

“Análisis de viabilidad para el uso de energías renovables para Electrificación rural de una comunidad indígena, México.



Autor: Rodrigo Pérez Ramírez.

RESUMEN DEL PROYECTO

Aunque México cuenta con un nivel relativamente alto de cobertura (alrededor del 95%), este porcentaje es significativamente menor en los estados del Sur del País, quienes cuentan con menor infraestructura, inferior calidad en los servicios y donde más del 10% de las viviendas carece de energía eléctrica.

Estas viviendas satisfacen sus necesidades de energía eléctrica con fuentes fósiles como candelas, GLP y diesel oil, que emiten GEI perjudicando el ambiente global. La baja demanda potencial, la alta dispersión rural y la reducida densidad habitacional hacen que la solución convencional para electrificar estas comunidades sean las energías renovables.

Durante el proyecto se recorrió el proceso de diseño de una planta híbrida. Se comenzó recorriendo las características principales del recurso eólico y solar a fin de adquirir un conocimiento de los mismos vital para que el diseño y un trabajo apropiado en el menor tiempo posible ante la ausencia de datos que es nota común en un proyecto como el presente.

Una vez conocidas las características de los distintos recursos se realizó una investigación sobre la determinación de la carga. Se dividió el consumo por centros de carga (40 viviendas, 1 escuela, 1 centro de salud y 1 tienda de abastos) tratando de desentrañar los posibles patrones de consumo de cada una de ellos.

A partir de ello y con la ayuda de un programa informático se buscó un sistema óptimo más ajustado a nuestras necesidades. En nuestro caso se hará uso de HOGA (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms) el cual es un programa de optimización de Sistemas Híbridos de Energías Renovables para la generación de energía eléctrica (DC y/o AC) y/o Hidrógeno, el programa también permite la optimización multi-objetivo, donde no sólo se busca la minimización de costes, sino también la minimización de otra variable (las emisiones de CO₂ o la Energía No Servida).

A partir de ello se estudió el modo de cubrir las necesidades mediante energía solar, eólica y diesel restringido. La forma de resolver los casos fue mediante la metodología específica recogida con la ayuda de optimización mediante HOGA, dando como resultado una instalación híbrida compuesta por tres aerogeneradores de 6.5 kW, los cuales suministran 19,5 kW. El campo fotovoltaico se compondrá de 18 paneles en paralelo, con potencia nominal de 165 W y 1 en serie con una potencia total de 2,97 kW, el generador será de 3 kW, junto con 2 baterías en serie x 4 bat. paralelo de Cn = 462 A·h. cubriendo una potencia total de 44,3 kWh, además de un Inversor de 4500 VA. Todos ellos cubriendo una demanda total del 14946 kWh/año.

Por último se realizó un somero barrido por las distintas metodologías de estimaciones económicas dando como resultado un coste del 0.72 €/kWh producido en este tipo de plantas con un **Coste Total del sistema (VAN): 83759 €**

I.- ANTECEDENTES Y CONTEXTO.

México es un país con abundancia de recursos hídricos, que han sido aprovechados parcialmente con la construcción de grandes hidroeléctricas que junto a las plantas geotérmicas representan el 25.4 % de la capacidad total del Sistema Eléctrico Nacional en 2002, y aportan el 15.1% de la generación nacional. Esta enorme capacidad instalada permite al país tener cubierta la demanda potencial de electricidad de los próximos 25 años. Sin embargo, aunque México cuenta con un nivel relativamente alto de cobertura (alrededor del 95%, según cifras oficiales), este porcentaje es significativamente menor en los estados del Sur del País, quienes cuentan con menor infraestructura, inferior calidad en los servicios y donde mas del 10% de las viviendas carece de energía eléctrica.



Fuente: INEGI; XI Censo general de Población y Vivienda

Las comunidades que aun no cuentan con el servicio se encuentran en zonas montañosas (la mayoría de ellos de origen indígena), primordialmente en las fronteras de los estados. Acceder a estos lugares empleando la red resulta en un incremento significativo de los costos. De hecho, la información de la Comisión Federal de Electricidad muestra que la colocación de la red en este entorno cuesta tres veces mas de lo que costaría la colocación de sistemas no convencionales de energías alternas.

La energía es una parte fundamental de cualquier actividad productiva; su ausencia socava la posibilidad de un desarrollo sustentable. Así mismo, la generación, transporte, uso y consumo de esta tienen un fuerte impacto sobre el medio ambiente y la calidad de vida de la población. El sector energético de México representa entre el 4 y el 7% del PIB, genera cerca del 40% de los ingresos del sector público, y produce cerca del 8% de las exportaciones.

En el contexto Mexicano, el crecimiento de la energía rural descentralizada está basada en la productividad, a diferencia del paradigma convencional basado en pobreza, donde el servicio eléctrico se caracteriza por la cultura del no pago y la creencia de que la electricidad es un deber del Estado. Al igual que en muchos países, en México, las líneas de transmisión de alta tensión cruzan regiones donde la gente no tiene electricidad. Así, este Proyecto demuestra como es posible orientar un subsidio directo de los megaproyectos a las inversiones iniciales en energía rural descentralizada para usos productivos.

