseñan para acoplarse directamente al generador FV
- c) No necesitan un inversor

Las principales desventajas son:

- a) Los que tiene carbones no se pueden sumergir a más de 30 m de profundidad. Son de uso recomendado para cargas pequeñas, requieren de mantenimiento en los baleros, limpieza y reemplazo de carbones.
- b) Los motores de imán permanente requieren de un sistema electrónico de conmutación
- c) Son mas caros que los motores CA
- d) No se dispone de motores de grandes potencias

Motores de CA: Este tipo de motores cuenta con una tecnología muy madura. El uso de estos motores acoplados a un sistema fotovoltaico incrementa los costos, esto debido al requerimiento de un inversor CD-CA. Se requiere también de dispositivos electrónicos que proporcionen las altas corrientes de arranque. Estos motores además de ser eficientes, tienen costos relativamente bajos, casi en un 50% para una misma potencia de motores de CD.

La composición de estos motores la determina el rotor y el estator, se caracterizan por su voltaje y potencia nominales, por su velocidad de giro y por la torca ó par motor. Los motores CA tienen un factor de potencia que limita el aprovechamiento de la corriente suministrada, dando lugar a pérdidas adicionales.

En este tipo de motores el par depende de la velocidad y la corriente, el rendimiento depende de la potencia activa de alimentación y de la carga. Si la carga es diferente a la carga nominal, el rendimiento suele decaer.

En cuanto a las pérdidas, las debidas a la fricción mecánica contribuyen a las pérdidas en los motores de alto rendimiento; la imperfecciones en el circuito magnético también contribuyen a ellas; el calentamiento del motor es otro factor de pérdidas, cuando esta aumenta, aumentan las pérdidas resistivas y como consecuencia aumenta la temperatura.

Los motores de CA pueden ser de una fase o de tres fases, los de una fase pueden tener eficiencias

de hasta el 60%, mientras que los de tres fases llegan al 80% .

Bombas:

La bomba es un de los principales componentes del sistema de bombeo, su función es transformar la energía mecánica del motor en energía hidráulica. Estas pueden dividirse en tres tipos de acuerdo a su aplicación: sumergibles, superficiales y flotantes. Una bomba sumergible extrae agua de pozos profundos, una bomba de superficie extrae agua de pozos pocos profundos, manantiales, lagunas, ríos o depósitos, y una bomba flotante extrae agua de los embalses [Meah, et al, 2006]

Clasificación respecto a la manera que realizan su función:

Bombas de desplazamiento positivo: Esta tipo de bombas tienen un contorno móvil que, por cambios de volumen, obligan al flujo avanzar a través de la máquina. Se abre una cavidad en la que el fluido penetra a través de una toma y después se cierra expulsando el fluido por la abertura de salida. Son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. En un sistema de bombeo solar acoplado a este tipo de bombas, al aumentar la radiación aumenta la velocidad del motor proporcionando un mayor flujo de agua.

Bombas de cilindro: Este tipo de bombas son utilizadas en aplicaciones de bombeo mecánico activadas por el viento, tracción animal o humana. El principio de funcionamiento es sencillo, y en el cual cada vez que baja el pistón el agua entra en su cavidad y cuando éste sube empuja el agua a la superficie. La energía eléctrica requerida para hacerlas funcionar se aplica sólo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia de salida.

Bombas de diafragma: Estas bombas desplazan el agua por medio de diafragmas de material flexible y resistente. Las bombas de diafragma son económicas. Cuando se instala una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa el reemplazo de los diafragmas una vez cada dos o tres años. De las misma manera cuando estas bombas hacen uso de motores de corriente continua con escobillas estas deben ser reemplazadas periódicamente. Los juegos de reemplazo incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos. La vida útil de estos equipos es aproximadamente 5 años.

Bombas dinámicas o centrifugas: Las bombas dinámicas añaden simplemente cantidad de movimiento al agua por medio de paletas o alabes ó impulsores que giran a velocidades altas dentro de una carcasa. La fuerza impartida por los impulsores al agua dentro de la carcasa obliga a esta a fluir, desde una entrada al centro de la carcasa, a una salida en su perímetro [Short et al, 2003]. Así se crea una diferencia de presión entre la salida y la entrada

La capacidad de bombeo para vencer una carga hidráulica, es función de la velocidad del impulsor y de la potencia. En arreglos fotovoltaicos donde se llega a tener una disminución en la potencia, la bomba disminuirá su gasto hasta que la potencia suministrada no dé la fuerza suficiente a los impulsores y se parará el bombeo [Sánchez, (S/A)].

Las bombas de succión superficial se instalan a nivel de suelo, teniendo la ventaja de que se

puede inspeccionar y dar servicio fácilmente. Aunque la columna teórica que se puede succionar es de 9 metros, éstas bombas no se recomienda usarlas en fuentes de agua cuyo espejo esté a más de 7 metros medidos desde el centro de la bomba [Sánchez, (S/A)]

Todas las bombas sumergibles están selladas para no permitir que el aceite de lubricación contamine el agua. Otras utilizan el agua como lubricante y no deben ser operadas en seco para evitar sobrecalentamientos [Sandia National Laboratories, 2001].

Controlador:

El controlador es necesario si se usa un motor de CA, estos mejoran el rendimiento de un sistema de bombeo solar de 10% a 15% [Sandia National Laboratories]. El controlador protege al conjunto motor bomba de un funcionamiento en seco, y mantiene el nivel de agua apagando el sistema cuando el tanque esta lleno. Sin embargo uno de los componentes mas vulnerables en un SBSFV es el controlador por su contenido de partes electrónicas sofisticadas y tiene que operar en condiciones ambientales rigurosas [Meah et al, 2006]

3.4 Dimensionamiento de un SBSFV.

Es importante diseñar el sistema de bombeo que permita satisfacer la demanda del vital líquido, para ello el criterio que debe aplicarse radica en la capacidad que tenga éste en vencer una carga hidráulica y proporcionar el gasto de agua requerido. Los datos principales son la carga hidráulica a vencer y el gasto.

Como se describió en la sección anterior las bombas centrífugas y volumétricas ofrecen distintas ventajas para diferentes rangos de aplicación. Sin embargo al momento de elegir un bomba puede ser complicado debido a la gran gama existente en el mercado. Para ello la Ilustración 3.5 indica el tipo de bomba adecuada que se recomienda en general según la CDT del sistema de bombeo.

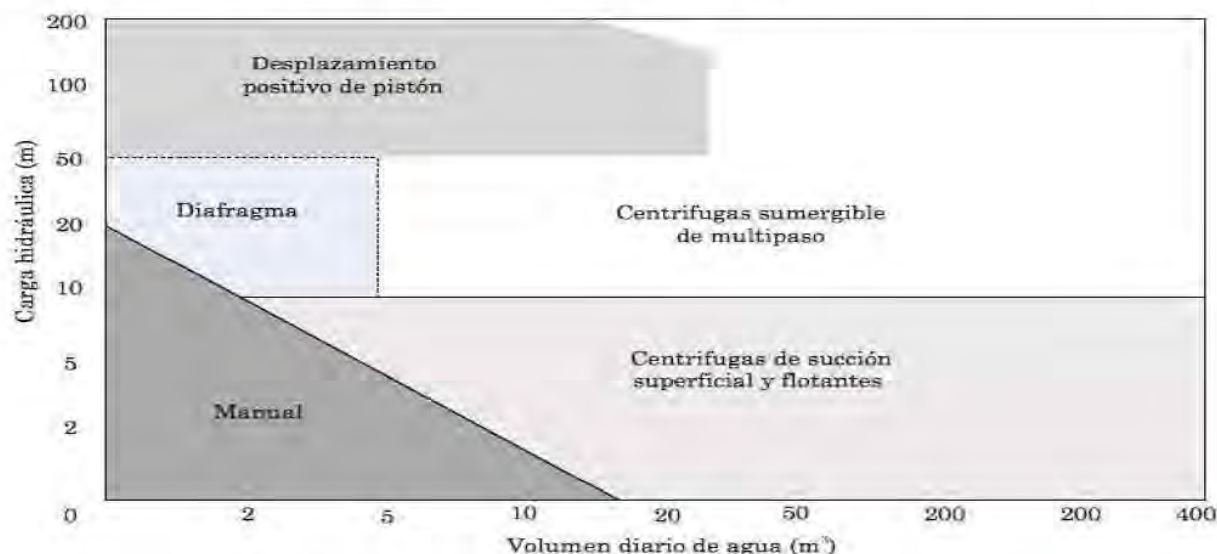


Ilustración 3.5: Diagrama de selección de bombas en función de la carga hidráulica y el gasto

La Tabla 3.3 muestra las ventajas y desventajas de las bombas utilizadas en el bombeo FV.

Tabla 3.3: Comparación entres sistemas de bombeo solar

Bombas Fotovoltaicas	Características y ventajas	Desventajas
Centrifugas sumergibles $\eta=25\%$	Comúnmente disponibles Pueden tolerar pequeñas cargas de arena Pueden utilizar el agua como lubricante Cuentan con motores de CD y de velocidad variable de CA Manejan altos flujos Operan cargas dinámicas grandes Tienen un diseño modular que permite obtener más agua al agregar los módulos fotovoltaicos	Tienen un rango de eficiencia estrecho respecto a la CDT Se dañan si trabajan en seco Deben extraerse para darles mantenimiento Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas
Centrifugas de succión superficial $\eta=15\%$	Comúnmente disponibles Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales Cuentan con motores CD de velocidad variable o CA Manejan altos flujos Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar a más de 8 m.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos
Desplazamiento positivo de pistón $\eta=35\%$	Soportan cargas dinámicas muy grandes La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón	Requiere de reemplazo regular de sellos de pistón no tolera arenas o sedimentos La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos No dan grandes flujos
Diafragma de desplazamiento positivo $\eta=35\%$	Operan a cargas menores de 80 m. Son muy económicas	No toleran arenas o sedimentos No trabajan a cargas dinámicas profundas Proporcionan bajos flujos

Otra de las desventajas de estos sistemas es que son susceptibles a las variaciones metereológicas o de temporada tal como el nivel de agua en el pozo, funcionado el sistema fuera del punto optimo

y se produzcan pérdidas significativas, reduciendo la eficiencia y no satisfacer así la necesidad de agua diaria [Short et al, 2003]

Un sistema de bombeo fotovoltaico SBSFV, es la integración de dos tecnologías para satisfacer una necesidad de agua. La tecnología fotovoltaica que transforma la luz del sol en electricidad y la tecnología del bombeo de agua que transforma dicha electricidad en energía hidráulica para extraer el agua requerida. [Sánchez, (S/A)]

Para un SBSFV no existe una regla general para la elección del tipo de motor, sin embargo existen recomendaciones para utilizar motores de CD para sistemas de poca potencia y de CA para sistemas de mayor potencia o mayor caudal. Otra consideración esta basada en que el desempeño y rendimiento a lo largo del día de un SBSFV dependerá del comportamiento de la radiación solar y la temperatura de operación del arreglo FV.

En el mercado fotovoltaico se encuentran sistemas de potencias que van desde pocos Watts-pico referidos a la potencia nominal del generador FV hasta varios cientos de kWp. Sin embargo las instalaciones se centran en un rango de potencias desde 400 Wp hasta 1400 Wp y rangos de CDT entre 5 y 60 metros a un volumen de agua bombeada menor de 75 m³/día [CIEMAT, 1995].

El sentido de dimensionar un arreglo fotovoltaico es cuantificar el tamaño óptimo del arreglo FV y del sistema motor-bomba para vencer la potencia hidráulica establecida por el proyecto de bombeo, en otras palabras, es hacer un balance energético donde la energía generada por el arreglo FV debe ser igual a la energía a consumir por el sistema de bombeo [Sánchez,]

Si la energía generada por el arreglo se denota por E_{AFV} y la energía eléctrica total a consumir por el sistema es E_{CSB} entonces se establece que:

$$E_{AFV} = E_{CSB} \quad (3.6)$$

En donde E_{AFV} va a depender del tamaño del arreglo, la orientación, la inclinación y del recurso solar, por otra parte E_{CSB} depende de la energía hidráulica a vencer E_H de las eficiencias eléctricas en las líneas de transmisión η_E (esta no debe ser menor a 95%), eficiencia en el acondicionamiento de energía η_A y de la eficiencia en el sistema de bombeo η_{SB} [Sanchez ,].

De la anterior descripción se desprende la siguiente fórmula que permitirá determinar la energía generada por el arreglo FV.

$$E_{AFV} = \frac{E_H}{\eta_E \eta_A \eta_{SB}} \quad (3.7)$$

En la tabla Tabla 3.4 se muestran la eficiencia de cada motor en base a la carga dinámica total. Se puede observar que a una carga dinámica total de 20 a 100 m la bomba centrifuga de paso múltiple tiene una eficiencia del 35%. Siendo la mas eficiente a CDT mayores a 100 m las bombas de desplazamiento positivo de palanca.

Tabla 3.4: Eficiencia en motores a diferentes CDT

Carga dinámica total (m)	Tipo de sistema de bombeo	Eficiencia (%)
5	Centrífuga de superficie	25
20	Centrífuga de superficie	15
20	Centrífuga sumergible	25
20 a 100	Centrífuga de paso múltiple	35
50 a 100	Desplazamiento positivo	35
más de 100	Desplazamiento positivo (de palanca)	45

La potencia eléctrica del sistema va a estar determinada por la siguiente ecuación .

$$P_E = \frac{P_H}{\eta_T} = \frac{9.8QH}{\eta_{SB} \eta_E \eta_A} \quad (3.8)$$

Una vez obtenida la potencia eléctrica con ella se puede estimar la potencia mecánica en HP del sistema de bombeo, mediante la ecuación :

$$P_{MEC}(HP) = \frac{P_E}{746} \quad (3.9)$$

La potencia del arreglo FV, bajo condiciones de operación esta dada como el cociente entre la energía requerida por el arreglo FV E_{AFV} con el recurso solar R_s , expresado en horas pico (h-p), determinado en la ecuación:

$$P_{AFV} = \frac{E_{AFV}}{R_s} \quad (3.10)$$

El siguiente cálculo es determinar la configuración del arreglo FV, que dada por el número de módulos a conectar en serié y paralelo, para sistemas de bombeo [Sánchez] recomienda el uso de módulos de silicio mono o policristalinos de 36 celdas.

Para determinar el número N de módulos en serie a conectar, es importante antes que nada seleccionar el tipo de bomba que va a soportar la CDT y el gasto diario requerido. De las especificaciones del sistema de bombeo se toma en cuenta el voltaje nominal del motor V_N y el voltaje en el punto de máxima potencia de cada módulo V_M

$$N = \frac{V_N}{V_M} \quad (3.11)$$

El número de módulos necesarios que deben ser conectados en paralelo se determina con la corriente eléctrica del sistema de diseño I_D del sistema de bombeo. Para ello se divide la

potencia magnitud de la potencia P_{AFV} entre el voltaje nominal de la carga V_N .

$$I_D = \frac{P_{AFV}}{V_N} \quad (3.12)$$

De acuerdo con Sánchez durante los primeros 5 años de funcionamiento de los módulos, existen pérdidas por depósitos calcáreos que disminuyen la transparencia del vidrio y que son provocados por la acción del polvo y la lluvia, esta pérdida de corriente máxima es de 5%; η_I determina ese factor de degradamiento, y se debe ajustar la corriente del diseño I_{AD} , la cual estará dada por:

$$I_{AD} = \frac{I_D}{\eta_I} \quad (3.13)$$

El número de módulos en paralelo M se determina dividiendo la corriente del diseño ajustada entre la corriente del módulo en el punto máximo de potencia I_M . Si el resultado no es un número entero se recomienda usar otro módulo, ó ajustar al entero más próximo superior ó inferior.

$$M = \frac{I_{AD}}{I_M} \quad (3.14)$$

La potencia del arreglo FV tendrá una magnitud de:

$$P_p(AFB) = N * M * P_p(m) \quad (3.15)$$

y el volumen de extracción de agua diario esta dado por

$$V = \frac{NMV_M I_M R_s 367 \eta_{SB} \eta_E \eta_A}{H} \quad (3.16)$$

Todos los procedimientos de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos para cualquier aplicación se basan fundamentalmente en el concepto de balance de energía. Para el caso del bombeo de agua se han establecido 3 procedimientos que difieren entre si por la manera en que se resuelve el problema.

Uno de ellos se basa en curvas de bombeo, obtenidas de manera empírica (experimental) o por los fabricantes de esos productos; otro se basan en nomogramas de energía obtenidos por la aplicación de las fórmulas de balance de energía; y el último por medio de una hoja de cálculo que lleva al diseñador, paso a paso, a la solución del problema [Sánchez, (S/A)].

De los tres procedimientos y en base a los equipos de bombeo existentes en el mercado, se utilizó

el procedimiento gráfico visual utilizando las curvas de carga dinámica total vs. volumen diario. Los fabricantes usan estas curvas para proporcionar el rendimiento de sus equipos de bombeo. Ésta es expresar la CDT en función del volumen diario de agua obtenida. En este caso el fabricante debe proporcionar las condiciones de irradiancia y orientación del arreglo bajo las cuales fue obtenido el rendimiento [Sánchez, (S/A)]

Esta manera es solamente informativa y sirve de base para seleccionar un modelo de los que están representados.

3.5 Propuesta del SBSFV para el municipio de Temixco

En base a las premisas antes expuestas, se realiza la siguiente propuesta, en ella se pretende evaluar técnica y económicamente el pozo Plutarco, el cual puede ser suministrado mediante energía fotovoltaica.

Para la selección de este pozo se evaluaron tres aspectos, el primero de ellos fue determinar la potencia necesaria para suministrar el volumen de agua diario, y después comparar con los distribuidores de sistemas de bombeo solar. Como la mayoría de los equipos existentes en el mercado están diseñados para aplicaciones aisladas, en donde el gasto es pequeño o las cargas dinámicas son pequeñas, el único pozo que mejor se adaptó a las condiciones de funcionamiento de un SBSFV existente en el mercado fue el pozo Plutarco, con una CDT de 70 m y un gasto Q de 7 l/s.

En la Tabla 3.5 se muestran los parámetros hidráulicos de cada uno de los pozos que están en funcionamiento dentro del sistema de bombeo de agua potable del municipio de Temixco.

Tabla 3.5: Parámetros hidráulicos del sistema de bombeo de agua potable de Temixco

No	Pozo	Gasto Q (l/s)	CDT (m)	Tipo de bomba	Potencia (HP)
1.	Aeropuerto	15	152	Sumergible	30
2.	Santa Ursula	20	-	Sumergible	60
3.	Ayuntamiento 2000	15	-	Sumergible	30
4.	Pueblo Viejo	14	140	Sumergible	40
5.	Morelos	13	130	Sumergible	50
6.	Limonos	8	184	Sumergible	60
7.	Compadres	20	155	Sumergible	75
8.	Plutarco	7	70	Sumergible	40
9.	Geovillas	18	80	Sumergible	30
10.	DIF	15	70	Sumergible	30
11.	Brisas	28	90	Sumergible	75
12.	Sabinos	10	70	Sumergible	15
13.	Apatlaco	50	180	Sumergible	135
14.	Sauces	23	80	Sumergible	50
15.	Alta Palmira	25	170	Sumergible	50
16.	Lomas del Carril	50	-	Sumergible	125
17.	10 de Abril	8	180	Sumergible	30
18.	Acatlipa	9	165	Sumergible	150

Descripción del Pozo:

El pozo de agua potable “Plutarco” denominado así por estar ubicado en la Avenida Plutarco Elías Calles S/N, a un costado del río Pilca y cuyas coordenadas geográficas son latitud: 18.83' Norte; longitud: 99.22 Oeste, muy cerca del CIE-UNAM ver Ilustración 3.6.