I.1.- El Sector Eléctrico

La provisión del Servicio de Energía Eléctrica en gran escala consta principalmente de las siguientes actividades: Generación, Despacho, Transmisión, Distribución y Comercialización. Estas actividades, por disposición de ley son competencia exclusiva de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y de Luz y Fuerza del Centro (LFC), cuando tengan por objeto la prestación del servicio público. CFE tiene a su cargo la prestación del Servicio Público de Energía Eléctrica en todo el Territorio Nacional, salvo en el Distrito Federal y parte de los estados de México, Morelos, Hidalgo y Puebla, áreas atendidas por LFC. Actualmente entre ambos organismos públicos atienden a 25 millones de usuarios.

La capacidad actual de generación de energía eléctrica del sector en su conjunto es de 50,679 MW, de la cual, el 74.0% corresponde a CFE, 1.7% a LFC, 3.9% a PEMEX, 14.3% a PIE, 4.3% a Autoabastecimiento, y 1.8% a Cogeneración.

Capacidad Instalada en México 2004	MW	%
CFE	37,512	74.0
LFC	834	1.7
PEMEX	1,973	3.9
PIE	7,265	14.3
AUTOABASTECIMIENTO	2,185	4.3
COGENERACIÓN	909	1.8
TOTAL	50,679	100.0

Nota: Con información a mayo 2004

En el periodo comprendido entre 2003 y 2012 se plantea agregar capacidad al sector del orden de 28,200 MW, así como modernizar los Sistemas de Transmisión y Distribución a fin de alcanzar Estándares Internacionales en Calidad y Eficiencia del Servicio. Estas necesidades implican inversiones del orden de 583,000 millones de pesos. Durante el mismo periodo, sólo se llevarán a cabo retiros por alrededor de 4,2004 MW, es decir, sólo se está respondiendo al crecimiento de la demanda dejando de lado la modernización de los activos del sector, cuya situación se encuentra lejos de los parámetros internacionales de calidad.

En particular hoy en día el 44% de las unidades de generación cuenta con más de 30 años de vida activa, para 2012 esa proporción se acercará a 70%.

Las necesidades en materia de electricidad de una Economía Globalizada como la Mexicana exigen una constante expansión y modernización para mantener la competitividad de la Industria Nacional. Por lo tanto, es urgente una Reforma Estructural del Sector y de su Marco Normativo para que los Capitales de los Sectores Público, Social y Privado puedan participar en el desarrollo de la industria sin necesidad de contar con garantías.

La actual política energética considera la necesaria diversificación en la generación de electricidad, mediante el impulso y desarrollo de las tecnologías que aprovechan las fuentes primarias de energía, de tal forma que contribuyan al desarrollo sustentable del país. La ubicación geográfica y orográfica de México permite disponer de un significativo potencial de generación eléctrica con energía renovable.

I.2.-La Electrificación Rural

Las energías renovables ofrecen importantes oportunidades para aplicaciones en entornos donde la energía convencional no llega, o llega solo de manera parcial. Esto es particularmente útil en el entorno rural, entre poblaciones con altos niveles de marginación. La falta de energía en comunidades rurales aisladas constituye una situación crítica, ya que suele estar asociada con la ausencia de telecomunicaciones, educación, servicios de salud, y frecuentemente, agua potable.

En términos generales, no existen planes oficiales de utilización de las energías renovables como fuente para la electrificación rural descentralizada. No existe ningún tipo de reglamentación, ley o plan que promueva las fuentes renovables para la Electrificación rural. Los esfuerzos medioambientales son relativamente recientes a nivel oficial, por lo que la prioridad, reflejada en el marco legal e institucional, aún es la biodiversidad, el manejo de los recursos forestales y las diversas formas de contaminación ambiental.

Por ello, se hace necesario coordinar acciones entre la CFE, las instancias federales responsables de las política social, y los gobiernos estatales y locales, buscando que la CFE asista a las municipalidades para manejar los términos técnicos de las ofertas de servicios de energía. Las instancias federales de política social juegan un papel crucial: los programas de apoyo, y en particular las políticas de lucha contra la pobreza, consideran la provisión de infraestructura básica como componente central.

La estrategia de micro regiones, que incluye un fuerte componente de participación comunitaria, busca crear polos comunitarios de desarrollo para mejorar el acceso a agua, electricidad, educación, telecomunicaciones y servicios de salud.

De igual manera, la estrategia que ha venido siguiendo la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI), ha incluido el desarrollo de infraestructura de caminos, agua y electricidad. En esta última, el énfasis se ha puesto en la colocación de red eléctrica en pueblos de mediano tamaño (de entre 1,200 y 2,400 personas). Una segunda etapa considera la introducción de energías renovables de abastecer pueblos menores, con mayores dificultades de acceso.