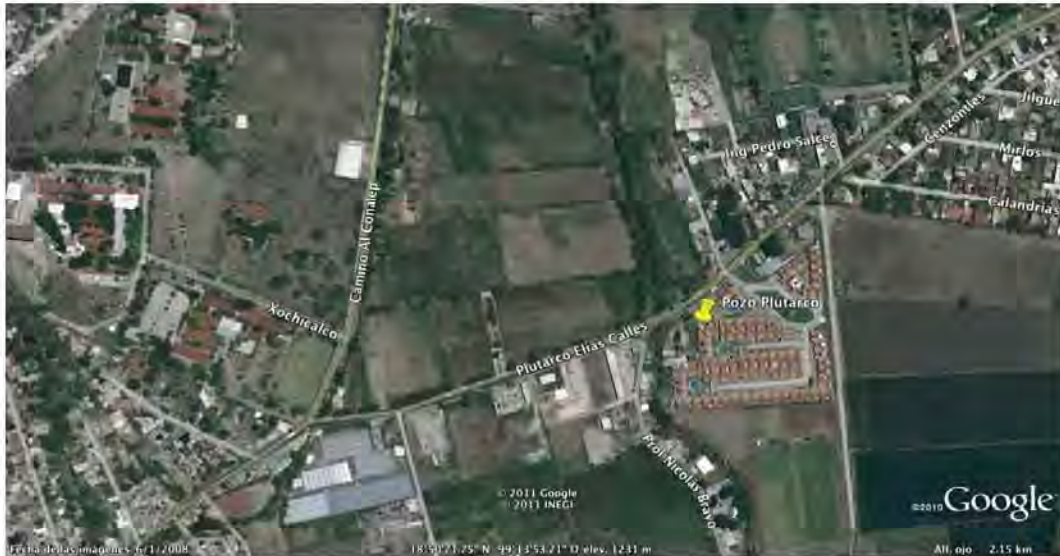


Ilustración 3.6: Ubicación del pozo Plutarco

Actualmente el sistema de bombeo de agua potable funciona mediante una bomba de tipo sumergible con una eficiencia del 66 %, dato proporcionado por SCAPSATM. Las características técnicas del equipo instalado son:

BOMBA:

Marca: KSB
Modelo: UMA 150-30
V de operación: 440 VCA
Amperaje: 47 A
HP: 30HP

ARRANCADOR:

Marca: SIEMENS
Tipo: K981
V de operación: 440 VCA
H.P.: 40 HP

CABLE:

Metros: 45 m
Calibre: 3x1/0
Tipo: sumergible

TRANSFORMADOR

Tipo: Aceite
 Marca: C-E
 K.V.A: 75 KVA
 Fases: 3
 V de operación: 440/23000 VCA

INTERRUPTOR

Tipo: termomagnético
 Marca: SIEMESN
 Fases: 3
 Amperaje: 100 A
 Voltaje: 440 VCA

TUBERIA

Tipo: Acero
 Metros: 39.65
 Diámetro: 6”
 No de tramos: 13

COMPENSADOR DE ARRANQUE

Tipo: C93005-34
 Marca: SIEMES
 H.P: 75 HP
 V de operación 440 VCA

Los parámetros hidráulicos que definen el pozo Plutarco, y que son fundamentales para determinar el tamaño del sistema de bombeo de agua se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: Parámetros hidráulicos que caracterizan al pozo Plutarco

Parámetros hidráulicos	
Gasto Q	7 l/s
CDT	70 m
Profundidad total	75 m
Profundidad de abatimiento	13 m
Diámetro de perforación	17.5 in
Diámetro de ademe	12 in
Horas de operación	24 h
Volumen requerido al día	604.8 m ³

Si bien el pozo Plutarco beneficia a una parte de los habitantes del municipio de Temixco con el vital líquido, uno de los costos asociados para poder brindar este servicio, es la energía eléctrica que consume el sistema.

De los datos obtenidos a través del sistema INFORMEX y de las facturas energéticas, en la

Ilustración 3.7 se muestra el consumo histórico mensual de energía eléctrica del pozo Plutarco, en el periodo enero 2007 a agosto 2009. En ella se observa un incremento anual (del 79% de 2007 a 2008). Existen varios factores relacionados con un incremento en el consumo de energía, el primero de ellos a un aumento en la demanda de agua potable, un bajo factor de potencia y disminución en la eficiencia en los equipos [CONAGUA, 2003]. Aunado a eso se puede observar que los mayores incrementos de dan en los meses de estiaje.

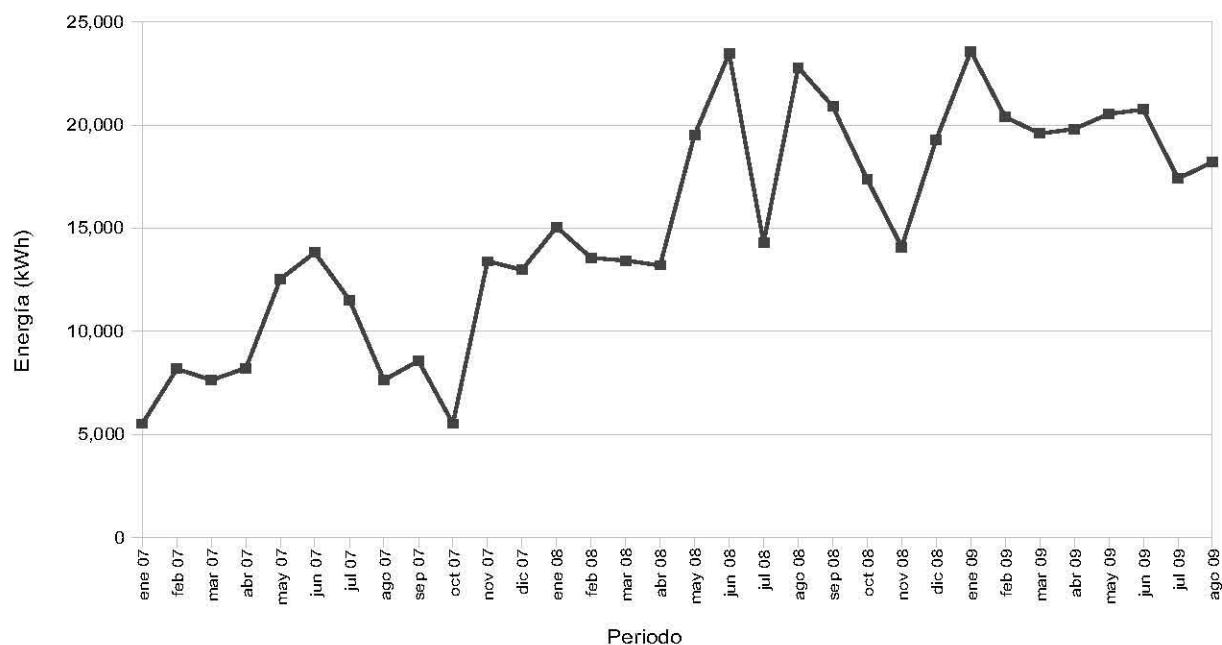


Ilustración 3.7: Distribución del consumo de energía eléctrica del pozo Plutarco (2007-2009)

Derivados del consumo de energía eléctrica, los costos del bombeo depende de la tarifa contratada, que para servicios públicos es la 06, que es para servicio de bombeo de agua potable o negras. Esta compuesta por un cargo fijo y un cargo por la energía consumida, aplica al suministro tanto en media como en baja tensión [SENER, 2008].

Si bien el precio medio de la tarifa 06 ha tenido un incremento de un 1.3% pasando de los 1.35 \$/kWh en 2008 a 1.36 \$/kWh en 2009, esta cuenta con subsidios que conjuntamente con la tarifa 5A de alumbrado público, en 2007 ascendieron a \$1,283 (millones de pesos). El pago por la energía no refleja el costo real.

Del pozo Plutarco la facturación histórica mensual del periodo enero 2007-agosto 2009 se muestra en la Ilustración 3.8. Estos costos se expresan en dólares moneda constante del 2007 para poder analizar de manera detallada los incrementos sin tomar en cuenta los efectos de inflación.

Los egresos del sistema de bombeo de agua potable del pozo Plutarco muestran un incremento notable en la facturación, que si se comparan los meses de enero entre 2007 y 2008 hay un incremento de poco mas del 150% y 2008 con 2009 hay un incremento de poco mas del 80% en los

egresos por consumo de energía eléctrica. Además de que se observa que los mayores incrementos se dan en los meses de estiaje.

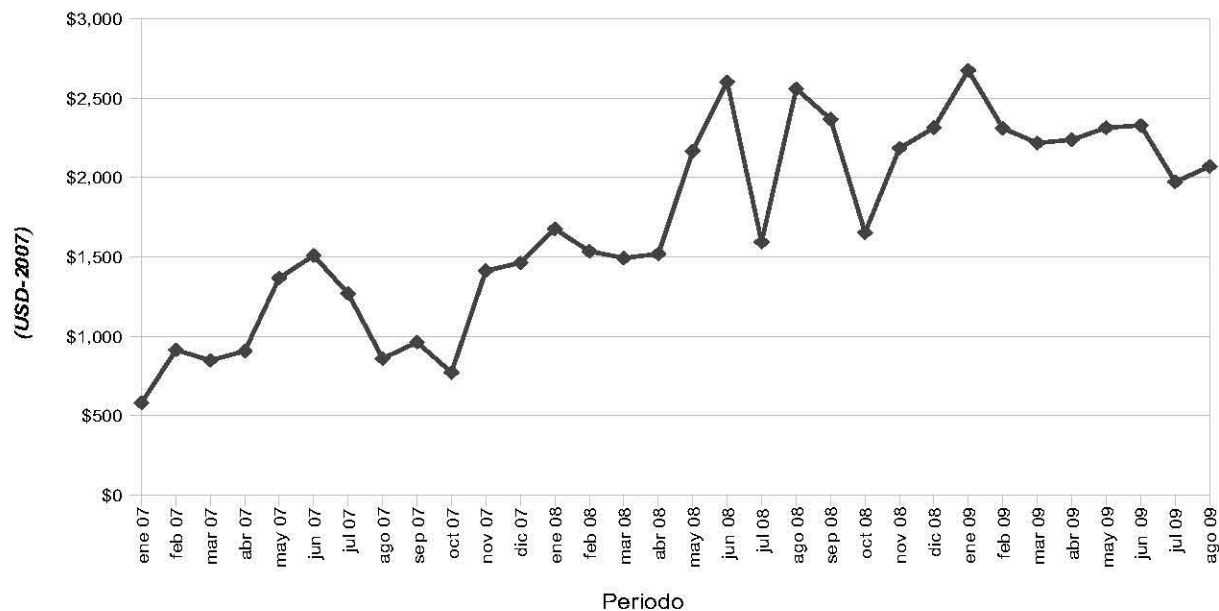


Ilustración 3.8: Facturación histórica del pozo Plutarco de (2007-2009)

Una vez analizada la facturación, queda demostrado los incrementos en el consumo de energía eléctrica y en sus costos. De todo el sistema de bombeo de agua potable, el pozo Plutarco representa poco más del 4.5 % del consumo total de energía eléctrica y de la facturación. Si bien es un porcentaje pequeño el análisis de sustitución de el equipo actual por el sistema FV puede traer consigo beneficios energéticos, económicos y ambientales.

3.6 Análisis técnico-económico de sustitución del sistema actual por el SBSFV y reducción de emisiones de CO₂

Con los datos hidráulicos proporcionados por SCAPSATM y siguiendo la metodología presentada por [Sánchez,] descrita en la sección anterior, se realizó en primer lugar el dimensionamiento del SBSFV y después el análisis económico.

El dimensionamiento del sistema se realizó utilizando la metodología antes expuesta. Mediante el procedimiento gráfico utilizando las curvas de gasto contra CDT que proporciona el fabricante de bombas.

Lo primero es seleccionar el tipo de bomba a utilizar, para ello se utilizó la Ilustración 3.6, de la cual se determina que para una CDT de 70 m y un volumen diario de 604.8 m³. La bomba que se mejor se adapta a estas condiciones hidráulicas es la centrífuga sumergible.

El siguiente paso, de los fabricantes de bombas FV sumergibles se eligió la más adecuada para los requerimientos de agua diaria y la CDT del pozo. En la literatura se menciona que en proyectos de bombeo SF no es viable económicamente si el CH es mayor o igual a $1,500 \text{ m}^4$, y se recomienda el uso de energía eólica para valores de energía hidráulica mayores de $1,500$ hasta $2,250 \text{ m}^4$ esto siempre y cuando exista el recurso del viento; y para valores mayores a $2,500 \text{ m}^4$ son económicamente factibles los sistemas diesel [Sánchez].

En el caso del pozo Plutarco el ciclo hidráulico es de $9,702 \text{ m}^4$, que esta por encima de los valores mencionados. Lo que se decidió en este caso fue suponer que el requerimiento diario de agua podría ser suministrado por dos fuentes de energía: por un lado, parte del requerimiento del agua potable va a ser proporcionado por el sistema FV durante las horas de insolación; y el resto del requerimiento de agua sería suministrado mediante la energía eléctrica de la red.

En el mercado existe una gran variedad de compañías que ofrecen sistemas de bombeo FV, sin embargo la mayoría de estos equipos están pensados para aplicaciones en comunidades aisladas, uno de los fabricantes de equipos con mayor capacidad de demanda y CDT es la empresa alemana LORENTZ, cuyo modelos de bombas centrifugas sumergibles se propone como opción de sustitución del equipo convencional que esta instalada en el pozo Plutarco.

Al momento de seleccionar un SBSFV se deben tomar como recomendaciones el no seleccionar un sistema en base a los bajos costos de cada uno de sus componentes para no comprometer el rendimiento, haciendo que poco probable el funcionamiento optimo [Short et al, 2003]

En la gráfica Ilustración 3.9 se muestra la curva de CDT contra volumen diario, en ella se ve tres curvas para diferentes tipos de bombas, la PS 9K, PS 15K y la PS 21K, a una insolación de $6 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ y un recurso solar de 8 hp utilizando seguidor solar. Al trazar en el eje horizontal el valor de la CDT de 70 m , nos encontramos que cada bomba proporciona un volumen aproximado de 130 , 230 y $330 \text{ m}^3/\text{día}$ respectivamente.

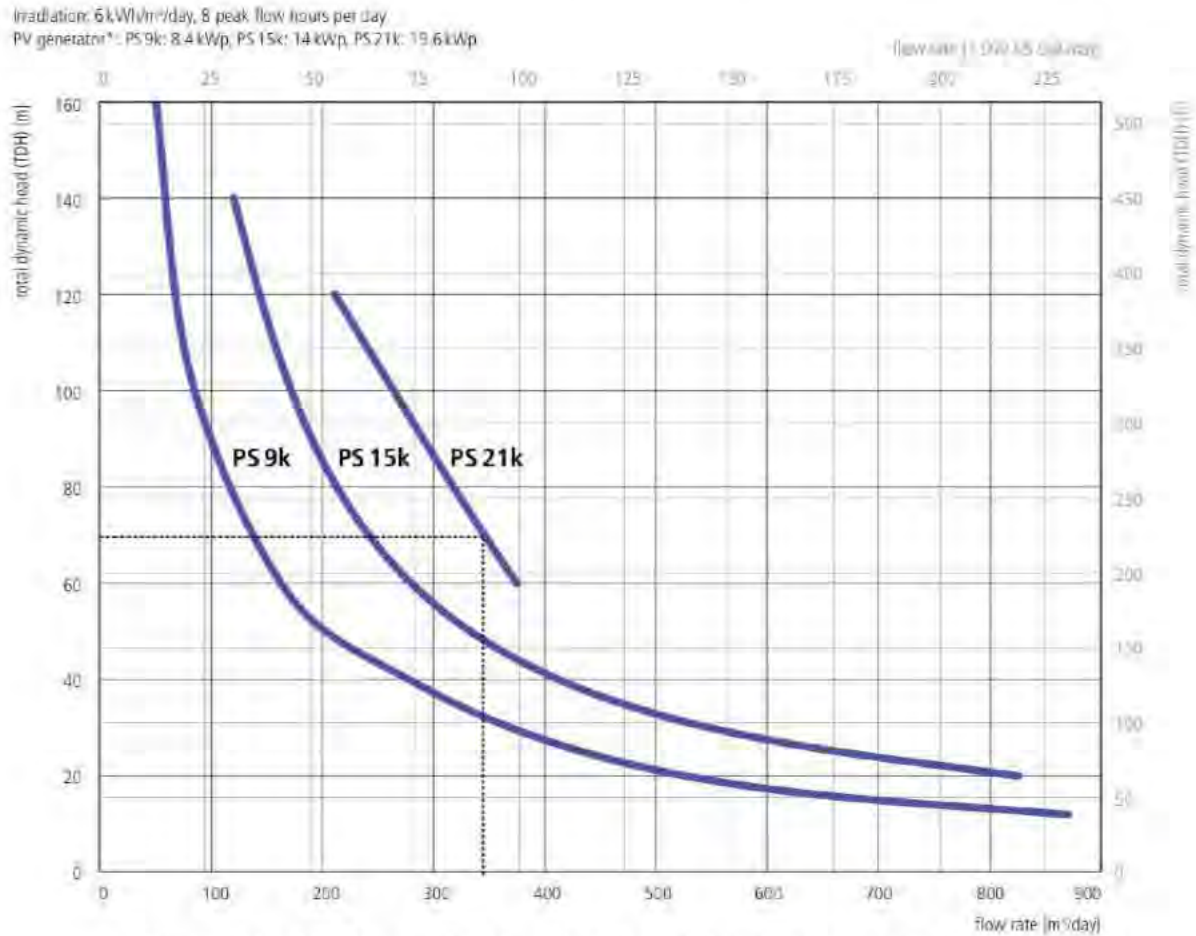


Ilustración 3.9: Curva de selección de modelos de bombas marca LORENTZ

De las tres bombas la que mayor volumen diario de agua proporciona es la PS 21k, los otros dos modelos podrían llegar a ofrecer más de 600 m³/día pero a una CDT menor a los 30 m, la solución a este problema podría plantearse conectando 3 bombas en serie que proporcionen el mismo flujo pero que sumen la CDT para alcanzar los 70 m deseados, cosa que incrementaría el costo del SBSFV.

Por lo tanto se decidió elegir la bomba PS 21k, con ello se solicitó la cotización del equipo con el distribuidor en México Solartronic S.A. de C.V. Con los requerimientos hidráulicos enviados al proveedor se obtuvo la siguiente distribución del suministro de agua ver (Ilustración 3.10). La simulación proporcionada por la empresa se hizo tomando en cuenta la insolación de Temixco.



Ilustración 3.10: Suministro de agua potable con el modelo SP-21k de la marca LORENTZ.

Se puede observar que para un volumen de agua de 604,800 m³, el SBSFV puede proporcionar en promedio 366 m³, a medida que el sistema recibe mas radiación se ira bombeando mas agua. El gráfico de abajo muestra el promedio anual y mensual de bombeo de agua.

Por lo tanto el SBSFV no puede proporcionar el total del volumen requerido diario, y se requerirá el uso adicional de energía eléctrica para satisfacer la demanda diaria, ante esta situación el fabricante nos informó que este equipo puede ser conectado a una fuente de energía en AC, mediante una conexión directa al motor, sin pasar por el controlador.