Existen ya proyectos en operación para la provisión de energía en el sector rural mediante el uso de energías renovables. El Fideicomiso de Riesgo Compartido de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Social, Pesca y Alimentación (SAGARPA), por ejemplo, ha venido impulsando un programa con apoyo del GEF, para instalar equipos de bombeo agrícola que operan mediante energía fotovoltaica.

Mientras tanto las comunidades rurales sin acceso a la electricidad satisfacen sus necesidades de iluminación y comunicaciones sociales con fuentes alternativas: velas de parafina, GLP, gasoil, diesel oil y en algunos casos, baterías de automóvil.

I.3.-Las energías Eólica y Fotovoltaica en México

En general, dada la dispersión y la baja densidad energética de las fuentes renovables de energía, se requiere de grandes extensiones de tierra para lograr un nivel de aprovechamiento similar al de los sistemas que operan con combustibles fósiles. Igualmente, los sistemas de aprovechamiento de energías renovables tienen que ubicarse en el lugar donde se dispone del recurso, lo que muchas veces ocurre lejos de donde está la necesidad. Estas circunstancias, sin embargo, no han sido un impedimento para su desarrollo, como lo demuestran los proyectos en operación en el país.

De una manera muy general se puede afirmar que la República Mexicana recibe, en seis horas de exposición al Sol, la misma cantidad de energía que consumirá durante todo un año. Esta energía se transforma en calor, viento, agua evaporada y en diversas formas de biomasa y solo una fracción pequeña es aprovechable para el uso que los humanos le damos a la energía.

En México, existen actividades tendientes al aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones desde hace varias décadas, aunque es particularmente significativo el avance e interés de instituciones e industrias en las últimas tres, periodo en el que se han desarrollado investigaciones y diversos proyectos, prototipos, equipos y sistemas para el mejor aprovechamiento de las energías renovables.

De manera general, resalta la investigación y desarrollo en energías renovables que arranca en la mitad de la década de los setentas y que continúa hasta la fecha. En este sentido, son importantes las actividades de universidades e institutos, nacionales y regionales, a lo largo y ancho del país.

Igualmente importante ha sido el trabajo de difusión y promoción de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la cual ha unificado a esta comunidad, particularmente a través de sus semanas y reuniones nacionales celebradas anualmente desde 1977.

Por otro lado, son importantes los trabajos para la manufactura y comercialización de equipos y sistemas relacionados con las energías renovables, en donde resalta la gran cantidad de fabricantes de calentadores solares planos en el territorio nacional.

Finalmente, para analizar y plantear estrategias nacionales sobre energías renovables, la Secretaría de Energía se ha apoyado en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, Conae, quien a su vez, estableció, desde hace más de tres años, una alianza con la ANES, y juntas han operado el Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables, Cofer, al cual concurren reconocidos especialistas de los sectores público y privado y en cuyo contexto se han organizado media docena de foros públicos sobre asuntos relacionados con la promoción de las energías renovables.

I.3.1. Energía solar

El conocimiento general que se tiene de la energía solar en nuestro país indica que más de la mitad del territorio nacional presenta una densidad en promedio energética de 5 kWh por metro cuadrado al día.

Esto significa que para un dispositivo de colección y transformación de energía solar a energía eléctrica que tuviera una eficiencia de 100%, bastaría un metro cuadrado para proporcionar energía eléctrica a un hogar mexicano promedio que consume 150 kWh por mes. De manera más precisa, considerando eficiencias de 10% para los dispositivos en el mercado, se puede decir que con 200 millones de m² de área de colección de radiación solar (un área de 14.2 Km por lado) podríamos dar electricidad a todos los hogares mexicanos.

Esto no significa, sin embargo, que la energía solar directa sea la más económica para el universo de usuarios de energía en el país, ya que su costo actual sólo lo justifica para un número limitado de usuarios, particularmente los que viven alejados de la red eléctrica.

I.3.1.2 Fotovoltaicos

En el contexto nacional, los pioneros en el desarrollo de tecnología de generación de electricidad, a partir de celdas fotovoltaicas, fueron investigadores del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), quienes desarrollaron una pequeña planta piloto con una capacidad de producción de fotoceldas que permitió, en los años setenta, proveer de electricidad a un número significativo de aulas dentro del sistema nacional de telesecundarias.

A través de un esfuerzo del gobierno federal dentro del Programa Solidaridad, y mediante la participación de instituciones como Comisión Federal de Electricidad (CFE), y los Gobiernos estatales y municipales, entre otros, se instalaron en México alrededor de 40,000 sistemas fotovoltaicos, y otros diez mil por la iniciativa privada, para proveer de electricidad a zonas alejadas de la red eléctrica. Esto ha permitido que miles de pequeños poblados cuenten con iluminación eléctrica durante las noches y, en algunos casos, con electricidad para bombeo de agua. Igualmente, el uso de estos sistemas se ha generalizado para la comunicación en sistemas de auxilio e iluminación en carreteras federales, para dar energía a estaciones del sistema de comunicación por microondas y a la telefonía rural.

Asimismo, en México se aplican ampliamente los sistemas fotovoltaicos en sistemas de comunicación telefónica rural. La capacidad instalada en sistemas fotovoltaicos en México, según datos de la ANES, fue de 0.9 MW para el año de 1999, con lo que el acumulado, hasta ese mismo año, es de 12.92 MW.

I.3.2 Energía eólica

Se estima que el potencial eoloeléctrico técnicamente aprovechable de México alcanza los 5,000 MW, lo que equivale a 14% de la capacidad total de generación eléctrica instalada actualmente. Este potencial tiene ahora mayores posibilidades de desarrollarse, por la disminución de sus costos que han llegado a ser casi competitivos con las energías convencionales y por las modificaciones a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento. En este sentido, resaltan los potenciales identificados en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, en la parte correspondiente a la costa del Pacífico. Se han identificado también sitios en los estados de Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Hidalgo, Quintana Roo y Zacatecas.

En nuestro país existe desarrollo tecnológico importante en relación con la generación de electricidad a partir del viento. En particular, resalta el trabajo del Instituto de Investigaciones Eléctricas, IIE, con más de 20 años de experiencia en el tema. En el sector privado, destaca la capacidad de diseño y manufactura nacionales de este tipo de equipos desarrollados por una empresa que los exporta ensamblados en el Distrito Federal.

Por su parte, la Comisión Federal de Electricidad, CFE, a partir del conocimiento y de la experiencia desarrollada en el IIE construyó y opera dos plantas eólicas piloto, con el objetivo de adentrarse en esta tecnología, reconocer sus ventajas y limitaciones, y validar su integración al Sistema Eléctrico Nacional.

En agosto de 1994, la CFE puso en operación una central eoloeléctrica de 1.5 MW de capacidad en La Venta, Oaxaca. En diciembre de 1998, entró en operación la central eólica Guerrero Negro que se ubica en la península de Baja California Sur y tiene una capacidad de 600 kW.

Asimismo, en algunos estados de la República tales como Chihuahua y Sonora, se utilizan sistemas eólicos para bombeo de agua denominados *aerobombas*, muy útiles en localidades rurales aisladas de la red de suministro, o cuyas condiciones geográficas impiden la electrificación convencional.

Finalmente, y desarrolladas con capital privado, se tienen 5 permisos de la Comisión Reguladora de Energía, CRE, para instalar 148 MW a partir de energía eólica.

II.-SITUACIÓN ACTUAL.

Como parte de los esfuerzos de la Secretaría de Energía para lograr un desarrollo sustentable en nuestro país, el sector energía fomenta el uso de las fuentes alternas de energía, tanto para aplicaciones conectadas a la red como en el entorno rural, e impulsa acciones de eficiencia energética en los ámbitos estatal y municipal para así identificar potenciales, definir intereses estatales y establecer vínculos de apoyo financiero y técnico que permitan la implementación de proyectos factibles y de beneficio regional.

Parte de los esfuerzos propician la participación de los distintos actores bajo las siguientes vertientes: Políticas institucionales, Asistencia técnica y desarrollo tecnológico, Cooperación y financiamiento nacional e internacional.

En este esfuerzo participan dependencias y organismos gubernamentales, tales como la Secretaría de Energía (SENER), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), BANOBRAS, el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), el Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE), la Universidad Nacional Autónoma de México (CIE-UNAM), la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) y la Universidad de Guanajuato.

También existe apoyo de instituciones internacionales de apoyo y organizaciones privadas ligadas al tema tales como la Agencia para el Desarrollo de los Estados Unidos (USAID) y el Banco Mundial. Además de instituciones como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Laboratorio Sandia, Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), PA Consulting Group, Fundenerg y Winrock International.

III.-JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Se ha identificado la falta de una política del Gobierno Mexicano en el sentido de promover alternativas para la electrificación rural, de manera que sin una asistencia de algún organismo Gubernamental, en el contexto Indígena no se producirá ningún cambio significativo en el paradigma actual. Por ello, se requiere estructurar un marco normativo que oriente el cambio hacia una

complementariedad, entre los desarrollos de los megaproyectos hidroeléctricos y los sistemas descentralizados de energía renovable.

México, al igual que otros países es un caso en el contexto latinoamericano. Aún teniendo una alta disponibilidad a largo plazo de energía limpia y abundante basada en mega-proyectos hidroeléctricos, el Proyecto de electrificación rural demuestra como los pequeños sistemas de energía renovable descentralizados en regiones con alta dispersión, baja densidad poblacional y usos productivos de baja demanda de potencia, pueden ser una alternativa costo-eficiente al paradigma tradicional.