De esta premisa se hace la suposición de que el equipo puede funcionar con energía eléctrica de la red, cuando no se cuente con el recurso solar y así poder suministrar el volumen diario de agua. Al no ser un sistema 100% autónomo, este consumo va a representar costos en facturación que deberán tomarse en cuenta al momento de hacer el estudio económico. La Ilustración 3.11 muestra el volumen de agua a suministrar con energía eléctrica de la red.

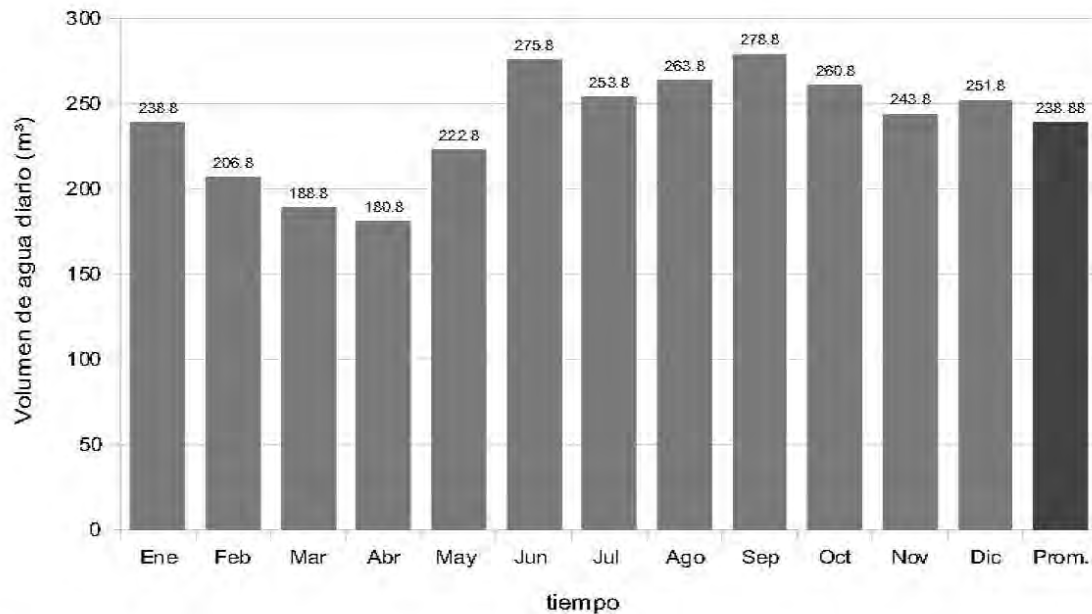



Ilustración 3.11: Volumen promedio de agua faltante a ser suministrado por el sistema

En el Anexo 5 se muestra la cotización del SBSFV cuyas integración de sus partes esta formado por: una bomba centrífuga sumergible modelo C-SJ30-16, controlador PS 21K, sensor de nivel de agua, seguidor solar Etatrack active 2000-A, módulos FV monocristalino LORENTZ L175Wp, Cables conectores, Cables sumergibles, cajas de conexión, módulos FV Suntech STP 010S-12/Kb monocristalino 10Wp.

En la Tabla 3.7 se muestran las características de los componentes mas importantes.

Tabla 3.7: Especificaciones técnicas de los componentes del SBSFV

Controlador PSK AC	
Controlador de sistema de bombeo y operación de estado	
Instalación en superficie	
Restablecimiento automático después de que el sensor apaga la bomba	
Control de selección de velocidad (Máxima y Mínima velocidad)	
Seguidor del puto de máxima potencia (MPPT)	
Entrada: Voc 750 V CD Vpm 500 V DC	
Salida: 400 V CA, 3 fases, frecuencia 50/60 Hz	
Eficiencia máxima: 96%	
Temperatura ambiente: de -10 a 45 °C	

Bomba C-SJ30-16

Centrifuga de acoplamiento directo
 Válvula de retención
 Material: acero inoxidable AISI 304, y caucho
 Máximo contenido de arena: 50 g/m³, a mayor contenido se reduce la vida considerablemente
 Máximo contenido de sal: 300-500 ppm a máximo 30°C/85°F
 pH: valores de 6-9
 Alta expectativa de vida



Motor Franklin 6"

Voltaje nominal 3 fases a 400 V CA
 Potencia de operación 15 kW
 Frecuencia 50/60 Hz
 Resistente a la corrosión
 Eje y brida de acuerdo a norma NEMA
 Devanados sellados herméticamente
 Lubricación por agua
 Máxima profundidad de inmersión: 700 m
 Máxima temperatura de agua: 30°C
 pH: 6-9
 Protección contra el contacto y penetración de agua IP68



Modulo FV LC 175-24M

Silicio monocristalino
 Potencia: 175Wp
 Tolerancia ± 10/-5
 Corriente I_M 5 A
 Voltaje V_M 35 V
 Celdas en serio 72
 Celdas en paralelo 1
 Certificado ISO 9001:2000 en manufactura
 Cumplimiento con normas IEC y CE
 Dimensiones 808x1,580x35 mm



Seguidor solar ETATRACK active 2000-A

Superficie total de módulos 20.5 m²
 Sensor de luz
 Bajo consumo de energía 1.5 kWh/año
 Libre de mantenimiento
 Angulo y eje ajustable de 0-45°
 Módulos por seguidor 16
 Requiere de módulo adicional para su operación de 10Wp



El análisis económico se puede dividir en dos categorías: para países desarrollados y países en

desarrollo. Los SBSFV han demostrado ser financieramente sostenibles en lugares remotos en los países desarrollados [Meah et al, 2006].

En la literatura se reportan varios estudios en el cual se comparan SBSFV con sistemas de bombeo a base de Diesel, mostrando como resultado la viabilidad de los sistemas solares, en este caso se propone analizar el SBSFV con el sistema de bombeo conectado a la red eléctrica.

Para la realización del análisis económico de sustitución del equipo actual por el SBSFV, se proponen las siguiente consideraciones:

- El análisis financiero de sustitución se realizo solo para el pozo Plutarco, esto por tener una CDT , un gasto y un volumen de agua que pueden soportar los sistemas existente en el mercado.
- El periodo de estudio para este caso es de 20 años, considerando la vida útil de los módulos FV, [Odeh et al, 2006].
- Dentro del periodo de estudio, la política de reemplazo para los equipos con un tiempo de vida útil menor para la: Bomba y controlador 10 años, cableado 10 años, estructura 20 años [Odeh et al, 2006].
- Se asume un 1% de la inversión inicial los costos de operación y mantenimiento al año.
- Se asume un valor de salvamento para todos los componentes de cero [Odeh et al, 2006].
- Se consideran los costos de inversión, de reemplazo, de operación y mantenimiento constantes a lo largo del periodo de estudio, es decir que aumentarían al mismo ritmo de la inflación. Los costos de O y M podrían reducirse al utilizar recursos locales como lo afirma [Meah et al, 2006]
- El análisis se realizó en dólares moneda constante al 2007, para no incluir los efectos de inflación.
- Los indicadores a evaluar fueron: VPN, AE, PR, TIR, CEA, relación beneficio/costo, los parámetros a utilizar se muestran en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Parámetros financieros a utilizar en el análisis económico

Tasa de rendimiento mínima atractiva	10%	
Tipo de cambio técnico	\$ 12.03 USD	Fuente COPAR 2009
Año base de estudio	2007	
Precio medio de energía eléctrica en tarifa 06	\$ 0.08 USD-2007	Fuente CFE

Para el análisis económico fue necesario diseñar una herramienta de cálculo en excel, que permita evaluar cada indicador para el sistema FV, así como el beneficio ambiental y social (ver anexo 6).

En el caso del pozo Plutarco y en base a la cotización del equipo, el monto total de la inversión inicial que ascienden a \$ 147,877.86 dólares, Esta inversión incluye el costo del equipo FV. [Purohit, 2007] sugiere que para que los SBSFV sean rentable en los países en desarrollo el gobierno deber subsidiarlos.

Siguiendo la política de reemplazo en base a la vida útil de los equipos, se va a requerir un recambio en el año 10 de la bomba, controlador, cableado, cuerdas de seguridad y sonda de nivel, esto por una cantidad de \$28,889.7 dólares.

Para el caso del sistema convencional, se va a dar un reemplazo de la bomba conjuntamente con el cableado a los 10 año, con un costo de \$ 3,775.55 dólares.

Los resultados del análisis económico de la comparación del SBSFV contra el sistema de bombeo actual mostrados en la Tabla 3.9, muestra que el VPN del SBSFV es menor al sistema actual, esto quiere decir que los costos asociados a este sistema a lo largo de los 20 años de periodo de estudio son menores.

En relación a la AE de ambos sistemas, los resultados arrojaron que es muchos mas económico mantener el SBSFV aun incluyendo los costos de energía eléctrica que se consumen para satisfacer la demanda de agua potable restante que el recurso solar no es capaz de suministrar.

El PR para este equipo resulto ser de poco mas de 5 años y medio, lo que significa que se va a tener un periodo de por lo menos 14 años de beneficios por el uso del SBSFV.

El costo incurrido por ahorrar una unidad de energía o costo de energía ahorrada resulto ser la mitad del el costo que resulta al comprarla a la red que es de \$0.08 dólares.

La TIR resulto ser de 16%, mayor a la tasa de rendimiento mínima atractiva, que para el estudio de caso fue de 10%.

La energía ahorrada que se obtiene al hacer implementación del SBSFV por el sistema de bombeo actual, resulta ser benéfica con un resultado de poco mas del 80%. Al analizar la energía ahorrada considerando todo el sistema en su conjunto, este resulta ser de 4.5%.

Tabla 3.9: Resultado de indicadores económicos para ambos sistemas

Indicador	Bombeo FV	Bombeo actual
VPN (USD-2007)	-205,425	-268,271
AE (USD-2007)	-24,129	-31,511
PR (años)		5.7
Costo de energía ahorrada (c/USD-2007)		\$0.04
TIR (%)		16
Energía ahorrada (kWh/año)		192,394
Energía ahorrada (%)		81
Relación beneficio/costo		1.31

El impacto financiero que lo va a dar la relación beneficio/costo, resultó ser mayor 1, esto indica que los ingresos (o beneficios), son mayores a los costos. De acuerdo a los criterios de selección todos los indicadores calculados dan como resultado que el SBSFV es una buena opción para la sustitución.

Reducción de emisiones de CO₂

Uno de los beneficios asociados al uso de tecnologías que aprovechan recursos renovables como lo es el sol, es el de dejar de emitir gases contaminantes a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles. La tecnología fotovoltaica es una de ellas, que aplicada al sistema de bombeo de agua potable como el del municipio de Temixco, traerá una buena imagen y contribuirá a mitigar el calentamiento global.

Aparte de los beneficios económicos, sociales y energéticos, que trae consigo la implementación del SBSFV, el beneficio ambiental asciende a 100.04 tCO₂ evitadas, esto es poco más del 80% respecto al sistema de bombeo actual. Analizando todo el sistema de bombeo de agua potable, la inclusión de la tecnología FV en el pozo Plutarco resultaría en una disminución del 4.5% del total de emisiones de CO₂.

CAPÍTULO 4. Resultados globales y Financiamiento

En este capítulo se describen los resultados globales obtenidos del análisis técnico-económico de sustitución de equipos en el Municipio de Temixco, sistema de alumbrado público y en el pozo Plutarco. Esto con el fin de mostrar un panorama global de consumo y reducción de energía eléctrica, así como la reducción de emisión de CO₂ que contribuye en pequeña medida la mitigación del cambio climático.

4.1 Resultados técnico-económicos.

En su conjunto, el alumbrado público, el bombeo de agua potable y las oficinas municipales, son las tres áreas con un consumo de energía eléctrica promedio de 11,316 MWh al año, del cual el sistema con mayor contribución es el alumbrado público con un 57.5% básicamente esta contribución se atribuye al uso masivo de lámparas y al tiempo de encendido de las mismas, con un 40.3% el bombeo de agua potable se ubica como el segundo sistema con mayor consumo de energía eléctrica, y esto debido a la constante demanda del vital líquido. Por último y en menor proporción, con un 2.2% en el consumo de energía eléctrica las oficinas municipales se clasifican en tercer lugar.

En la Ilustración 4.1 se observa la evolución del consumo de energía eléctrica global para el periodo de enero-2008 a sep-2009, en ella se aprecian oscilaciones entre los 800 y los 1,200 MWh, De la misma manera se pueden observar fechas donde los consumos se han disparado por arriba de los 1,000 MWh mensuales.

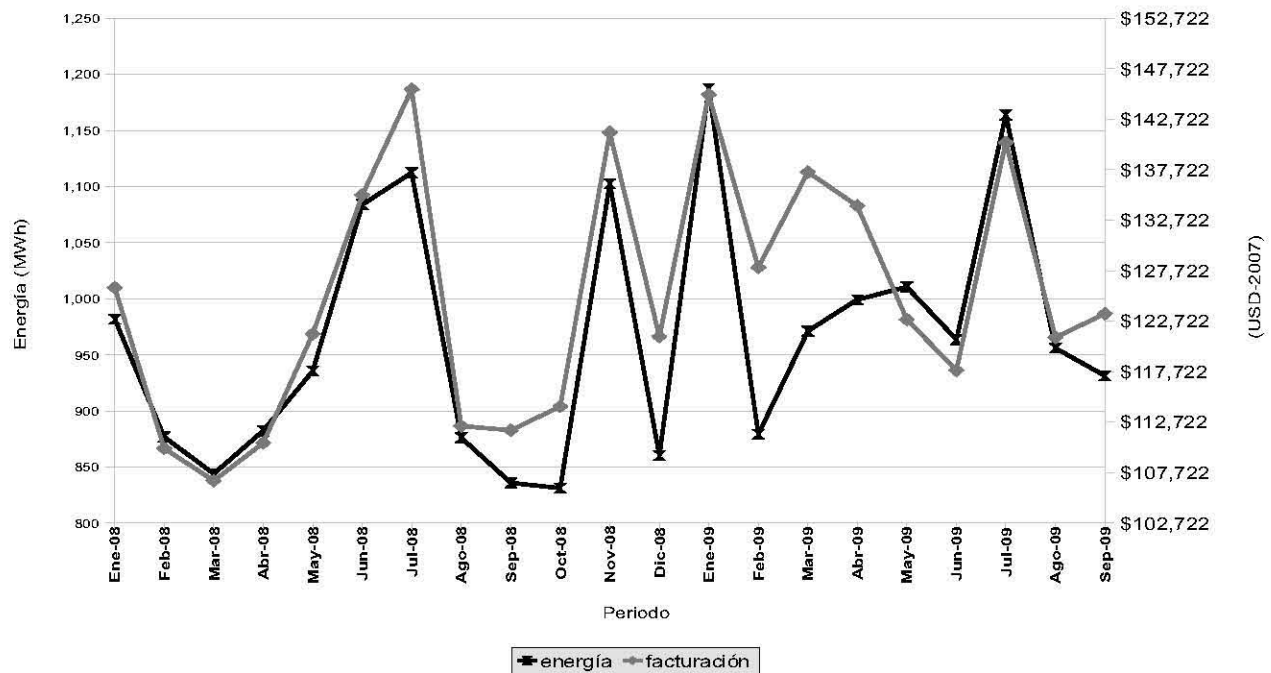


Ilustración 4.1: Consumo de energía eléctrica global municipal. (periodo Enero-08 a Septiembre-09)

La facturación de energía eléctrica global derivada del consumo en las tres áreas, se presenta en la Ilustración 4.1 para el periodo enero-2008 a septiembre-2009, expresada en dólares americanos, en moneda constante tomando como base el año 2007. En la gráfica se observan incrementos y caídas muy pronunciadas en los egresos mensuales dentro del rango de los \$105,000 a los \$146,000 dólares.

En términos generales, el consumo de energía eléctrica a nivel global representa importantes egresos por dicho concepto, que de una manera u otra afectan las finanzas públicas del municipio de Temixco, cada vez que estos se incrementan.

Tan solo para el periodo del 2008 el consumo de energía eléctrica fue de 11,223 MWh¹⁸ y parte del 2009 de 9,063 MWh. Este consumo provocó egresos en 2008 de \$1,457,298 y para 2009 de \$1,170,594 dólares. Una cantidad sumamente alta si consideramos que un municipio no es una entidad con fines de lucro.

Para contrarrestar los altos consumos de energía y la facturación que ello representa, en esta sección del capítulo se presentan las opciones de mitigación las cuales permitirán a los integrantes del cabildo realizar un plan emergente para el ahorro de energía eléctrica en el municipio de Temixco.

En una fase de sustitución masiva de equipos tanto en iluminación, equipos de cómputo, de climatización, y bombeo solar fotovoltaico, el municipio de Temixco requeriría de una inversión estimada de \$441,329 dólares. Sin embargo es un costo muy elevado el cual difícilmente puede ser cubierto por el ayuntamiento, es por eso que se propone una sustitución por fases, dependiendo de las bondades de cada tecnología a sustituir.

Partiendo de la premisa que indica la viabilidad de sustitución de la tecnología actual por una más eficiente en base a los criterios de selección de cada indicador económico, surge la siguiente pregunta ¿Que oportunidad de inversión debe seleccionarse? Para responder esta pregunta, es necesario proponer alternativas de selección.

Las alternativas de selección es la clasificación de las propuestas en base a un criterio propuesto, el cual indica de manera cualitativa y cuantitativa el grado de implementación de una medida, en este caso, se clasifican las propuestas de ahorro de energía eléctrica en altamente rentables, rentables, medianamente rentables y medidas inviables.

La clasificación se realizó tomando en cuenta los resultados del análisis técnico-económico, pudiendo así determinar tanto en iluminación, equipos ofimáticos y bombeo solar fotovoltaico la mejor opción de acuerdo al grado de beneficios obtenidos.

De manera global, en el sistema de iluminación (alumbrado público e iluminación en el palacio municipal), se presentan alternativas de sustitución conformadas por lámparas de vapor de sodio en alta presión, lámparas fluorescentes lineales, lámparas fluorescentes compactas y lámparas LEDs. En cuanto a los equipos ofimáticos se evaluaron tanto computadoras de escritorio, impresoras, copiadoras, equipos de aire acondicionado, ventiladores, despachadores de aguas, y

18 El consumo de energía engloba alumbrado público, bombeo de agua potable y en edificios municipales solo se incluye el consumo del Palacio Municipal y se excluyen el resto de las dependencias.

en el sistema de bombeo de agua potable se evaluó el caso de sustitución de un sistema de bombeo convencional por un SBSFV

De todas las medidas analizadas y propuestas en esta tesis, se deberán implementar de forma más inmediata aquellas que sean lo más rentable posible. En este sentido existen medidas asociadas a la optimización que suelen contar con menores tiempo de recuperación de la inversión, lo que las hace especialmente interesantes para ser implementadas.

En este sentido se establece el siguiente criterio:

Medidas altamente rentables:

Son las medidas consideradas como susceptibles a su implementación en una primera fase siendo previsible en tales casos un alto grado de retorno de la inversión, y un ahorro económico importante que puede ser utilizados para la implementación de medidas en una segunda fase.

Dentro de esta clasificación resulta interesante ver que las tecnologías enfocadas a satisfacer las necesidades de iluminación son las ideales para ser catalogadas como altamente rentables. En este caso el alumbrado público sería el primer beneficiado con la implementación de lámparas de Vapor de Sodio de Alta Presión.

Como se analizó la comparación por tipo de tecnología sólo, entran dentro de esta categoría la sustitución de lámparas de VSAP por Incandescentes de 500 W, Vapor de Mercurio 250 W, Incandescentes de 150 W, Vapor de Mercurio de 175 W, Vapor de Mercurio de 400 W, Mixtas de 250, Aditivos metálicos.

La ventaja que tienen la implementación de lámparas de VSAP, es que presentan tiempos de retorno de la inversión muy cortos que van desde 0.05 a 0.51 años. Aunque no es muy recomendable considerará el PR como indicador único para la selección de alternativas, el resto de los indicadores presentan resultados favorables a las lámparas de VSAP.

El costo total de la inversión requerida para la adopción de estas medidas, asciende a los \$ 152,087 dólares, sin embargo siendo esta un poco elevada, los ahorros resultado de la comparación con las tecnologías actuales en VPN son de \$814,388 dólares y un ahorro en costos anuales (VAE) de \$132,537 dólares, estos ahorros significativos generados a una TIR que supera el 100% son de gran utilidad para la consecución de la implementación del siguiente grupo de medidas de ahorro de energía eléctrica, que están catalogas como rentables.

Otro indicador que demuestra la bondad de las lámparas de VSAP es la relación B/C. Podemos observar que la rentabilidad es mayor al costo de capital, entendida la rentabilidad como el ahorro obtenido por el pago del consumo de energía eléctrica. En orden prioritario las lámparas de VSAP de 250W presentan la mayor relación B/C, le siguen las de 100, 150 y 70 Watts.

Medidas de rentables:

Las medidas catalogadas como rentables, cumplen con los criterios de selección impuesto para cada uno de los indicadores económicos evaluados, uno de ellos, de menor peso pero que financieramente repercute mediata o inmediatamente en las arcas municipales es el tiempo de

recuperación de la inversión. Subsecuente a las medidas altamente rentables, las medidas rentables ofrecen la ventaja de recuperar la inversión en periodos que van de 0.56 años, hasta 1.7 años.

Es un periodo corto que aportará beneficios económicos, dentro del periodo de 3 años que dura una administración municipal.

Esta propuesta como segunda fase de implementación, con el fin de que el ahorro generado por la implementación de las tecnologías catalogadas como rentables puedan funcionar como un mecanismo de autofinanciamiento para la implementación de las medidas medianamente rentables.

Dentro de las medidas, la iluminación acapara un gran sector, también hay equipos de oficina como despachadores de agua y de climatización.

En iluminación las mejores tecnologías son las lámparas de VSAP de 70, 150 y 250 Watts, estas muestran beneficios en un plazo de medio año. De la misma manera las lámparas fluorescentes lineales T-8 de 17 Watts son una atractiva opción de sustitución, ya que el retorno de la inversión resulta ser atractivo en un corto plazo de poco más de un año.

Las lámparas fluorescentes compactas de 14 Watts además de satisfacer una necesidad visual sin comprometer la actividad laboral, son una buena opción cuando son comparadas con las lámparas incandescentes, y aún por su alto precio en el mercado, las LFC retornan la inversión en 0.8 a 1 año.

Con una gran ventaja en el ahorro energético y económico los despachadores de agua, entran en esta categoría, ya que en el corto tiempo de 1 año y 3 meses se verían reflejados los beneficios financieros producto del ahorro energético.

En materia de confort térmico el aire acondicionado tipo cuarto dividido (minisplit), es una medida atractiva, que comparada con el aire acondicionado actual, es mucho más eficiente y provee el mismo confort térmico a un costo menor, y aun siendo cara la sustitución los beneficios se dan en un periodo relativamente corto de 1 año y 8 meses.

El monto total de inversión de estas medidas asciende a los \$ 20,249 dólares, la cual sin duda alguna es menor a las medidas catalogadas como altamente rentables cuyos ahorros económicos obtenidos en un muy corto plazo servirán para implementar estas medidas sin ninguna complicación, generando así ahorros en VPN de \$ 226,263 dólares y ahorros en los costos anuales son de \$ 36,930 dólares.

Otra ventaja que tienen las medidas rentables es la interesante relación B/C, la cual es de las mejores. En primer lugar estarían las medidas en iluminación con las lámparas de VSAP, las lámparas fluorescentes compactas, fluorescentes lineales y las lámparas LEDs con una relación B/C que va de 3 a 14. En un punto intermedio los equipos de oficina y de climatización presentan una relación B/C de 4.7 y 3.6 respectivamente

Medidas medianamente rentables.

Dentro de estas medidas se encuentran la mayoría de los equipos ofimáticos, y también equipos de climatización como es el caso de los ventiladores, las impresoras, los equipos de cómputo, un número reducido de lámparas fluorescentes lineales T-8 y el SBSFV.

Resultado del análisis económicos, al municipio le resultaría bastante factible implementar estas medidas, en una tercera etapa, cuyo financiamiento, puede provenir de los ahorros generados por las tecnologías implementadas de una primera y segunda fase, o por instituciones financieras. La inversión requerida para la implementación de estas medidas, ascienden a los \$245,192.5 dólares, siendo las mas económicas las lámparas fluorescentes lineales T-8, luego las impresoras de inyección de tinta, le siguen los ventiladores, las computadoras y por ultimo el SBSFV cuya inversión representa el 65% del total.

Los ahorros económicos que se generarían de la implementación de estas medidas son mucho menores a los ahorros generados por las medidas rentables y altamente rentables Estos ahorros son del orden de los \$62,861 dólares en VPN, y los ahorros anuales del orden de los \$7,500 dólares. Siendo el SBSFV el que mayores ahorros económicos generaría, sin duda alguna es el reflejo de un importante ahorro en el consumo de energía eléctrica de poco mas del 80%, las computadoras de escritorio quedan en segundo termino, luego las lámparas fluorescentes lineales T-8 y con menos ahorros económicos las impresoras de inyección de tinta quedan en último lugar.

Para determinar la conveniencia de la sustitución de equipos en termino de los costos y los beneficios, estas medidas tienen una relación B/C menor a las medidas catalogadas como altamente rentables y rentables, sin embargo cumple el criterio $B/C > 1$. El SBSFV resultó ser el que mayor relación $B/C = 1.4$, las impresoras de inyección de tinta le siguen, los ventiladores, las lámparas fluorescentes y por ultimo las computadoras de escritorio presentan una relación $B/C = 1.04$ que podría darle el significado a una indiferencia hacia la sustitución de esta, sin embargo los ahorros energéticos generados por si mismo justifican la sustitución.

Medidas catalogadas inviables.

Estas medidas están catalogadas de esta manera, por que no cumplen con los criterios de selección para los indicadores evaluados. Además de presentar tiempos de retorno de la inversión mayor a los 6 años, lo que iguala el tiempo de vida útil del equipo.

Estas tecnologías son las impresoras multifuncional, las impresoras láser y las copadoras. El costo por implementación de estas medidas asciende a los \$23,799 dólares. La desventaja que presentaron estas tecnologías radica en que son muy costosas y el ahorro en el costo de la energía eléctrica no lo suficiente como para amortizar la inversión.

De estas medidas ninguna de las tres tecnologías tiene una relación $B/C > 1$, la menos beneficiada es la impresora láser con una relación $B/C = 0.2$, con una relación $B/C = 0.6$ las copadoras y las impresoras multifuncionales quedan menos rezagadas. Sin embargo no se considera necesario hacer un cambio tecnológico respecto a estas medidas ya que las actualmente en servicio, tienen poco tiempo de haber sido adquiridas.

4.2 Ahorros energéticos y emisiones evitadas de CO₂

Aunado al ahorro económico, el ahorro en el consumo de energía eléctrica es otro de los principales beneficios, el cual es resultado de la aplicación de medidas de eficiencia energética. Como resultado de la comparación entre las tecnologías actuales y las tecnologías eficientes, se estima un ahorro del consumo de energía eléctrica en el uso final de alrededor de 1678.9 MWh/año esto es un 52.6%.

En iluminación el ahorro de energía eléctrica es de 1,452 MWh/año esto es un 50%, en equipos ofimáticos, se presenta un ahorro de 34.4 MWh/año esto es un 60% respecto a las tecnologías actuales, y en el pozo Plutarco se estima que el el SBSF generaría un ahorro de 192 MWh/año un 81% respecto al sistema actual (Tabla 4.1).

En cuanto a los beneficios ambientales, por la implementación de tecnologías eficientes se dejarían de estar emitiendo a la atmósfera cerca de 880 toneladas de CO₂ al año, esto es una reducción de poco más del 52% respecto a los equipos evaluados. Esta reducción de emisiones contribuye a la mitigación del cambio climático por el hecho de ahorrar energía eléctrica producto de la quema de combustibles fósiles.

La mayor contribución en la disminución de emisiones de CO₂ se da en área de iluminación con un total de 760.87 tCO₂, el SBSFV para el pozo Plutarco contribuye en segundo termino con 100 tCO₂ y por último los equipos ofimáticos y de climatización con un 18 tCO₂ ver Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Resultados globales en ahorro de energía eléctrica y emisiones de CO₂

	Tecnología	Consumo de energía eléctrica (kWh-año)		Ahorro %	Emisiones evitadas tCO ₂ anuales	
		Actual	Eficiente			
	Auditorio T-12 x T-8	128.25	24.42	80.9	0.05	
	Almacén T-12 x T-8	672.00	137.09	79.6	0.28	
	Archivos T-12 x T-8	2,244.00	582.62	74.0	0.87	
Iluminación	Oficinas	T12 x T8	8,631.00	1,643.34	80.9	3.66
		T12 x T8	2,352.00	479.81	79.6	0.98
		T12 x T8	1,123.20	411.26	63.4	0.37
		INC x FC	686.40	96.10	86.0	0.31
		INC x FC	486.00	90.72	81.3	0.21
		INC x FC	115.20	21.12	81.6	0.05
		HAL x LEDs	168.00	4.70	97.2	0.09
	Alumbrado Público	ADM (175 W) x VSAP	71,859.38	27,840.38	61.3	23.07
		ADM (250W) x VSAP	2,737.50	998.90	63.5	0.91
		ADM (400W) x VSAP	37,230.00	20,478.73	45.0	8.78
		MIX (250W) x VSAP	1,373,951.25	716,213.31	47.9	344.65
		MIX (500W) x VSAP	202,575.00	55,246.25	72.7	77.20
		VM (175W) x VSAP	3,832.50	1,997.81	47.9	0.96
		VM (250W) x VSAP	936,225.00	510,654.56	45.5	223.00
		VM (400W) x VSAP	8,760.00	4,818.53	45.0	2.07
		INC (100W) x VSAP	33,726.00	28,582.79	15.3	2.70
		INC (150W) x VSAP	77,526.00	43,802.19	43.5	17.67
		INC (200W) x VSAP	6,132.00	2,598.44	57.6	1.85
		INC (300W) x VSAP	47,304.00	13,363.38	71.8	17.78
		INC (500W) x VSAP	76,650.00	12,992.18	83.1	33.36
	Total Iluminación	2,985,114.68	1,443,078.62	50.1%	760.87	
Equipos de Oficina	COMPUTO	24,393.60	7226.40	70.4	9.00	
	VENTILADORES	4,122.70	1,399.68	66.0	1.43	
	IMPRESORAS LASER	2,463.53	1,704.00	30.8	0.40	
	IMPRESORA MULTIFUNCIONAL	137.76	15.65	88.6	0.06	
	IMPRESORA INYECCIÓN	212.02	5.38	97.5	0.11	
	CLIMA MINISPLIT	12,160.32	7,344.00	39.6	2.52	
	COPIADORA	5,190.00	2,430.72	53.2	1.45	
	DESPACHADORES DE AGUA	8,553.60	2,640.00	69.1	3.10	
	Total equipos de ofimáticos	57,233.52	22,765.82	60.20	18.06	
	Pozo Plutarco SBSFV	237,492.00	45,098.19	81.00	100.81	
	TOTAL GLOBAL	3,189,840.20	1,510,942.63	52.60	879.74	

Sin embargo para determinar cual es la mejor opción de sustitución tomando en consideración los costos por evitar emisiones de CO₂ a la atmósfera, en la Ilustración 4.2 se presenta la curva de costo de abatimiento de emisiones de CO₂, en la cual se cuantifica el impacto de 13 tecnologías evaluadas.

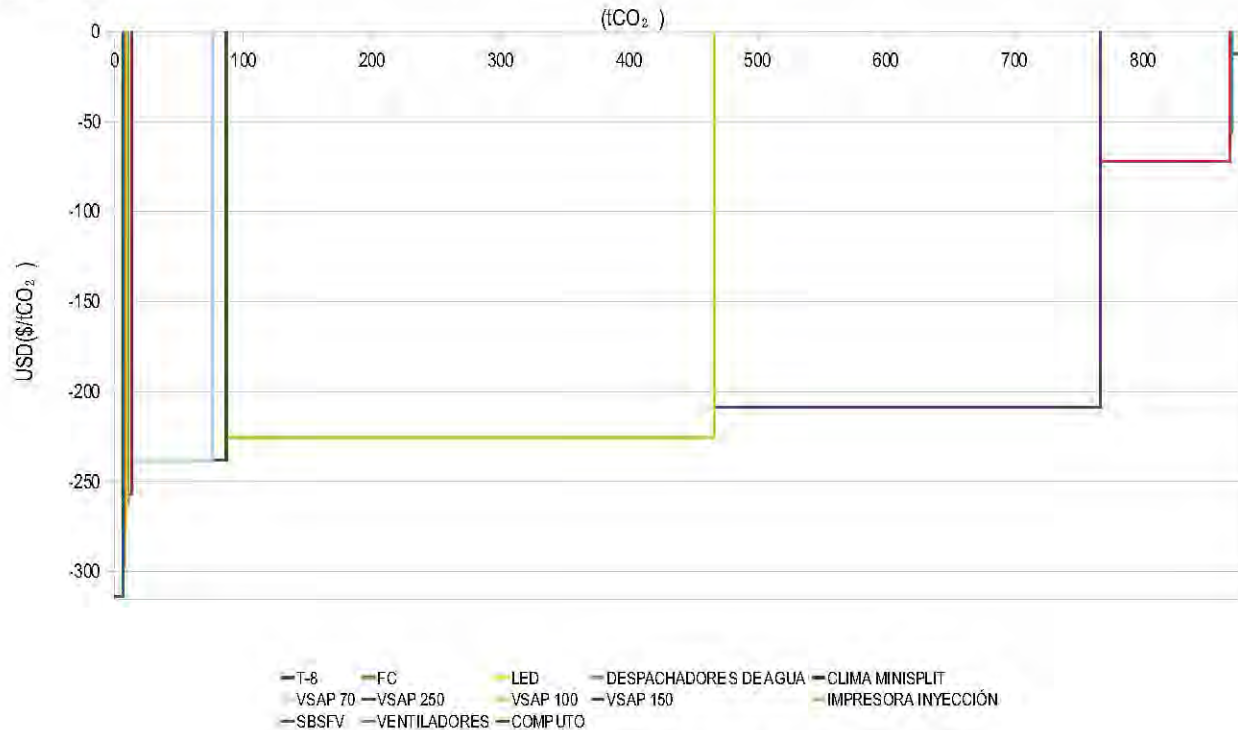


Ilustración 4.2: Curva de costos de mitigación de CO₂

En la gráfica se puede observar que las lámparas fluorescentes lineales T-8, fluorescentes compactas, LEDs, despachadores de agua y el aire acondicionado son tecnologías que tiene costos de mitigación muy atractivos, y poca reducción de CO₂, sin embargo tecnologías como lámparas de VSAP y el SBSFV, presentan mayor mitigación de CO₂, con un costo de mitigación un poco alto y una reducción de emisiones de CO₂, muy pequeña están los ventiladores y las computadoras

De la curva de costos de mitigación, la mayoría presentan beneficios en la reducción de emisiones de CO₂ y costos negativos, con excepción de las copiadoras e impresoras multifuncional y láser, la cuales tienen costos positivos que las hace poco atractivas para su sustitución ver Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Costos de mitigación de CO₂ para equipos ofimáticos

Tecnología	US\$/tCO ₂
IMPRESORA LASER	\$870.97
IMPRESORA MULTIFUNCIONAL	\$463.19
COPIADORA	\$189.24

Si bien los resultados anteriores, demuestran que la sustitución de los equipos actuales por otros

mas eficientes, es viable económica y energéticamente, el municipio de Temixco tendría la ventaja de evitar el pago anual de poco mas \$ 258,595.00 dólares esto sólo tomando en cuenta las tecnologías evaluadas cuyo ahorro en el consumo de energía eléctrica es del 53% como lo muestra la Ilustración 4.3.

Recordando un poco al lector que en esta tesis sólo se analizaron las tecnologías poco eficientes, en un análisis donde se comparan todos los rubros (iluminación, equipos de ofimáticos y de climatización y Bombeo de agua potable) incluyendo las tecnologías no evaluadas, el ahorro en el consumo de energía eléctrica que se tendría un 15%, por lo tanto el municipio de Temixco dejaría de estar consumiendo unos 1,679 MWh anuales.

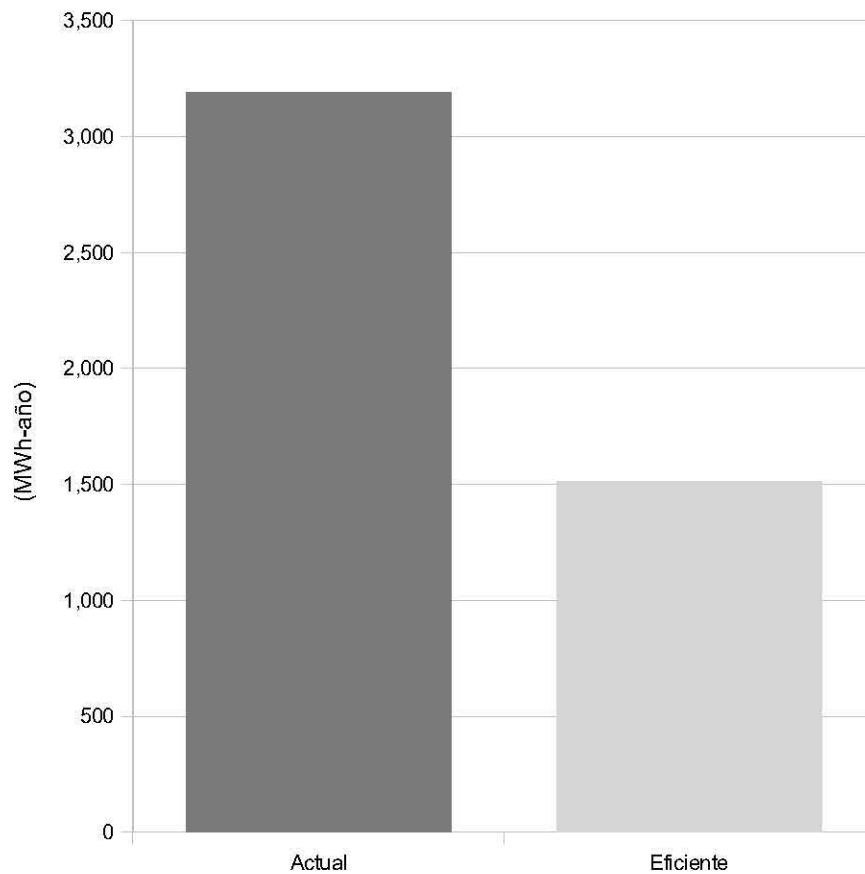


Ilustración 4.3: Ahorro en el consumo de energía eléctrica por medidas de eficiencia energética

4.3 Programas e instituciones financieras nacionales

Una vez analizados realizado el estudio y mostrado los resultados, es indispensable presentar los mecanismos o instituciones que puedan financiar la implementación de las medidas.