La alternativa más costo-eficiente en el contexto actual para electrificar a las viviendas sin acceso al Sistema tradicional, y sin tener en cuenta consideraciones ambientales, es la generación con diesel. Sin la intervención de las energías alternativas, se estima que las 143.729 viviendas afectadas serán electrificadas en los próximos 20 años con equipos electro generadores diesel, como ya lo demuestran las tendencias actuales.

En general, los sistemas fotovoltaicos dominan buena parte del territorio Mexicano. Esta conclusión se previó cuando se analizaron los recursos disponibles en el país; las características de la radiación solar, tanto en sus valores nominales como en su distribución geográfica uniforme, la hacen el recurso por excelencia. En aquellos lugares donde la velocidad promedio anual de los vientos ronda los 5 m/s, los sistemas híbridos tienen un excelente potencial, aunque restringen la arquitectura del sistema a uno centralizado.

III.1.- Objetivo General

El objetivo general del Proyecto propuesto es analizar la viabilidad de generación de energía eléctrica mediante sistemas híbridos en la comunidad de San Pedro Loma Larga, San Andrés Paxtlán, Oaxaca, mejorando con ello las condiciones de vida de la población indígena de menores recursos económicos y aumentar la productividad de las comunidades rurales, contribuyendo a la estrategia de la reducción de la pobreza mediante el uso de energías renovables.

Los objetivos específicos de esta operación son:

- (i) Caracterización de los recursos eólicos y solares de la zona.
- (ii) Optimización y simulación del sistema mediante uso de programas informáticos
- (iii) Análisis económico y costes de la instalación..

III.2.- METAS

La intervención de este proyecto, como alternativa a la situación actual, está diseñada para enfocar la creación de un marco estructural favorable a las fuentes renovables de energía para la electrificación rural en regiones indígenas marginadas. Como consecuencia de la intervención del presente proyecto en el corto y en el largo plazos, se puede resumir como sigue:

a. Los beneficios para el medio ambiente global con la intervención GEF son como mínimo de *1.038.283 toneladas de CO₂* reducidas en un horizonte de 20 años, si se considera la línea base definida, en que las viviendas rurales reciben la solución más costo-eficiente, la generación diesel.

b. Los beneficios locales más importantes: el impulso al desarrollo rural de las comunidades indígenas resultante del enfoque integrado del proyecto; un impacto positivo en los ingresos de las viviendas rurales, en el corto plazo, como consecuencia del énfasis del proyecto en los usos productivos de la energía generada; condiciones ambientales mejoradas para las viviendas rurales; y una movilización de recursos humanos, técnicos y financieros hacia un mercado surgente, con sus consecuencias económicas previsibles.

IV.- DIAGNOSTICO DE LA REGION QUE ABARCA EL PROYECTO

IV.1-- Los pueblos indígenas

Sin duda, el gran rasgo común de los municipios con menor índice de desarrollo humano de México es su condición indígena. La problemática más apremiante en ellos es la ausencia de una estructura productiva sólida que garantice fuentes de ingreso estables para la población.

La migración se ha convertido en una estrategia fundamental para la subsistencia. Los flujos migratorios adquieren un cariz distinto según la región de que se trate: pueden ser temporales o permanentes, internos de cada región, hacia otros puntos de la República Mexicana o hacia Estados Unidos; para dedicarse a labores agrícolas, o bien a actividades tan diversas como la construcción, los servicios o el comercio ambulante.

Otro rasgo común de estos municipios es la riqueza natural de los territorios que habitan. Su diversidad abarca todo tipo de ecosistemas, desde el semidesierto hasta el bosque de coníferas, el bosque mesófilo y el bosque tropical o selva. Todos ellos albergan una diversidad biológica de gran importancia para el país; sin embargo, en muchos casos estos ecosistemas han sido sometidos a una explotación intensiva o a una excesiva presión demográfica que los ha colocado en grave situación de riesgo.

En la mayor parte de estos municipios prevalecen formas de gobierno que tienen su origen en prácticas tradicionales, en muchos casos reconocidas legalmente, como en los municipios de Oaxaca regidos por el sistema de usos y costumbres. En otros, pese a no tener reconocimiento constitucional, las autoridades tradicionales tienen gran relevancia en los procesos de acceso y ejercicio del poder; así como en la toma de decisiones importantes para la población del municipio.

Las últimas décadas han marcado otro denominador común para la mayor parte de los municipios con menor IDH del país: el de una creciente conflictividad social, que frecuentemente ha dado lugar a estallidos violentos y al desplazamiento interno de poblaciones.