En esta sección se tratara el tema relacionado con los programas de financiamiento que ofrecen las distintas organizaciones o fideicomisos, tanto públicas como privadas, nacionales e internacionales, con el fin de mostrar todo un catálogo de posibilidades, que permitan tomar una mejor decisión al municipio de Temixco para la implementación de las medidas de eficiencia energética.

Como parte de un recurso renovable la energía forma parte de un bien público que el estado debe preservar, para ello las políticas públicas deben prevenir problemas que enfrenta la sociedad. Para ello los fondos públicos son instrumentos utilizados para transformar los mercados de energía y de la tecnología, asociada a la producción, transformación, transporte y uso final de la energía [De Buen, 2010].

Es así como también el municipio de Temixco no sólo presenta el problema del pago de nómina y si no también con el pago de energía eléctrica, por lo que con el uso de tecnologías alternativas se pueden obtener ahorros en el pago de energía eléctrica, que mejoren las finanzas públicas.

Para la obtención de ahorros energéticos, económicas y ambientales, de aplicación de medidas de eficiencia energética, son resultado de la implementación de tecnologías eficientes, cuyos costos resultan ser superiores a las tecnologías convencionales. Cuando un programa de eficiencia energética se implementa por primera vez, resulta difícil para un municipio cubrir estos costos, por ello se debe recurrir a las distintas instituciones encargadas de financiar proyectos relacionados con la eficiencia energética y las energías renovables.

En la guía de programas de fomento de las energías renovables para los municipios de la república Mexicana, se plantea la necesidad de orientar a los ayuntamientos municipales para que exploren la posibilidad de suplir su propia demanda energética, contribuyan a la disminución de gases de efecto invernadero y fomenten actividades productivas para un creciente progreso [SEMARNAT, 2010].

Existen varios programas de financiamiento para el aprovechamiento de las energías renovables y la eficiencia energética, estos programas dependen de instituciones tanto nacionales como extranjeras, las cuales ofrecen diferentes opciones de financiamiento, orientadas a las necesidades de los municipios.

Como ejemplo el estado de California ha adoptado políticas de conservación y eficiencia energética y realizado inversiones que están entre las mas importantes del mundo generando así ahorros de más de 40,000 GWh. Gran Bretaña por su parte ha implementado el Impuesto de Cambio Climático, el Carbon Trus y la Etiqueta de carbono para alentar al sector público a incrementar la eficiencia energética [De Buen, 2009]

Programas dentro de la CONUEE.

Como se había mencionado en la introducción de esta tesis, la CONUEE es un órgano

administrativo que tiene como objetivo promover la eficiencia energética y constituirse como órgano de carácter técnico en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.

Una de las estrategias de la CONUEE se enfoca en atender a estados y municipios, la cual se orienta al desarrollo de capacidades institucionales para la identificación, análisis e instrumentación de programas, proyectos y acciones en materia de eficiencia energética y aprovechamiento de las energías renovables.

La CONUEE promueve la ampliación, diseño e implantación de programas regionales para la sustitución de equipos de baja eficiencia por nuevos más eficientes. En esta línea de acción la CONUEE propicia la participación de instituciones federales e internacionales, públicas y privadas, para que brinden soporte técnico y financiero [SEMARNAT, 2010].

Programa de ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad.

ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad, es la Agencia Internacional para Gobiernos Locales, la cual funciona como una asociación internacional de gobiernos locales y sus asociaciones dedicadas al desarrollo sustentable. Esta surge en 1990 como una organización no gubernamental no lucrativa, y fundada con el respaldo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Actualmente cuenta con más de 1,000 miembros. ICLEI proporciona asistencia técnica, capacitación y servicios de información para construir capacidades, intercambiar experiencias y apoyar a los gobiernos locales en la implementación del desarrollo sustentable, siendo su premisa principal que las iniciativas diseñadas localmente puedan proporcionar una forma eficiente y efectiva de costos para alcanzar los objetivos de sustentabilidad local, nacional y global [ICLEI, 2008].

Es por ello que ICLEI crea el programa Promoviendo un Sector Público Energéticamente Eficiente (PePS), [ICLEI, 2008].

El programa PePS es un esfuerzo de colaboración establecido por el Laboratorio Lawrence Berkeley del Departamento de Energía de los Estados Unidos y La Agencia de Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID) e ICLEI.

El Objetivo de este programa es que los gobiernos elaboren e implementen políticas de compra de productos ahorradores de energía eléctrica, fomentando la adquisición de equipos que cuenten con sello FIDE, NEMA Premium, Energy Star [ICLEI, 2008].

Entre los resultados obtenidos por el programa, de 2004 a 2007 se han obtenido ahorros de energía eléctrica por 20,000 MWh, y ahorro en gasolina por 668,000 litros [ICLEI, 2008].

Dentro de los beneficios que obtienen los municipios por su participación dentro de este programa están: la asistencia técnica, herramientas, talleres y seminarios, participación en una red de ciudades con experiencia, y apoyo en la búsqueda de financiamiento, en este último punto ICLEI apoya a los participantes en la búsqueda de recursos para la implementación de medidas relacionadas al programa.

Cuando ICLEI cuenta con recursos para donativos, abre convocatorias internas dentro de la ciudades PePS para participar en la búsqueda de dichos donativos [ICLEI, 2008]. Cuando los municipios están vinculados con el programa, ICLEI se encarga de canalizar los recursos económicos.

La gestión de los recursos se hace directamente entre el gobierno local y la institución financiera, sin embargo PePS ayuda a los municipios participantes con la información que necesiten para su obtención.

Las instituciones financieras a las cuales recurren las ciudades PePS son el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS) y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE).

Banco Nacional de Obras (BANOBRAS).

El Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C. (BANOBRAS) es una institución que ofrece diversos instrumentos de financiamiento y asistencia técnica, esto con el propósito de financiar los requerimientos de inversión que las administraciones estatales y municipales.

Estos apoyos están destinado a la ejecución de obras y/o proyectos de infraestructura que se derive directa o indirectamente de concesiones, contratos o prestaciones de servicios, de obra pública, así como de permisos o autorizaciones de autoridades federales, del Distrito Federal, estatales y/o municipales y sus respectivas entidades paraestatales y paramunicipales [BANOBRAS, 2011].

Apoyos que ofrece BANOBRAS a los siguientes sectores:

Infraestructura hidráulica (obras de captación, conducción potabilización, y distribución de agua potable, colectores, subcolectores, y redes de alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas residuales).

Ahorro y uso eficiente de energía: luminarias, equipos ahorradores; bombeo de agua.

De acuerdo con Banobras el municipio beneficiado con el financiamiento podrá fortalecer la hacienda local, procurando incidir en los siguientes aspectos:

- Incrementa el nivel de vida de la población
- Incrementar la capacidad de respuesta de cada administración para satisfacer las necesidades de la población de manera oportuna.
- Mejorar los ingresos municipales y la calidad del gasto mediante el apoyo de proyectos que incrementan los ingresos y disminuyen los costos de operación en áreas como:
 - Modernización catastral
 - Ahorro de energía por cambio de luminarias y equipos.

Asimismo mediante la evaluación socioeconómica de proyectos se contribuye a la mejora en la calidad de la inversión.

El financiamiento que se obtiene de BANOBRAS tiene los siguientes beneficios:

- Complementan los recursos para el cumplimiento, en tiempo y forma, de los planes y programas de inversión en materia de desarrollo e infraestructura básica, urbana y de servicios.
- Endeudamiento de las administraciones locales conforme a sus posibilidades de canalización de recursos para la atención de la deuda.
- Diseñar estructuras financieras acordes a las necesidades de recursos del proyecto y a las posibilidades de generación de flujos.

BANOBRAS ha suscrito un convenio de colaboración con la Secretaría de Energía, La Comisión Federal de Electricidad, y la CONUEE, con el motivo de mejorar la eficiencia energética de los municipios [BANOBRAS, 2011].

Tres puntos importantes que se manejan en este convenio son los siguientes:

- Se brindará asistencia técnica, acceso a financiamiento y apoyos federales.
- Estos financiamientos permitirán a los municipios ejecutar proyectos de sustitución de equipos de alumbrado público.
- Los ahorros que se generen por la mayor eficiencia energética permitirán cubrir, parcial o totalmente, los financiamientos contratados.
-

BANOBRAS pondrá a disposición de los municipios financiamiento que podrá estar integrado por participaciones federales o, en los casos aplicables, el Derecho de Alumbrado Público como fuente de pago y garantía.

Programa: del fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía.

Este programa cuya aportación proveniente del gobierno federal, mediante el fideicomiso 2,145 Fondo para la Transición Energética, BANOBRAS otorga garantías de crédito y a apoyos financiero para proyectos que cumplan con la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

En este fondo cuenta con un monto inicial por 600 millones de pesos por Ley y 3,000 millones para 2009, 2010 y 2011 [SEMARNAT, 2010].

Cobertura:

Este fondo cubre todas las acciones de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía:

- Promover e incentivar el uso y la aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, la eficiencia y el ahorro de energía.
- Promover la diversificación de fuentes primarias de energía, incrementando la oferta de las fuentes de energía renovables.
- Promover y difundir medidas para la eficiencia energética, así como el ahorro de energía.

Requisitos:

El comité técnico es el órgano que emitirá las reglas para la administración, asignación y

distribución de los recursos para los objetivos de la estrategia. Asimismo podrá acordar que los recursos sea a fondo perdido o algún otro tipo de apoyos para proyectos que cumplan con el objeto de la estrategia [SEMARNAT, 2010].

Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE).

En materia de financiamiento el FIDE surge en 1990, por iniciativa de la CFE, con el apoyo de Luz y Fuerza del Centro, del Sindicato Único de Trabajadores Electricistas de la República Mexicana (SUTERM) y de los principales organismos empresariales del país. FIDE surge como una institución no lucrativa, con la finalidad de impulsar el ahorro de la energía eléctrica en la industria, el comercio, los servicios, el campo y los municipios, así como en el sector doméstico nacional, al tiempo que promueve el desarrollo de una cultura del uso racional de este fundamental energético [FIDE, 2009].

Proceso de servicios FIDE a municipios: Se asesora técnicamente para la aplicación de nuevas tecnologías, se informa para la gestión y adquisición de productos eficientes y cómo obtener financiamiento para contratar el suministro y la instalación del equipo ahorrador en bombeo de agua potable, alumbrado público, semáforos con LEDs [de Buen, 2010].

De 2,420 proyectos en 2009, el FIDE apoyó al sector municipal con 395 proyectos, de los cuales se obtuvo un ahorro del 30% al 45%, con un periodo máximo de recuperación de 18 meses [FIDE, 2010].

Otro elemento es la certificación, mediante el sello FIDE, de la cual es fácil apreciar aquellos equipos, materiales y tecnologías que garantizan un alto grado de eficiencia en el consumo de electricidad.

Las inversiones en proyectos de ahorro de energía eléctrica de acuerdo con el FIDE son del orden de \$4,500 millones de pesos anuales entre 2009 y 2012 [FIDE, 2009].

Financiamiento para proyectos de ahorro y eficiencia energética en municipios:

El financiamiento es otorgado a municipios para proyectos de ahorro y eficiencia energética, cuyo origen del recurso es federal. El apoyo que se otorga es del 100% a proyectos de ahorro de energía y eficiencia energética.

El monto dependerá de cada proyecto a una tasa preferencial por debajo de la banca comercial, con un máximo de retorno de la inversión de 36 meses [SEMARNAT, 2010].

Beneficios:

- Proyectos autofinanciables que contribuyen al medio ambiente
- ahorro entre el 35% y 50%, entre las diferentes instalaciones municipales, cuyos ahorros se utilizan para servicios a la población.
- Las inversiones realizadas tienen una recuperación promedio de 18 meses.
- Reducción de costos en la factura eléctrica.
- contar con tecnología de punta.
- reducción de costos en mantenimiento.
- A través del ahorro en el consumo, se paga el financiamiento otorgado.

Tecnologías que se financian:

- Bombas de alta eficiencia.
- lámparas de vapor de sodio de alta presión.
- Balastos electrónicos.
- lámparas fluorescentes compactas T-5 y T-8.
- Acondicionadores de aire y sistemas de refrigeración eficiente.
- Diodos emisores de luz (LEDz).

Requisitos

- No tener adeudos con CFE ni FIDE.
- Que la tecnología seleccionada por la autoridad municipal, garantice ahorrar lo suficiente, para que a través de los ahorros reflejados en los recibo de consumo de CFE se pague el financiamiento otorgado.
- Llenar la solicitud de financiamiento (ver anexo 7).
- Acuerdo con el cabildo.
- Contratos de ejecución de los trabajos.
- Evaluación técnico-económica o ficha técnica del proyecto.

Financiamiento a proyectos e micro generación y cogeneración de energía eléctrica hasta 500 kW:

Este es un financiamiento otorgado por el FIDE, con recursos del gobierno federal. El apoyo otorgado es el 100% a proyectos de micro generación y cogeneración de energía eléctrica hasta 500 kW, para la adquisición e instalación de equipos y sistemas, con el uso de fuentes de energía renovables y alternas: solar, eólica, hidráulica, Biogás, gas natural, etc.

El monto otorgado depende de cada proyecto, a una tasa preferencial por debajo de la comercial, el tiempo de devolución es de hasta 60 pagos mensuales (5 años) [SEMARNAT, 2010].

Cobertura:

Financiamiento del 100% a proyectos de desarrollo tecnológico y el uso de tecnologías de punta que propicien reducir la demanda y el consumo eléctrico mejorando los procesos o usos finales de la energía.

Requisitos:

Solicitud de apoyo.

Ultimo año de facturación de energía eléctrica.

Monto de la inversión.

Si es candidato a obtener financiamiento, el municipio deberá presentar al FIDE, el estudio técnico-económico, donde se demuestren los ahorros esperados en energía eléctrica y verificar que el proyecto es viable y cumple con el retorno de la inversión menor o igual a 7 años.

Cuando el proyecto cumple los requerimientos del FIDE, se firma un contrato tripartita Consultor/Proveedor-Municipio-FIDE.

La recuperación del financiamiento se garantiza mediante la firma de pagarés por parte del municipio.

Nacional Financiera.

Nacional Financiera es una institución bancaria, cuya tarea es financiar los proyectos de

inversión de las micro, pequeñas, medianas y grandes empresas de los sectores industrial, comercial y de servicios, así como las personas físicas con actividad empresarial en todo el país.

El apoyo que otorga, es para proyectos de ahorro de energía, energías renovables y fomento a de proyectos de innovación tecnológica. El monto de hasta 125 MDP ó 62.5 MDP de riesgo [SEMARNAT, 2010].

Cobertura:

- Proyectos sustentables y de cambio climático.
- Apoyo para proyectos de ahorro de energía y proyectos de energía renovables.
- Fomento de proyectos de innovación tecnológica.

Requisitos:

- Un estudio de viabilidad o pre-factibilidad.
- Un resumen de información detallada que incluya la descripción, ubicación y los antecedentes sobre los elementos claves del proyecto, tales como la situación de los permisos, las licencias, garantías, y el financiamient.
- Un desglose de los costos de los proyectos previstos y los gastos de la fase inicial de la planificación.
- Un resumen del plan de financiamiento del proyecto.
- Los términos de la deuda y las inversiones de capital; las fuentes de financiamiento en el caso de sobrecostos del proyectos y una descripción de las reservas de contingencia y las cuentas de depósito en garantía.
- Reportes de los estados financieros anuales auditados por los últimos 5 años fiscales; un reporte financiero proforma del año en curso y el presupuesto para el año fiscal siguiente.
- Un informe por un experto que indique, entre otras cosas: la condición actual del proyecto; propuestas de expansión y mejoras, cumplimiento de las normas y reglamentos.
- Una estimación detallada de los gastos de funcionamiento.
- Una descripción detallada de las medidas adoptadas para cubrir el riesgo de terminación anticipada del proyecto.
- La ejecución del proyecto y calendario en su versión definitiva de desembolsos.
- Un plan de operaciones y mantenimiento, incluyendo en su caso pólizas de servicio.

Combinación de apoyos: Existe un esquema de apoyo de garantía selectiva que consiste en que un intermediario financiero otorgue los recursos al proyecto y Nacional Financiera participa con el 50% como garantía [SEMARNAT, 2010].

4.4 Fondos mixtos y mecanismos internacionales de financiamiento.

Fondo para el financiamiento de estudios para proyectos de infraestructura.

De participación federal 49% y privada 51%, es un fondo creado por conjuntamente por el fondo nacional de infraestructura (FONADIN) y el sector privado, con el objeto de apoyar al gobierno federal y a los gobiernos estatales y municipales, en el desarrollo de proyectos que permitan agilizar la realización de proyectos e infraestructura. Este fondo cuenta con un monto inicial de 200 millones de pesos [SEMARNAT, 2010].

Cobertura:

Que haya participación de la ingeniería mexicana en el desarrollo del programa nacional de

infraestructura en las áreas, de energía, entre otras [SEMARNAT, 2010].

Requisitos:

Los proyectos de infraestructura deberán ser promovidos por el sector público, debiendo requisitar el formato de ficha técnica o plan de negocios.

- Escrito de la dependencia, solicitando la ejecución del estudio o diseño a realizar.
- Descripción del proyecto: Explicar antecedentes, situación actual y problemática, presentar resumen ejecutivo del proyecto, en qué consiste, características principales y alcances. Autorizaciones necesarias para la ejecución del proyecto. Las ya logradas, las ya faltantes y el tiempo estimado para lograrlas.
- Alcance del estudio o diseño a realizar. Términos de referencia. Catalogo detallado de las actividades o capítulos que deben incluir el estudio o diseño a realizar. Normas y especificaciones técnicas aplicables. Relación de información básica disponible. Topográfica, climatológica, aforos, parámetros de diseño y otra base para la ejecución del estudio. Tiempo disponible para la ejecución del estudio. Fecha en que se tiene programada realizar la licitación del proyecto. Tiempo estimado hasta la entrega del producto final. Costos que la dependencia estima debe costar el estudio o diseño a realizar. Señalar el costo total, y de ser posible, referencias de costos en estudios similares.
- Relación de empresas que la dependencia considera capaces de realizar el proyecto.
- Información complementaria. Cualquier tipo de información adicional que facilite la toma de decisiones respecto a la solicitud que se presenta.

Contacto:

El FONADIN no tiene infraestructura propia, su operación esta a cargo de BANOBRAS como institución fiduciaria. La banca de inversión de BANOBRAS, tiene la responsabilidad de promover y gestionar los apoyos del fondo.

Créditos a proyectos sustentables FINTEGRA.

El crédito otorgado por FINTEGRA, banca privada que otorga productos y servicios financieros, así como consultoría y asistencia técnica; específicamente diseñados para entidades de gobierno, para proyectos de alta rentabilidad social, de infraestructura de educación, mejorar los servicios municipales, incrementar la seguridad, proyectos productivos [SEMARNAT, 2010].

El moto ofrecido por esta institución dependerá del proyecto, a una tasa de interés 1% más que BANOBRAS 9% y un tiempo de devolución de 24 a 60 meses [SEMARNAT, 2010].

Requisitos:

- Solicitud de crédito original.
- Autorización original para buró de crédito con Vo Bo. Respecto de la personalidad del representante legal y sus facultades legales otorgadas para autorizar efectuar la consulta.
- Copia de cédula de RFC.
- Copia de ley de ingresos y presupuesto de egresos de los últimos tres ejercicios, incluido el año en curso.
- Estado de posición financiera (balance general) de los últimos tres ejercicios, incluido el año en curso.
- Cuenta pública de los últimos dos ejercicios y avance del año en curso.

- Estado de Posición Financiera (Balance General) de los últimos tres ejercicios, incluido el año en curso.
- Cuadro de deuda (Directa y Contingente) a la fecha que muestre la información de los siguientes conceptos: Institución, Fecha de contratación, Tipo de Crédito, Monto otorgado, Plazo, Tasa de interés, Comisiones, Forma de pago y Garantías.
- Histórico mensual de recepción de Participaciones Federales del último ejercicio y año en curso.
- Descripción del proyecto a financiar identificando los principales rubros de inversión incluyendo calendario de ejecución e importe de la obra.
- Calificaciones de Agencias Externas (S&P, Fitch, HR Rating's y/o Moody's).
- Copia acreditando la personalidad jurídica e identificaciones del: Presidente, Síndico, Secretario y Tesorero y las facultades legales otorgadas.
- Acta de cabildo donde al menos 2/3 de los regidores autorizan a contratar el financiamiento y afectación de la garantía y/o fuente de pago debidamente certificada por el Secretario del Ayuntamiento.
- Acta de Congreso (Cabildo) donde se autorice la constitución de Fideicomiso de Administración, Garantía y Pago y la afectación de Participaciones Federales para garantía y/o Fuente de Pago del crédito solicitado. Tratándose de Entidades Paraestatales o Paramunicipales (Organismos Públicos): Además de la documentación que corresponda de los puntos anteriores;
- Estados financieros Dictaminados de los últimos dos ejercicios.
- Estados Financieros internos de fecha reciente (con antigüedad no mayor a tres meses).
- Presupuesto del año en curso.
- Autorización de su constitución.
- Poderes otorgados.
- Proyecciones financieras acompañadas de bases y supuestos (en caso de crédito con plazo mayor a dos años).

Créditos a proyecto sustentables INTERACCIONES.

INTERACCIONES, es una banca privada que otorga financiamiento para gobiernos estatales y/o municipales, inversión pública, reestructuración de pasivos, capital de trabajo (gasto corriente), emisión de deuda, arrendamiento de proyectos de infraestructura, diversos esquemas de asociación público privada [SEMARNAT, 2010].

El monto otorgado será tal que permita que sus finanzas públicas no se presionen demasiado y la deuda sea sostenible. Para cada municipio se determina su capacidad de endeudamiento. El plazo de financiamiento depende de la madurez de los proyectos que se pretendan financiar [SEMARNAT, 2010]:

Cobertura:

Financiamiento para:

- Arrendamiento de proyectos de infraestructura. (proyectos de ahorro de energía, fuentes alternas de energía, o energías renovables)

Requisitos:

Cada estado tiene su propia ley de deuda pública que es el instrumento en el que se norma la contratación de deuda de los municipios de dicho estado. Cada ley es diferente por lo que los requisitos dependerán de cada estado.

Sin embargo lo común para que un municipio contrate deuda pública se requiere:

- Autorización del cabildo a la contratación y afectación de sus participaciones o del FAIS.
- Dependiendo del estado y del tipo de financiamiento, se podrá requerir la autorización de la legislatura del estado para la contratación y la afectación de sus participaciones o del FAIS.

Se da la facilidad de la combinación de apoyos, donde la fuente de pago principal serían los ingresos que se genere el proyecto (Ahorro en el pago de energía eléctrica, derechos u otros ingresos por la generación del fluido eléctrico, entre otros). La fuente de pago alterna sería la afectación de las participaciones que en ingresos federales (ramo 28) le correspondan al municipio de acuerdo a la ley de coordinación fiscal [SEMARNAT, 2010].

Otras posibilidad es afectar hasta el 25% del fondo de infraestructura social municipal (FAIS del ramo 33) que le corresponda al municipio cada año.

Crédito para inversión pública productiva a municipios

Este crédito es otorgado por el Bando Interamericano de Desarrollo (BID), el cual ofrece préstamos y asistencia técnica, préstamos de inversión, préstamos de política, préstamos de emergencia, cooperación técnica y mecanismos para la preparación de proyectos.

El monto para preparación de proyectos es de hasta \$1.5 millones de dólares, por proyecto, a una tasa de mercado, términos y condiciones estándares [SEMARNAT, 2010].

Cobertura:

Fuentes de energía limpia y sostenible, promoviendo biocombustibles, Proyectos de energía renovable y eficiencia energética. El propósito de la Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático (SECCI) es apoyar a la región para encontrar opciones energéticas desde el punto de vista ambiental como económico.

Requisitos:

Ser país miembro, latinoamericano y del caribe. Los ámbitos que tienen prioridad son aquellos destinados a la reducción de la pobreza e inequidad mediante inversiones en las áreas de educación, salud, así como en el desarrollo de las micro empresas que benefician a grupos de bajos ingresos.

Igualmente, constituyen sectores prioritarios la modernización del estado, la integración económica y la protección del medio ambiente.

Créditos para inversión pública productiva a municipios Global Environment Facility.

El organismo internacional Global Environment Facility (GEF), otorga donaciones a los países en desarrollo y economías en transición para proyectos relacionados con la biodiversidad, el cambio climático, aguas internacionales, degradación de la tierra, la capa de ozono y los contaminantes

orgánicos persistentes [SEMARNAT, 2010].

El monto es de \$1 millón de dólares para infraestructura, hasta \$350,000 para preparación de proyectos, el cual es a fondo perdido.

Cobertura:

Diversidad biológica, cambio climático, aguas internacionales y agotamiento de la capa de ozono.

Cambio climático: Para proyectos relacionados para reducir el riesgo provocado por los cambios globales climáticos mientras se provee energía y están organizado en dos áreas:

- Remoción de barreras para la conservación y eficiencia energética.
- Promoción de la adopción de energías renovables.

Requisitos:

Dos criterios clave: debe reflejar prioridades nacionales y regionales con el soporte del país o países involucrados, y mejorar el ambiente global o avanzar en los esfuerzos para reducir sus riesgos.

La elegibilidad del país para que reciba fondos se determina:

- Países en desarrollo que han ratificado un tratado relevante.
- Otros países, aquellos con economías en transición, sin son parte de un tratado apropiado y son prestatarios del Banco Mundial o receptores de asistencia técnica por el PNUD.

Banco Europeo de Inversiones.

El Banco Europeo de Inversiones (BEI), otorga un apoyo a la inversión extranjera directa de la UE en América Latina. Apoya proyectos con una dimensión de mejora del medio ambiente, incluidas las energías renovables y seguridad energética de la UE.

El monto de asignación del programa asciende a €50 millones de euros, disponible en partes de €5 millones. El BEI puede financiar hasta el 50% del costo total del proyecto (el financiamiento es complementario a otras fuentes) [SEMARNAT, 2010].

El financiamiento opera a una tasa de interés fija o variable que se determinara en función del plazo y de acuerdo al riesgo del proyecto.

Cobertura:

Eficiencia energética (uso de carburantes alternativos, producción combinada de calor y electricidad, calefacción urbana y modernización de instalaciones industriales)

Energías renovables (eólica, solar, biomasa, biocarburantes, etc.)

Requisitos:

Sectores elegibles: infraestructura económica, energía, industria, agro-industria, minería, turismo, y sectores relacionados.

Los proyectos financiados por el BEI deben:

- Estar económicamente justificados.

- Ser técnicamente viables.
- Ser autosuficientes desde el punto de vista financiero.
- Acordes con normativa ambiental.

Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Los mecanismo de desarrollo limpio (MDL) son procedimientos que se contemplan dentro del protocolo de Kioto, en donde los países desarrollados (Anexo 8), pueden financiar proyectos de mitigación de Gases de Efecto Invernadero GEI dentro de países en desarrollo. Estos mecanismos son regulados y supervisados por el consejo ejecutivo de MDL de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático.

Para el desarrollo de proyectos MDL, el consejo ejecutivo del MDL establece 15 categorías para el desarrollo de dichos proyectos, dentro de estas se encuentran, Industrias energéticas (renovables/no renovables), distribución de energía, demanda de energía, en esta ultima

Para el diseño del proyecto existe un conjunto de actividades que se deben de seguir:

1. Elaboración del documento diseño del proyecto por el participante en el proyecto.
2. Validación del proyecto por la entidad operacional.
3. Aceptación y registro del proyecto por la entidad operacional.
4. Aceptación y registro del proyecto por el consejo ejecutivo.

De la ejecución del proyecto, hay tres puntos importantes que se tienen que evaluar:

1. la ejecución del plan de vigilancia por el promotor del proyecto
2. la verificación y certificación de las emisiones por la entidad operacional
3. Las emisiones por el administrador del registro MDL de las unidades de reducción resultantes del proyecto (RCEs), o absorciones de carbono.

Para financiar proyectos MDL existe en el Fondo Mexicano de Carbono (FOMECAR), es un fideicomiso sin fines de lucro que apoya técnica y financieramente el desarrollo de proyectos MDL. Para ello BANCOMEXT ha contratado líneas de crédito con organismos multilaterales y bancos de desarrollo como el Banco de Desarrollo Alemán KfW, el Banco Europeo de Inversiones (BEI), y el Japan Bank for International Cooperation (JBIC) entre otros.

El Banco de Desarrollo Alemán cuenta con un capital de \$50 millones de dólares un plazo de pago a 10 años y un monto máximo a financiar de \$15 millones de dólares para proyectos MDL, eficiencia energética y energías renovables [FOMECAR, 2008].

Por las actividades de reducción de emisiones pueden generarse varios tipos de bonos de carbono, como lo son los Certificados de reducción de emisiones (CERs), Montos asignados Anualmente (AAUs), Unidad de Reducción de Emisiones (ERUs), y Unidades de Remoción de Emisiones (RMUs).

Una vez analizado las diversas opciones de financiamiento, los recursos para la implementación de las medidas de eficiencia energética pueden ser gestionados ante diversas instancias. Por ello en la Tabla 4.3 se presentan las categorías propuestas y a que institución financiera o programa se pueden realizar las gestiones correspondientes para obtener el financiamiento adecuado.

Tabla 4.3: Tabla 13. Institución financiera a evaluar los rubros analizado

Rubro	Monto de inversión (USD-2007)	Institución financiera
Medidas altamente rentables y Medidas rentables	-152,087 -20,249 -172,336	BANOBRAS: sustitución de equipos en alumbrado público. FIDE: lámparas de vapor de sodio alta presión, balastos electrónicos
Medidas medianamente rentables	-97,314	Programa ICLEI-Gobiernos locales para la sustentabilidad: promueve la compra de equipos eficientes y gestiona recursos ante Banobras y FIDE. FIDE: Ofrece financiamiento para la adquisición de acondicionadores de aire
Bombeo de agua	-147,877	FIDE: Ofrece financiamiento en bombeo de agua potable. GEF: Ofrece financiamiento de \$350,000 dólares a \$1 millón, para la adopción de energías renovables a fondo perdido.

En la tabla se muestra el monto de inversión requerido

Conclusiones

Cada vez más se hace evidente la implementación de programas de uso eficiente de la energía en el sector municipal, esto debido a los problemas relacionados con el cambio climático y el aumento en los precios en la energía eléctrica.

En el sector público o de servicios el alumbrado público, el bombeo de agua potable y edificios municipales son las tres áreas identificadas con potenciales de ahorro de energía eléctrica y mitigación de emisiones de gases contaminantes.

La metodología del uso final de la energía eléctrica es una manera muy específica de identificar los procesos o actividades involucradas en el uso de aparatos eléctricos, donde el factor más importante son los hábitos de uso.

Parte esencial de la metodología se basa en conocer el tiempo de uso que se le da a cada equipo, identificando mediante un censo los tiempos de operación, las características técnicas que dieron como resultado el consumo de energía eléctrica de cada equipo.

La eficiencia energética es una medida adoptada para optimizar el consumo de la energía eléctrica, ésta implica un cambio tecnológico en iluminación en edificios y alumbrado público, equipos ofimáticos y sistemas de bombeo de agua potable. En contraste la conservación de la energía que tiene que ver con el cambio en el comportamiento del usuario final dependerá de campañas de concientización a nivel municipal.

Delimitación de áreas en el municipio de Temixco

El consumo de energía eléctrica junto con el pago de nomina son dos egresos que tienen repercusión directa en las arcas municipales, y que en el municipio de Temixco los primeros en 2008 ascendieron a \$1,478,303 dólares. Por ello se identificarán las áreas de mayor consumo de energía eléctrica y mediante medidas operacionales disminuir el consumo, que a su vez, retribuyen en beneficios económicos, ambientales y sociales.

De esta delimitación, se considera que los programas de eficiencia energética se deben enfocar en: Edificios municipales: Todos los edificios en conjunto representa el 2.2% del consumo total de energía eléctrica del municipio, delimitando como área con potencial de implementación de medidas de eficiencia energética al palacio municipal, por ser el de mayor demanda energética con un 55.5%. Enfocando al análisis de uso final en iluminación y equipos ofimáticos.

Alumbrado público: Con una participación del 57.5% en el consumo de energía eléctrica, el alumbrado público no debe dejarse a un lado en la implementación de medidas de eficiencia energética, esto mediante un programa de eficiencia energética que permita sustituir el 48% de la carga instalada de lámparas convencionales, por lámparas de vapor de sodio de alta presión (recomendadas por la CONUEE en cumplimiento con la normatividad vigente).

En alumbrado público una vez analizada la facturación emitida por CFE y el censo realizado por el ayuntamiento, se realizó una comparación entre ambas, en la cual se encontró una diferencia

en el consumo de energía eléctrica de 88,600 kWh para el año 2007, esto implicó que la compañía de energía hiciera un cobro por esa cantidad de energía consumida de \$11,906 dólares, a lo cual se concluye y se recomienda al ayuntamiento, tomar medidas de actualización e información del censo a CFE.

Bombeo de agua potable: Después del alumbrado público, el bombeo de agua potable es el sistema que contribuye con el 40.3% en el consumo de energía eléctrica, con un crecimiento en la demanda a partir de mayo de 2008, y con los recientes problemas sociales producto del corte de energía eléctrica en el sistema, es importante la implementación de medidas de eficiencia energética.

La reparación constante de las bombas, el incremento en la demanda, y las variaciones en los parámetros hidráulicos que rigen a los pozos, son las causas por las cuales la eficiencia de los equipos es afectada y en consecuencia haya disparos en el consumo de energía eléctrica, por otro lado la falta de información confiable limita la evaluación adecuada de los sistemas de bombeo.

Los altos consumos energéticos y la falta de recursos económicos, han propiciado que SCAPSAMT haya tenido problemas relacionados con el pago la energía consumida en pozos, lo que ha provocado el corte de la energía eléctrica por parte de CFE ocasionando problemas de carácter social como bloqueos carreteros.

Indicadores económicos como elementos de utilidad en la eficiencia energética.

Para la implementación de un programa de eficiencia energética, dos tipos de medidas son de gran importancia, las operacionales que no requieren de ninguna inversión y las medidas tecnológicas que requieren un cambio tecnológico, lo cual implica una inversión. En el municipio de Temixco el ahorro de energía eléctrica se determinó en base a medidas tecnológicas, las cuales se evaluaron mediante indicadores económicos.

El uso de indicadores económicos como el VPN, la AE, el CEA, el PR, la TIR, y el B/C, son de gran utilidad al momento de comparar tecnologías, y así determinar en base a los criterios de selección, la viabilidad de la implementación de nuevas tecnologías, las cuales permitan generar ahorros energéticos y económicos en beneficio del municipio de Temixco.

Evaluación de tecnologías como medidas de eficiencia energética.

Iluminación en el municipio de Temixco.

El procedimiento que rige la sustitución de lámparas esta basado en las características fotométrica, cromáticas, eléctricas, vida útil y el costo por el uso de las mismas, por lo tanto se concluye que estos parámetros son de vital importancia para proporcionar las condiciones de trabajo adecuadas sin detrimento en las actividades laborales.

En alumbrado público se deben tomar en cuenta las recomendaciones de la CONUEE respecto a la sustitución de lámparas, en este caso se sometió a evaluación la sustitución de las siguientes tecnologías: lámparas incandescentes, aditivos metálicos, mixtas y vapor de mercurio, todas ellas por vapor de sodio en alta presión.

Desde el punto de vista económico, la iluminación tanto en oficinas municipales, como en el alumbrado público, son las medidas que mayores retribuciones deja al municipio. De los resultados obtenidos del análisis técnico-económico en la iluminación, todas las propuestas de sustitución presentan un VPN y un VAE menor al de la tecnología actual (ver tabla 1.5, 1.6, 1.7 2.8 a 2.12), esto las hace cumplir con el criterio de selección para estos indicadores, por lo que se llega a la conclusión de que los costos de inversión, operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil de las lámparas, son menores para las eficientes en comparación a las actuales.

Al observar el resultado del PR, la TIR, el CEA, y la relación B/C, es interesante señalar que las tecnologías para la iluminación tanto en alumbrado público como edificios municipales, presentan PR de inferiores a un año, TIR del análisis incremental superior a la tasa de descuento establecida en 10%; un CEA que si duda alguna es menor al costo de venta por CFE tanto en la tarifa 2 para edificios y la 5 para alumbrado público; y por último la relación B/C cumple satisfactoriamente el criterio de ser mayor a uno. En conclusión, las tecnologías propuestas comparadas con las actualmente instaladas cumplen con los criterios de selección para cada indicador económico evaluado, lo que las hace candidatas ideales para su sustitución.

Equipos ofimáticos en el palacio municipal:

A diferencia de las lámparas, la proposición de los equipos ofimáticos esta determinada por la eficiencia en el consumo de energía eléctrica, esto sin comprometer las actividades laborales. Para ello se propone la sustitución de los equipos con mayor consumo de energía eléctrica.

Dentro de los equipos ofimáticos a evaluar se encuentran: computadoras de escritorio, ventiladores, aire acondicionado, despachadores de agua, copiadoras e impresoras. De todos los equipos propuestos y comparados, el resultado del análisis ha mostrado interesantes resultados, los cuales indican que de todo el conjunto, tres equipos no satisfacen los criterios de selección para todos los indicadores, estos equipos son: las copiadoras, las impresoras láser y las impresoras a inyección de tinta.

Sin embargo el ahorro energético resultado de la comparación de estos tres equipos es del orden del 47%. El que los indicadores económicos resultaran desfavorables es atribuible a la falta de información referente al consumo de papel y consumibles para los equipos actuales, ya que, en el tiempo de vida útil de cada uno de los equipos, el consumo de estos insumos es menor para los equipos eficientes.

Sin embargo si se conociera los costos del consumo anual de papel y consumibles, el resultado sería favorable para las tecnologías propuestas, esto debido al bajo costo en consumo de tinta por página impresa.

De los equipos restantes, los resultados del VPN y el VAE son favorables para los equipos propuestos, el PR un poco mayor en comparación con las lamparas pero con un tiempo menor a dos años. Una TIR superior a la TREMA del 10%. Un CEA menor al costo de venta de CFE y un $B/C > 1$. Estos resultados permiten concluir que es viable la sustitución de los equipos ofimáticos antes mencionados.