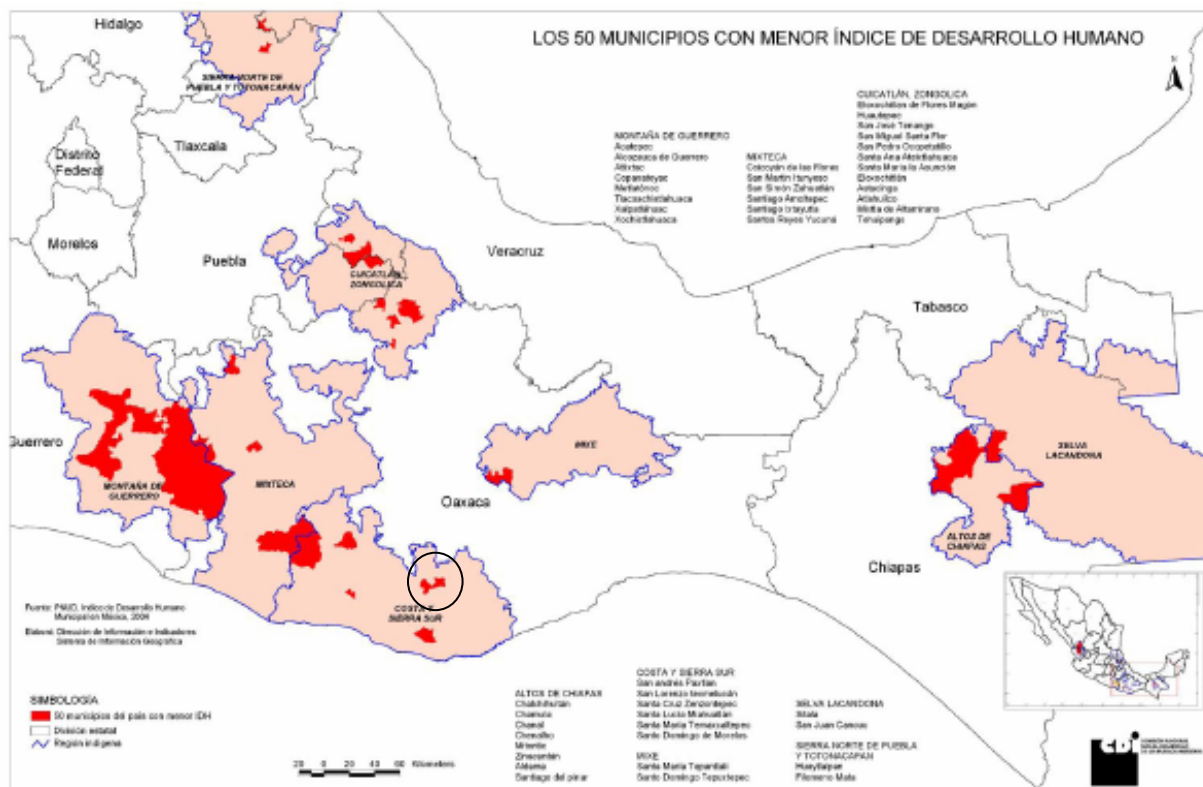
Asimismo, en todos estos municipios se observa un importante rezago en materia de procuración e impartición de justicia, entre cuyas principales causas se encuentran la inexistencia de recursos e infraestructura, las violaciones procesales sistemáticas y la falta de garantías de seguridad para las víctimas. Existe dilación en la investigación de los hechos y en los procedimientos penales; en general, hay una falta de resultados en la obtención de justicia.

Entre los 50 municipios con el menor índice de desarrollo humano del país, seis se ubican en la región Costa y Sierra Sur de Oaxaca: San Andrés Paxtlán, San Lorenzo Texmelucan, Santa Cruz Zenzontepec y Santa Lucía Miahuatlán, de la Sierra Sur; y Santa María Temaxcaltepec y Santo Domingo de Morelos, de la Costa de Oaxaca.

En los municipios que integran la región Costa y Sierra Sur habitan e interactúan distintos pueblos indígenas: triqui, amuzgo, mixteco, zapoteco, zapoteco sureño, mixe, chontal, chatino y chinanteco; también cuenta con presencia de población afromexicana, así como con población no indígena.

Las actividades económicas de los diferentes pueblos indígenas son desarrolladas por las estrategias de subsistencia agrupadas en el sistema de la milpa, las cuales se combinan con la producción de cultivos comerciales: ajonjolí, café, caña, etcétera. La venta de su fuerza de trabajo y otras actividades productivas han sido incorporadas por las unidades domésticas de los diferentes pueblos indígenas para acceder a los productos que requieren del mercado. Recurren así al desarrollo de otras actividades productivas, como las artesanías, a explotar los recursos naturales y, sobre todo, a la migración.

Para formar parte de la comunidad, todos los adultos tienen la obligación moral de formar parte del poder comunal, sobre todo al asistir a las asambleas generales y al cumplir con los servicios para los que son electos de acuerdo al sistema de cargos. En las tradiciones culturales indígenas oaxaqueñas existe la tendencia generalizada a establecer un sistema de grados de edad. Esa posición generacional define los distintos papeles domésticos: hijo, hermano, padre, abuelo; pero a su vez se determina la vida política mediante la inserción generacional dentro de los sistemas de cargos civiles y religiosos.