Bombeo de agua potable en el municipio de Temixco:

De igual manera, en el sistema de bombeo de agua potable, se propuso el uso de un sistemas de bombeo solar fotovoltaico para el pozo Plutarco. Los resultados del análisis económico se muestran a favor del SBSFV en comparación con el sistema actual. Con una inversión de \$147,877 dólares y un periodo de estudio de 20 años, los costo en VNP y AE resultaron menores, un tiempo de recuperación de la inversión de 5.5 años, una TIR de 16% y una relación B/C= 1.3 (ver tabla 3.9), se puede concluir que es viable la utilización de sistemas fotovoltaicos.

El ahorro de energía eléctrica que conlleva el uso de sistemas de bombeo solar, para este caso en específico, en donde para satisfacer la demanda total del vital líquido, la bomba tiene que hacer uso de la energía eléctrica de la red una vez aprovechado el recurso solar. Este ahorro generado de 192 MWh anuales, un 81% respecto al sistema actual refleja un beneficio ambiental, con la reducción de 100 tCO₂ anuales emitidas al ambiente.

Recomendaciones de sustitución

Si bien la mayoría de los equipos evaluados satisfacen los criterios de selección de todos los indicadores, en el capítulo cuatro se presentaron una clasificación que permite identificar de una manera muy sencilla y por etapas la implementación de medidas de eficiencia energética.

En la primera etapa se recomienda las sustitución de las medidas altamente rentables cuya inversión de poco más de \$152,087 dólares se puede recuperar en un corto tiempo del orden de medio año, generando ahorros en VPN de \$814,388 dólares y en VAE de \$132,537, con una TIR que en la mayoría de las tecnologías comparadas es superior al 100% y una relación B/C con un valor mínimo de 2 para el caso donde se evalúan las lámparas incandescentes y un valor máximo de 12 cuando se evalúan las lámparas en aditivos metálicos.

Otra ventaja de la implementación de estas medidas, es la importante contribución a la mitigación de CO₂, que como se muestra en la curva de costos de mitigación, son las lámparas de vapor de sodio las de mejor posicionamiento.

En una segunda etapa se recomienda el reemplazo de las medidas catalogadas como rentables cuya inversión asciende a los \$20,249 dólares, con ahorros económicos en VPN de \$226,263 dólares y en VAE de \$36,930, además de presentar una relación B/C con valores de magnitud de 3 a 23. En esta categoría entran lámparas de VSAP, fluorescentes lineales T-8, fluorescentes compactas, LED's, despachadores de agua y el aire acondicionado.

En una tercera etapa se recomienda la sustitución de la mayoría de los equipos ofimáticos como lo son las computadoras, los ventiladores, las impresoras, un número reducido de lámparas fluorescentes lineales T-8, y dentro de esta categoría entra el SBSFV.

La inversión requerida se estima en \$245,192 dólares, y ahorros en VPN de \$62,861 y en VAE de \$7,500 dólares. Siendo el SBSFV el que mayores ahorros económicos generaría, alrededor de \$61,988 dólares en VPN y \$7,281 dólares en VAE, con una relación B/C de 1.4

La implementación gradual de las medidas, permitirá al municipio de Temixco, generar ahorros

económicos los cuales podrán ser utilizados en consecución del programa de ahorro de energía, un beneficio importante al hacerlo de esta manera, es que el ahorro generado se verá reflejado en un tiempo muy corto, permitiendo así a las autoridades municipales ocupar ese recurso en la mejora de otros programas, esto dentro de los tres años que dura el mandato.

Ahorro energético y beneficios ambientales

Las medidas tecnológicas enfocadas a la eficiencia energética en el municipio de Temixco, demuestra que se pueden obtener resultados positivos en beneficio económico y ambiental. Por una parte podemos concluir que existe un ahorro significativo en el consumo de energía eléctrica entre las tecnologías evaluadas.

El ahorro de energía eléctrica resultado de la comparación entre tecnologías es del orden de 1,510 MWh/año un 52.6%, de la inclusión de tecnologías no evaluadas el ahorro es del orden del 15%, que en términos monetarios se estarían ahorrando \$258,595 dólares, es una cantidad de dinero considerable, que puede utilizarse para la continuación de programas de eficiencia energética, ó para el beneficios de otros programas de carácter social.

Producto del ahorro en el consumo de energía eléctrica se concluye que las tecnologías evaluadas permiten al municipio reducir un total de 879 tCO₂ al año, lo que contribuye en gran medida a la mitigación del cambio climático, y es un aporte mas a los compromisos que tiene México como país ante la firma del protocolo de Kioto.

Financiamiento para la implementación de medidas de eficiencia energética

La aplicación de medidas tecnológicas en materia de eficiencia energética requiere de una inversión, la cual puede comprometer las finanzas públicas si es que no se cuenta con el recurso suficiente, para solucionar este problema se han creado programas de financiamiento los cuales se presentaron en el capítulo 4.

De todos los programas de financiamiento, uno de los más adecuados para la implementación efectiva de medidas de ahorro de energía eléctrica en alumbrado público y equipos ofimáticos, es el programa PePPS de ICLEI-Gobiernos Locales para la Sustentabilidad, este programa de buen soporte no sólo apoya a los municipios en la compra de productos ahorradores de energía eléctrica, sino que también ofrece capacitaciones, talleres y seminarios que de ser aprovechados generarían un cambio en el comportamiento del usuario final.

Dentro del programa se gestionan recursos ante dos instituciones financieras: BANOBRAS y FIDE, esta ultima ofrece financiamiento a proyectos de uso de fuentes renovables y alternas, a lo cual se concluye que es idónea la participación del Municipio de Temixco en este programa y que le permita acceder al recurso financiero de estas dos instituciones para implementar ya sea de forma inmediata o de forma gradual como se propone las medidas de eficiencia energética.

Anexo 2. Facturación del palacio municipal

Medidor 4G8G74
4G8G72
4G8G73

Consumo kWh

	2007	2008	2009
1		3439	2942
3		3192	3001
5		3897	5047
7		4373	3663
9		3856	3903
11	3430	3772	

Facturación

	2007	2008	2009
		\$9,773	\$9,055
		\$9,008	\$8,015
		\$10,496	\$13,411
		\$12,404	\$9,378
		\$11,538	\$10,466
	\$9,586	\$11,612	
		\$64,831	

Medidor 4N7L16

Consumo kWh

	2007	2008	2009
1		4062	258
3		1234	533
5		1181	1427
7		1239	1047
9		1593	988
11	2720	532	
	2720	9841	4253

Facturación

	2007	2008	2009
		\$0	\$796
		\$445	\$1,436
		\$3,184	\$2,385
		\$3,516	\$2,693
		\$1,110	\$2,659
	\$7,604	\$1,636	

Medidor 7P4B74

Consumo kWh

	2007	2008	2009
1		6184	6391
3		7731	5399
5		7688	6623
7		7845	6691
9		7413	6384
11	6601	7409	

Facturación

	2007	2008	2009
		17564	19669
		21808	14407
		20702	17594
		22250	17115
		22182	17112
	18436	22808	

Medidor 23CY79

Consumo kWh

	2007	2008	2009
1		30613	5184
3		2168	4424
5		11111	7168
7		3472	6450
9		3584	6238
11		4239	

Facturación

	2007	2008	2009
		93812	17343
		7277	12834
		35128	20697
		10705	17934
		11657	18174
		14183	

Medidor 93C9J0

Consumo kWh

	2007	2008	2009
1			17
3			1563
5			2688
7			2320
9			2611
11			

Facturación

	2007	2008	2009
			1676
			4541
			7772
			6463
			7615

Medidor 61PV48

Consumo kWh

	2007	2008	2009
1		9003	570
3		1108	481
5		2557	674
7		566	631
9		611	830
11	1405	597	

Facturación

	2007	2008	2009
		28993	1909
		3405	1409
		7487	1962
		1747	1772
		1988	2430
	3183	1996	

Medidor 05RA13

Consumo kWh

	2007	2008	2009
1			1648
3			1662
5			2307
7		1780	2242
9		2517	2089
11		2166	

Facturación

	2007	2008	2009
			5515
			4831
			6673
		5494	6246
		8187	6096
		7246	

Anexo 3. Ejemplo de herramienta de calculo para equipos ofimáticos e iluminación.

Herramienta de calculo equipo de oficina

Equipo de computo

Características	Convencional	Eficiente
Marca	Ensamblada	Optiplex 160 alta eficiencia 87 %
No. de equipos a sustituir	121	121
Precio unitario \$ pesos Mexicanos	\$10,000.00	\$11,399.00
Precio sin IVA 16%	\$8,620.69	\$9,826.72
Precio en \$USD 2009	\$667.24	\$760.58
Precio en USD 2007	\$644.86	\$735.07
Costo de instalación \$ pesos Mexicanos	\$853.00	\$853.00
Costo de instalación sin IVA 16%	\$735.34	\$735.34
Costo de insatacion en \$USD 2009	\$56.92	\$56.92
Costo de instalación en USD 2007	\$55.01	\$55.01
Mantenimiento \$ pesos	201.6	201.6
Mantenimiento \$USD 2009	13.45	13.45
Mantenimiento \$USD 2006	13	13
Valor de rescate	0	0
Vida de equipo	5	5
Consumo de energia kWh-día	101.64	30.11
Días laborables		240
IVA		0.16
TREMA		0.1
Tipo de cambio técnico copar 2009		12.92
Depreciación		0.3
Tarifa de energia eléctrica \$ pesos 2006		2.25
Tarifa de energia eléctrica USD 2006		0.17

Tarifa de energia eléctrica promedio 2009

Tarifa 2	\$/kWh	USD\$/kWh 2009	USD\$/kWh 2006	Cargo fijo anual
Cargo fijo	45.54	3.52	3.41	40.88
Por cada uno de los primero 50 kW-h	1.75	0.14	0.13	
Por cada uno de los siguientes 50 kW-h	2.12	0.16	0.16	
Por cada kW-h adicional a los anteriores	2.33	0.18	0.17	
Días laborables	240			

n	ACTUAL	EFICIENTE	ACTUAL	EFICIENTE
0	\$84,683.69	-\$84,683.69	\$95,599.8	-\$95,599.8
1	1573.04	-\$1,430.04	1573.04	-\$1,430.04
2	1573.04	-\$1,300.04	1573.04	-\$1,300.04
3	1573.04	-\$1,181.85	1573.04	-\$1,181.85
4	1573.04	-\$1,074.41	1573.04	-\$1,074.41
5	1573.04	-\$976.74	1573.04	-\$976.74

VPN=	-\$90,646.75	-\$101,562.9	-\$106,918.70	-\$106,492.3
AE=	\$23,912.39	\$26,792.0	\$28,204.88	\$28,092.4

CASTOS DE OPERACION

CARGO POR ENERGIA CONSUMIDA

AE=	\$4,292.50	\$1,300.39
-----	------------	------------

COSTOS ANUALES TOTALES

AE=	\$28,204.88	\$28,092.4
-----	-------------	------------

PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSION

PR=	3.65	\$31.95
-----	------	---------

ENERGIA CONSUMIDA

	CONVENCIONAL	EFICIENTE
	kWh/año	kWh/año
	24393.6	7226.4

ENERGIA ANUAL AHORRADA

	17167.2	70.38%
--	---------	--------

COSTO DE LA ENERGIA AHORRADA

	\$0.2
--	-------

TASA INTERNA DE RETORNO

	11.52%
--	--------

Relación B/C

	1.04
--	------

Anexo 4. Ejemplo de Herramienta para el calculo de indicadores para lámparas del alumbrado público.

Sustitución de lámparas

ADM 175 W por VSAP 70 W

	ADM	VSAP
Potencia de lámpara (W)	175	70
Potencia lámpara balastro (W)	218.75	84.75
Número de lámparas	75	75
Potencia instalada (W)	16406.25	6356.25
Horas de uso al año	4380	4380
Consumo de energía kWh/año	71859.36	27840.36

Energía ahorrada kWh/año 44019
 Porcentaje ahorrado 61.26%

Lámpara	ADM	VSAP
Precio en pesos 2010	213	101
Precio sin iva 2010	183.62	87.07
Tipo de cambio técnico COPAR 07	12.03	12.03
Precio en pesos 2007	159.41	75.59
Precio USD 2007	13.25	6.28
Vida útil horas	10000	24000
Política de reemplazo años	2	5

No se considera un precio para el balastro actual, ni sustitución de este

Balastro	ADM	VSAP
Precio 2010	N/A	641
Precio sin iva 2010		552.59
Tipo de cambio técnico COPAR		12.03
Precio cte 2007		479.72
Precio USD 2007		39.88
Política de reemplazo		5
Costo de instalación	100	100
Costo de inst 2007	86.81	86.81
Costo de inst USD 2007	7.22	7.22

TREMA	10.00%
Costo de reemplazo \$2010	100
Costo reemplazo cte 2007	86.81
Costo reemplazo USD 2007	7.22

TARIFA ELECTRICA

Precio medio de energía (\$/kWh)	1.96	sistema de información energética
Precio medio de energía cte 2007	1.7	
Precio medio de energía USD 2007	0.14	

Recomendación de cambio de

n	CONVENCIONAL	EFICIENTE	CONVENCIONAL	EFICIENTE	INCREMENTAL
0	\$0.00	\$0.00	-\$4,003.23	\$0.00	\$4,003.23
1	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$10,156.09	-\$3,934.76
2	\$1,535.04	-\$1,268.63	\$0.00	-\$11,691.13	-\$7,756.37
3	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$10,156.09	-\$6,221.33
4	\$1,535.04	-\$1,048.46	\$3,462.00	-\$11,691.13	-\$4,294.37
5	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$10,156.09	-\$6,221.33
6	\$1,535.04	-\$866.49	\$0.00	-\$11,691.13	-\$7,756.37
7	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$10,156.09	-\$6,221.33
8	\$1,535.04	-\$716.11	\$3,462.00	-\$11,691.13	-\$4,294.37
9	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$10,156.09	-\$6,221.33
10	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$10,156.09	-\$6,221.33

INVERSION

VPN=	-\$3,899.67	-\$7,982.86	-\$68,304.46	-\$32,160.26	-\$34,144.19
AE=	\$634.65	\$1,299.17	\$10,790.74	\$5,233.93	\$5,556.81

COSTO DE OPERACIÓN

Cargo por energía consumida \$10,156.09 \$3,934.76

COSTO ANUAL TOTAL \$10,790.74 \$5,233.93

PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

PR \$0.64

TASA INTERNA DE RETORNO

TIR 162.95%


COSTO DE ENERGÍA AHORRADA

CEA \$0.02

B/C 9.55

Se calculo en moneda constante, quitando la inflación en pesos mexicanos y convirtiendo en dolares con tipo de cambio de 1 copar

Anexo 5. Cotización del Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaico marca LORENTZ.

LORENTZ Pump Mechanics (Beijing) Co., Ltd				LORENTZ 				
Consignee Solartronic S.A. de C.V. Av. Morelos Sur No.90 Col. Chipitlán, 62070 Cuernavaca, Morelos, Mexico Tel: +52 (777) 318-9714 Fax:+52 (777) 318-8609			Address: Zhangxie Village,Liangxiang Town, Fangshan District, Beijing 102401, China Tel: +86 106 345 5327 Fax: +86 106 345 4525 e-mail: Lorentz@Lorentz.com.cn www.Lorentz.de					
Notify Party			Banking: Bank Of China Beijing Branch Langqinyuan Sub-branch. EUR: 825123164208092038 USD: 825123164208092014 SWIFT: BKCHCNBJ10					
Invoice No.: Our Ref.: 10073075 Your Ref.: Your mail dated 30th, Jul, 2010 Date: 30-Jul-10 Terms: Ex-works Payment: 100% in advance at order Validity: 30days Shipping date: 3 weeks after payment received								
Quotation								
Pos.	Ident-No.	Product	Specification	Unit	Quant.	List Price/Unit	Trade Disc. [%]	Amount USD
Requirement: Lift=70m, Flow Rate=367CBM/day, Irradiation=7.9kWh/m²/day PS21K C-SJ30-16 Pump with 112pcs of LC175-24M PV moduels, Total 19,600Wp, Tracked (16pcs wired in series, 7sets in parallel)								
1	1199	PS21K C-SJ30-16	Pump System Solar Direct, Centrifugal Pump C-SJ30-16 outlet female thread G3" , Franklin Motor 6", 400VAC-15Kw, 50 / 60Hz, Controller PS21K-AC	set	1	28,500.00		28,500.00
2	1658	Well probe sensor	Water level sensor for dry run protection. Two wire Reed-switch probe with POM protection housing, Max. pressure 5 bar	set	1	80.00		80.00
3	1662	Cable splice kit 6-10mm ²	Submersible cable splice kit for ECDRIVE, 6 to 10mm ²	set	1	22.00		22.00
4	1833	ETATRACK active 2000-A	Kit single axis active tracking system for PV-Modules, size of the total module surface 20,5 m2 ,Controller, PVC box, Linear Actuator and all fixation parts, beams hot zinc coated an pre-drilled incl.mounting pole	set	7	5,100.00		35,700.00
5	2844	Senior Junction Box	Junction box, 6 set of parallel power Plus and Minus cables from minor junction box with heavy duty terminals including fixation parts on wall	pc	1	218.00		218.00
6	2845	Minor Junction Box	Junction box for single power Plus and Minus cables from PV modules with heavy duty terminals including fixation parts on pole	pc	7	218.00		1,526.00
7	2849	PV Disconnect 750V/40A	PV Disconnect switch 750V/40A, Plastic box 250x200x122, IP65	pc	1	951.50		951.00
8	968	Photo Voltaic Module	LORENTZ, LC175-24M, mono crystalline, 175Wp, maximum power voltage 34.5V, connection box + cables with connectors	pc	112	770.00		86,240.00
9	9701	Wire Set	1 set of 20m MC cable with connector on one side	set	7	160.00		1,120.00
10	1023	Photo Voltaic Module	Suntech, STP 010S-12/Kb, mono crystalline, 10 Wp, nominal voltage 12V, connection box	pc	7	44.00		308.00
11	2518	Cable submersible	2x1,5mm ² for Well probe	m	80	0.72		57.75
12	2524	Cable submersible	3*8mm ² & 1x4mm ² , round	m	80	4.90		391.61
13	2706	Safety Rope	Safety Rope Dia 10mm, UHMW PE, 6000kg max. load	m	80	3.64		290.91
14	2750	Safety Rope connector	Safety Rope connector stainless steel	set	1	13.64		13.64
15	9902	Grounding Connect	Grounding Connect Kit including rod D25x2.5m, cable copper connector fixed on rod, 10m 6sqmm cable green-yellow	set	1	100.00		100.00
Total:								
Gross weight: 6570 KGS Volume: 15 CBM								
Our delivery and services are based on our General Delivery and Payment Terms and Conditions which can be downloaded from our homepage www.lorentz.de/downloads . If requested we will send them out on postal way.								
Comments:							Net Amount	155,518.91
							Freight Cost	
							VAT / MWST	
							Total USD	155,518.91

Anexo 6. Herramienta para el calculo de indicadores económicos del pozo plutarco.

DATOS	Especificaciones	Unidad	Cantidad	Precio unitario USD 10	monto total USD 10	USD 2007	vida útil	Cambio de 2006 a 2007
PS21K C-SJ30-16	Sistema de bombeo solar directo, Motor Franklin 6", 400VAC-15 KW, 50/60 Hz, controlador PS21K-A-C	set	1	28500	28500	27099.68	10	
Sonda de minimo nivel	Sensor de nivel de agua para protección contra marcha en seco con POM protección Max presión 5bar	set	1	80	80	76.07		
Cable empalmado 6-10mm ²	Kil de cable empalmado sumergible por EC DRIVE, 6 a 10 mm ²	set	1	22	22	20.92		
ETATRACK activo 2000-A	Kil de eje unico de seguimiento activo para Mulo FV, tamaño de la superficie total del modulo 20.5 m ² , Controlador, caja PVC Actuator linealy todas las piezas de fijación, ligas recubiertas de zinc, pre perforados,	set	7	5100	35700	33945.91		
Caja de conexiones	Caja de conexiones,	pc	1	218	218	207.29		
Caja de conexiones			7	218	1526	1451.02		
FV desconector 750V40A	Interruptor de desconexión FV 750V40A, Caja plástica 250x200x122, IP65		1	951.5	951	904.27		
Modulo fotovoltaico	LORENZ, LC175-24M, mono cristalino, 175Wp voltaje de maxima corriente, 34.5 V, caja de conexión, mas cables	pc	112	770	86240	82002.67		
Cables	1 conjunto de 20cm cable con conector en uno de los lados	set	7	160	1120	1064.97		
Modulo fotovoltaico	Suntech, STP 010S-12Wp, monocristalino, 10 Wp, voltaje nominal 12V, caja de conexión.	pc	7	44	308	292.87		
Cable sumergible	2x1, 5mm ² para sonda	m	80	0.72	57.6	54.77		
Cable sumergible	3x3mm ² y 1x4mm ² ,	m	80	4.9	392	372.74		
cuerda de seguridad	diametro de cuerda de seguridad 10mm UHMW PE, 600kg Max	m	80	3.64	291.91	276.62		
Conector de cuerda de seguridad	Conector de cuerda de seguridad de acero inoxidable	set	1	13.64	13.64	12.97		
Conector a tierra	Kil conector a tierra	set	1	100	100	95.09		
				155519.15	147877.86			
				155,519.91 USD	145,701.99 USD			sustitución

Herramienta de calculo

n	SISTEMA DE BOMBEO FV	SISTEMA CONVENCIONAL	INCREMENTAL
0	\$147,877.86	-\$147,877.86	0
1	\$5,451.14	-\$4,985.59	\$30,828.20
2	\$5,451.14	-\$4,505.08	\$30,790.44
3	\$5,451.14	-\$4,095.53	\$30,790.53
4	\$5,451.14	-\$3,723.21	\$30,806.33
5	\$5,451.14	-\$3,384.75	\$30,790.44
6	\$5,451.14	-\$3,077.03	\$30,790.44
7	\$5,451.14	-\$2,797.30	\$30,790.44
8	\$5,451.14	-\$2,543.00	\$30,790.44
9	\$5,451.14	-\$2,311.36	\$30,790.44
10	\$4,340.84	-\$1,230.58	\$34,566.00
11	\$5,451.14	-\$1,910.59	\$30,790.44
12	\$5,451.14	-\$1,736.94	\$30,790.44
13	\$5,451.14	-\$1,579.00	\$30,790.44
14	\$5,451.14	-\$1,435.46	\$30,790.44
15	\$5,451.14	-\$1,304.36	\$30,790.44
16	\$5,451.14	-\$1,186.30	\$30,790.44
17	\$5,451.14	-\$1,079.48	\$30,790.44
18	\$5,451.14	-\$981.44	\$30,790.44
19	\$5,451.14	-\$891.31	\$30,790.44
20	\$5,451.14	-\$810.28	\$30,790.44

Parámetros de análisis para el calculo económico	
Periodo de estudio	20 años
TREMA	10.00%
DyM 1% del costo inicial	1478.78

El estudio se realiza en moneda constante de 2007.

COSTO DE EQUIPO CONVENCIONAL	MN 2010	MN 2007	USD 07
Bomba sumergible	\$20,107.12	\$17,455.61	\$1,451.01
Motor sumergible	\$32,212.08	\$27,964.30	\$2,324.55
TOTAL	\$52,319.20	\$45,419.91	\$3,775.56
Costo anual de la energía consumida	\$408,672.28	\$370,408.03	\$30,790.44
DyM 1%			\$57.76

TARIFA DE ENERGÍA			
Precio medio de energía TARIFA 6	\$1.16	\$1.01	\$0.08
cargo fijo	\$220.20	\$191.16	\$15.89

Energía consumida por sistema fotovoltaico	
Volumen fallante m ³	238
Capacidad de la bomba m ³ /h	43
Horas restantes	5.53
Potencia de la bomba KW	15
Consumo fallante kWh-día	83.02
Energía consumida kWh-año	30,303.49
Costo de energía fallante	\$6.96
Costo anual de la energía	\$2,541.08

VPN	-\$205,425	-\$209,637.29	\$58,212.52
AE	-\$28,193.32	-\$30,966.74	-\$5,221.25

Carga por energía consumida	-\$3,972.37	\$30,790.44
-----------------------------	-------------	-------------

Periodo de recuperación de la inversión	5.83
---	------

Energía ahorrada	192,394	81%
------------------	---------	-----

Carga por energía ahorrada	\$0.04
----------------------------	--------

TIR	15.57%
-----	--------

Relación Beneficio/Costo	1.46
--------------------------	------

Anexo 7. Solicitud de apoyo para el financiamiento de medidas de eficiencia energética y energías renovables ante el FIDE.



SOLICITUD DE APOYO

1.- DATOS GENERALES DE LA EMPRESA

Razón Social: _____

Título, nombre y puesto de la persona que dará seguimiento al proyecto: _____

Correo Electrónico: _____

Teléfono y Fax (Con clave de larga distancia) _____

Giro: _____

Dirección del inmueble en donde se desarrollará el proyecto:

Calle y Número: _____

Colonia / Municipio: _____

Estado: _____

Código Postal: _____

Nombre del corporativo a que pertenece la empresa: _____

Demanda Contratada: _____

Facturación

Mensual Promedio: _____

Tipo de Proyecto:

Fotovoltaico

Eólico

Generación Energía Eléctrica

Micro cogeneración

Biogás

Gas Natural

Gas LP

Nuevas Tecnologías

Monitoreo vía Internet de EE

2. APOYOS SOLICITADOS: Marque con una X

Financiamiento

Directorio de consultores o

Literatura Técnica, Capacitación

Asistencia técnica para la

Otros

[Especificar] _____

realización de proyectos

3. ¿Por qué medio se enteró del FIDE?

Congreso o exposición

Contacto FIDE

Hojas-caso

NOTIFIDE

Página Web

Revista (Especificar) _____

Cursos

Anuncios espectaculares

Radio

Consultor / Proveedor

Otro

[Especificar] _____

EN CASO DE CUALQUIER DUDA AL ELABORAR ESTA SOLICITUD, POR FAVOR COMUNIQUESE A:
TEL.: 52-54-30-44 Ext. 96120 ó 96170 LADA 01 800 34 33 835

FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

MARIANO ESCOBEDO 420 COL. ANZURES CP 11590 MÉXICO, D.F.

CONMUTADOR: 5254 3044 FAX 5254 2036

<http://www.fide.org.mx>

BIBLIOGRAFÍA

- BANOBRAS, 2011, ¿A quienes apoyamos?, Municipios, Recurso Electrónico, <http://www.banobras.gob.mx/aquienapoyamos/Municipios/Paginas/Inicio.aspx>.
- Bush JF, Du Pont P, Chirarattananon S, 1993 , Energy-Efficient Lighting in Thai Bomercial Buildings, Energy, The International Journal, 13 pp.
- Carreón Chapa Jorge, Limusa, 2004, Manual de Instalaciones de Alumbrado y Fotometría, 270 pp.
- Comisión Federal de Electricidad, 2009, Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico 2009, 29.ª edición, 297 pp.
- Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Estudios y Proyectos Coordinación Electromecánica, 2003, Eficiencia en Sistemas de Bombeo, Documento Técnico, 14 pp.
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía CONAE, 1998, Programa Cien Edificios Públicos, 43 pp.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía CONUEE, 2010, Ciudades PEPS, Recurso Electrónico, http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/Ciudades_PEPS.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, Recomendaciones de Eficiencia Energética para Estados y Municipios, 2010, 32 pp.
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), 2005, Programa e Apoyo Integral para la Eficiencia Energética Municipal, Guías Informativas sobre Alumbrado Público, 62 pp.
- CONAGUA, 2010, Atlas Digital del Agua México 2010, Recurso Electrónico, <http://www.conagua.gob.mx/atlas/>.
- Croucher M, 2011, Potential Problems and Limitations of Energy Conservation and Energy Efficiency, Energy Policy, 39, (2011), 5795-5799, 5pp
- Davis G.R, 1990, Energía para el Planeta Tierra, Investigación y Ciencia, N° 170
- De Buen O, 2009, Fodos Públicos Para Programas de Ahorro de Energía y Aprovechamiento de Energías Renovables, Energía Tecnología y Educación, 80 pp.
- Di Stefano J, 2000, Energy Efficiency and the Environment: The Potential for Energy Efficient Lighting to Save Energy and Reduce Carbon Dioxide Emissions at Melbourne University, Australia, Energy 25(2000) 823-839, 17 pp.
- DOF, 2009, Decreto por el que se aprueba el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE) 2009-2012, 77 pp.
- DOF, 2010, NOM-023-ENER-2010, Eficiencia Energética en Acondicionadores de Aire Tipo Dividido, Descarga Libre y sin Conductos de Aire. Límites, Métodos de Prueba y Etiquetado, 21 pp.

- DOF, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 17-06-2009, Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 70 pp.
- DOF, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1999, NOM-058-SCFI-1999, Productos Eléctricos-Balastos para Lámparas de Descarga Eléctrica en Gas-Especificaciones de Seguridad, 17pp.
- DOF, Secretaría de Energía, 1999, Decreto por el que se Crea la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, como Organo Desconcentrado de la Secretaría de Energía, 3 pp.
- DOF, Secretaría de Energía, 2005, NOM-007-ENER-2004, Eficiencia Energética en Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales 15pp.
- DOF, Secretaría de Energía, 2005, NOM-013-ENER-2004, Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en vialidades y Areas Exteriores Públicas, 7pp.
- DOF, Secretaría de Energía, 2006, NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas, 815 pp.
- DOF, Secretaría de Energía, 2007, NOM-011-ENER-2006, Eficiencia Energética en Acondicionadores de Aire tipo Central o Paquete Dividido. Límites, Métodos de Prueba y Etiquetado, 40 pp.
- DOF, Secretaría de Energía, 2008, Decreto por el que expide la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, 8pp.
- DOF, Secretaría de Energía, 2008, Decreto por el que se expide la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, 8 pp.
- DOF, Secretaría de Energía, 2008, NOM-021-ENER/SCFI-2008, Eficiencia Energética y Requisitos de Seguridad al Usuario en Acondicionadores de Aire tipo Cuarto, Límites, Métodos de Prueba y Etiquetado, 72pp.
- DOF, Secretaría de Energía, 2010, NOM-021-ENER-/SCFI/ECOL-2000, Eficiencia Energética, requisitos de seguridad al usuario y eliminación de clorofluorocarbonos (CFC's) en acondicionadores de aire tipo cuarto, limites, métodos de prueba y etiquetado, 68 pp.
- FIDE, 2010, Financiamiento a Municipios, Recurso Electrónico http://www.fide.org.mx/home/interior.asp?cve_sub=16.
- FIDE, 2009, Especificaciones Sello FIDE 4436, Balastos Atenuadores para Lámparas de Descarga en Alta Intensidad, 7 pp.
- Gomez G, Alcantara A, Barragan P, Givoni B, 2005, Human factor in thermal performance of natural ventilated buildings, International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment.

- Herring H, Energy Efficiency-a Critical View, *Energy*, 31, (2006) 10-20, 11p
- ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad, Manual de Compras Energéticamente Eficientes, 2007, 65 pp.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal INAFED, 2005, Enciclopedia de los Municipios de México Estado de Morelos, Temixco, Recurso Electrónico, <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/morelos/Municipios/17018a.htm>.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE, 2002, Propuesta de Modelo de Ordenanza Municipal de Alumbrado Exterior para la Protección del Medio Ambiente Mediante la Mejora de la Eficiencia Energética, 68pp.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE, Ministerio de Administración Pública, Manual de Buenas Practicas en el uso de Equipos Ofimáticos proyecto: Efforts (Energy EffECient Improvement in the European Public Administrations), pp 22.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE, Protocolo de Auditoría Energética de las Instalacione de Alumbrado Público Exterior, 2008.
- James L. Riggs, David D. Bedworth, Sabah U. Radhawa, Alfaomega 2002, Ingeniería Económica, 638 pp.
- Kostic Miomir, Djokic Lidija, 2009, Recommendations for Energy Efficient and Visually Acceptable Street Lighting, *Energy* 34 (2009) 1565-1572, 8pp.
- Mckelvey John Pilip, Harla c1980, Física para Ciencias e Ingeniería.
- Meah Kala et al, 2008, Solar Photovoltaic Water Pumping-Opportunities and Challenges, *Reneweable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008) 1162-1175. 14pp.
- Odeh I, Yohanis Y.G, Norton B, 2006, Economic Viabiliti of Photovoltaic Water Pumping Systems, *Solar Energy* 80, 850-860, 11 pp.
- Oikonomou V., Becchis F, Steg C, Rusolillo D, Energy Saving and Energy Efficiency concepts for policy making, *Energy Policy* 13 (2009) 4787-4796. 10 pp.
- Poveda Mentor, OLADE, 2007, Eficiencia Energética: Recurso no Aprovechado, Documentos Técnicos, 25 pp.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, 2008, Anuario Un Panorama de Nuestro Cambiante Medio Ambiente 2008, 50 pp.
- Presidencia de la República, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, 2007, Plan Nacional de Desarrollo, 323 pp.

- Programa Sectorial de Energía 2007-2012, 2007, 52 pp.
- Purohit Pallav, 2007, Financial Evaluation of Renewable Energy Technologies for Irrigation Water Pumping in India, *Energy Policy* 35(2007) 3134-3134, 11pp.
- Radulovic D, Skok S, Kirincik Vedran, 2010, Energy Efficiency Public Lighting Management in the Cities, *Energy*, 36 (2011) 1908-1915, 8pp.
- R. San Martín, E. Manzano, V.P. Albert, *Gestión y Explotación de Instalaciones de Alumbrado*, 2s Jornades Tècniques sobre energia Barcelona 19, 1998.
- Sánchez Aarón, *Fideicomiso de Riesgo Compartido, Tecnología Fotovoltaica Aplicada al Bombeo de Agua*, 265 pp
- Sandia National Laboratories, Southwest Thecnology Development Institute, *Guía para el Desarrollo de Proyectos de Bombeo de Agua con Energía Fotovoltaica*, Libro de consulta Vol I y II, 1996, 141 pp.
- Secretaría de Energía, 2008, *Estudio de Tarifas Eléctricas y Costos de Suministro*, 193 pp.
- Secretaría de Energía, 2010, *Estrategia Nacional de Energía*, 72 pp.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales , 2010, *Guía de Programas de Fomento de Energías Renovables para los Municipios de la República Mexicana*, 47 pp.
- Short T. D, Oldach R, 2003, Solar Powered Water Pumps: The Past, the Present -and the Future?, *Journal of Solar Energy Enginnerin*, 125, 76-82, 14 pp.
- Short Walter, Daniel J. Packey and Thomas Holt, National Renewable Energy Laboratory, 1995, *A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies*, NREL/TP-462-5173, 120 pp.
- Thuesen H. G, Fabrycky W.J, Thuensen G. J, 1986, *Ingeniería Económica*, Prentice-Hall.
- Westinghouse Electric Corporation, Research Development Center, 1989, *Manual de Alumbrado*.
- Llaneza Álvarez J, 2009, *Ergonomía y Psicología Aplicada, Manual para la Formación del Especialista* 13ª Edición, 555 pp.

ACRONIMOS

VASP	<i>Vapor de Sodio de Alta Presión</i>
IDAE	<i>Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía</i>
ADM	<i>Aditivos Metálicos</i>
VM	<i>Vapor de Mercurio</i>
INC	<i>Incandescentes</i>
PAESE	<i>Programa de Ahorro de Energía para el Sector Electrico</i>
PROCALSOL	<i>Programa para Promover Calentadores Solares</i>
FIPATERM	<i>Fideicomiso para el Programa para el Aislamiento Térmico</i>
CONAE	<i>Comisión Nacional para el Ahorro de Energía</i>
CONUEE	<i>Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía</i>
ASI	<i>Programa de Ahorro Sistemático Integral</i>
GEI	<i>Gases de Efecto Invernadero</i>
SENER	<i>Secretaría de Energía</i>
PRONASE	<i>Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía</i>
APF	<i>Administración Publica Federal</i>
MDL	<i>Mecanismo de Desarrollo Limpio</i>
PEPS	<i>Promoviendo un Sector Publico Energéticamente Eficiente.</i>
CIE	<i>Centro de Investigación en Energía</i>
UNAM	<i>Universidad Nacional Autónoma de México</i>
SAPST	<i>Sistema de Agua Potable y Saneamiento de Temixco</i>
CDT	<i>Carga Dinámica Total</i>
CFE	<i>Comisión Federal de Electricidad</i>
USD	<i>Dólares Americanos</i>
INFOMEX	<i>Sistema para solicitar información al Gobierno Federal</i>
DPEA	<i>Densidad de Potencia Eléctrica</i>
LFC	<i>Lámparas Fluorescentes Compactas</i>
LFL	<i>Lámparas Fluorescentes Lineales</i>
LI	<i>Lámparas Incandescentes</i>
LIH	<i>Lámparas Incandescentes de Halógeno</i>
VSAP	<i>Vapor de Sodio en Alta Presión</i>
VM	<i>Vapor de Mercurio</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
VPN	<i>Valor Presente Neto</i>
VAE	<i>Valor Anual Equivalente</i>
PR	<i>Periodo de Recuperación</i>
TIR	<i>Tasa Interna de Retorno</i>
CEA	<i>Costo de la Energía Ahorrada</i>
NOM	<i>Norma Oficial Mexicana</i>
SCFI	<i>Secretaría de Comercio y Fomento Industrial</i>
TREMA	<i>Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva</i>
EPA	<i>Agencia de Protección Ambiental</i>
REE	<i>Relación Eficiencia Energética</i>
IDAE	<i>Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía</i>
DOF	<i>Diario Oficial de la Federació</i>
INC	<i>Incandescentes</i>
SCAPSATM	<i>Sistema de Conservación, Agua Potable y Saneamiento de Agua de Temixco</i>

ONU	<i>Organización de las Naciones Unidas</i>
CONAGUA	<i>Comisión Nacional del Agua</i>
SBSFV	<i>Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaico</i>
FV	<i>Fotovoltaico</i>

SIMBOLOS

R_c	<i>Rendimiento cromático</i>
F	<i>Cantidad futura, (USD)</i>
P	<i>Cantidad presente (USD)</i>
i	<i>Costo de capital o tasa de retorno (%)</i>
n	<i>numero de periodos (años)</i>
F_t	<i>Flujo neto de efectivo en el periodo t (USD)</i>
CE	<i>Carga estática (m)</i>
CD	<i>Carga dinámica (m)</i>
v	<i>volumen de agua requerido (m^3)</i>
CDT	<i>Carga dinámica total (m)</i>
R_b	<i>Régimen de bombeo (l/s)</i>
H	<i>Carga de fricción (m)</i>
k	<i>Constante de la formula de Manning</i>
l	<i>Distancia recorrida por el agua en las tuberías (m)</i>
Q	<i>Flujo de agua (m^3/s)</i>
η	<i>Eficiencia de la bomba (%)</i>