IV.2.- LOCALIZACIÓN

Se localiza en la parte sur del estado, en las coordenadas 96° 30' longitud oeste, 16° 13' latitud norte y a una altura de 2,000 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el municipio de Miahuatlán de Porfirio Díaz; al sur con San Mateo Río Hondo; al oriente con Santo Tomás Tamazulapan; al este con Miahuatlán de Porfirio Díaz. Su distancia aproximada a la capital del estado es de 123 kilómetros y La superficie del municipio tiene 77.83 km² que representan el 0.1% del total del territorio estatal.

En los cuadros siguientes se resumen las principales características del municipio:

Población total	3723
% Población analfabeta de 15 años o más	41.20
% Población sin primaria completa de 15 años o más	68.04
% Ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo	10.75
% Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica	36.62
% Ocupantes en viviendas sin agua entubada	64.84
% Viviendas con algún nivel de hacinamiento	87.06
% Ocupantes en viviendas con piso de tierra	90.67
% Población en localidades con menos de 5 000 habitantes	100.00
% Población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos	92.59
Lugar que ocupa en el contexto estatal	24
Lugar que ocupa en el contexto nacional	56

Índice de desarrollo humano (IDH)	0.536
--	--------------

Tasa de mortalidad infantil	46.8
Porcentaje de las personas de 15 años o más alfabetas	58.8
Porcentaje de las personas de 6 a 24 años que van a la	49.6
PIB per cápita en dólares ajustados	1005
Índice de sobrevivencia infantil	0.667
Índice de nivel de escolaridad	0.557
Índice de PIB per cápita	0.385
Lugar a nivel Nacional	2367

Cuenta con 6 rancherías :

El Carrizal, La Venta, La Ciénega, La Concepción, El Portillo, San Pedro Loma Larga

Flora: Se tiene una gran variedad de flora como: pinos, encinos, poleo, flor del fandango, flor de Nochebuena, muzgo, hongos, mala mujer, latex, rabo de iguana; en cuanto a frutas tenemos: naranjas, peras, mangos, duraznos, zapotes, tejocotes, higos, capulín, aguacates; como plantas medicinales encontramos: la ruda, el albahácar, el romero, la espinocilla, la sabila, la malva, el tomillo, el gordolobo y el toloache.

Fauna: En la fauna también se encuentra gran variedad de especies como: jilguero, lechuzas, aguiluchos, tecolotes, zopilotes, zorras, zorrillos, armadillos, iguanas, tlacuaches, coyotes, venados, víbora de cascabel, víbora sorda, araña capulina, chintatlahua, escorpión, alacranes

Orografía. El cerro principal es el Tepalcatlillo, se encuentran otros como el Cerro de las Flores, el Cerro de La Postema, el Cerro de Piedra Manchada que es una mojonera que limita con San Sebastián y San José del Pacífico.

Hidrografía: Se riega con las afluentes de los ríos: Oscuro, Manzanillo y Molino.

Clima: Es templado con lluvias en verano.

Grupos étnicos: De acuerdo con el XII Censo General de Población y Vivienda 2000, efectuado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), la población total de indígenas en el municipio asciende a 2,668 personas. Las lenguas indígenas son: el zapoteco y el zapoteco sureño.

Evolución demográfica. De acuerdo con el XII Censo General de Población y Vivienda 2000, efectuado por el INEGI, la población total del municipio es de 3,723 habitantes, de los cuales 1,833 son hombres y 1890 mujeres. La población total del municipio representa el 0.11 por ciento, en relación con la población total del estado

Religión: Al año 2000, de acuerdo al citado Censo, efectuado por el INEGI, la población de 5 años y más que es católica asciende a 3,169 habitantes, mientras que los no católicos, en el mismo rango de edades, suman 48 personas.

Salud: Se cuenta con dos unidades médicas dependientes del I.M.S.S., así como tres casas de salud dependientes de la S.S.A

Abasto: El municipio cuenta con 2 tiendas de abasto popular. Para proveerse de lo necesario acuden los días lunes al tianguis de Miahuatlán.

Vivienda: De acuerdo con el XII Censo General de Población y Vivienda, efectuado por el INEGI, el municipio cuenta al año 2000 con 535 viviendas. La mayoría de las viviendas que existen en esta población están construidas de techos de láminas y pared de adobe, muy pocas son las casas que están hechas de material industrializado

Servicios Públicos: La cobertura de servicios públicos, de acuerdo con las apreciaciones del Ayuntamiento es:

Servicio Cobertura (%)

Agua potable 100

Alumbrado público 90

Baños ecológicos 30

Fosas sépticas 70

Seguridad pública 30

Medios de comunicación: Los medios de comunicación más importantes con los que cuenta el municipio son: estaciones de radio, señales de televisión abierta, se cuenta con una caseta telefónica, se captan señales de telefonía celular

Vías de comunicación: Se cuenta con un camino de terracería de 7 kilómetros que entronca con la Carretera Federal Oaxaca-Puerto Ángel, en el kilómetro 120.

Actividades económicas: El 80% de la población se dedica a la agricultura. Se cultiva principalmente maíz, frijol, chícharos, trigo, calabazas. También la fruticultura como: tejocote, duraznos, manzanas criollas; también cosechan verduras como: lechugas, rábanos, acelgas.

V. EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS DISPONIBLES

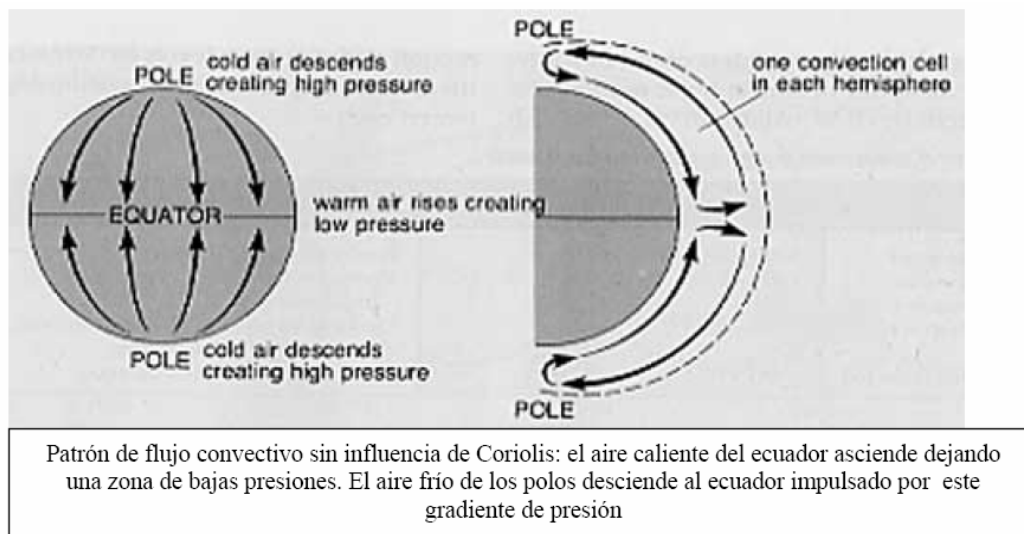
Uno de los primeros escollos que se encuentran a la hora de diseñar un sistema basado en energías renovables para electrificación rural en comunidades indígenas es el desconocimiento de los recursos de la zona. En esta sección se pretenden documentar las diferentes alternativas que se han encontrado a la hora de predecir la cantidad de energía de origen renovable disponible en cualquier lugar del mundo.

Existen fuentes de información a escala global como las mediciones vía satélite o mapas elaborados por instituciones internacionales como el UNEP (United Nations Environmental Program) o el NREL (National Renewable Energies Laboratory) que aportan datos de potencial Solar y eólico pero normalmente serán demasiado dispersos o poco fiables. Por eso tendrán que complementarse con la intuición, la experiencia de los habitantes de la zona o con mediciones in situ durante un corto periodo de tiempo.

V.1. Evaluación del potencial eólico

A) Características globales del recurso eólico

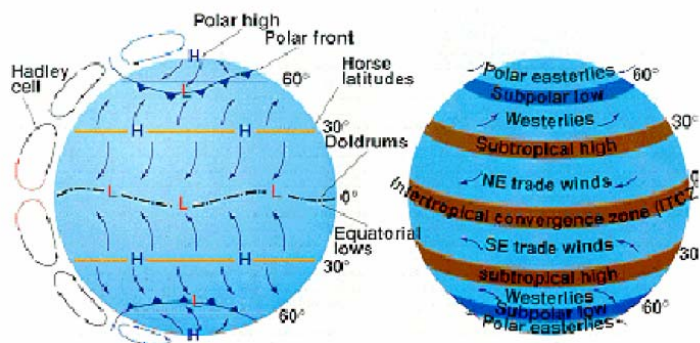
A escala global, la causa del movimiento del aire es el desarrollo de gradientes horizontales de presión dentro de la atmósfera, que se producen por las diferencias de radiación Solar recibida por la Tierra. Las regiones cercanas al Ecuador reciben más energía que las de mayores latitudes (puesto que los rayos Solares inciden más perpendicularmente), esto se traduce en una diferencia de temperaturas que actúan provocando flujos convectivos globales. El aire de latitudes más bajas tiende a ascender verticalmente primero y luego a migrar hacia los polos (donde se enfría) para volver después a bajar al ecuador donde vuelve a calentarse (véanse las ilustraciones adjuntas).



Este efecto general se ve influenciado por las variaciones anuales en la órbita terrestre, por el movimiento rotativo del planeta (entrando en juego las fuerzas de Coriolis), y por la diferente distribución entre Tierra y océano.

Las fuerzas de Coriolis condicionan el patrón de flujo global dividiendo el planeta en tres zonas diferenciadas: de 0° a 30°, de 30° a 60° y de 60° a 90°. Hasta los 30° de latitud el viento en superficie está impulsado por la zona de bajas presiones del ecuador. La dirección dominante es del Noreste en el hemisferio norte y del Sureste en el hemisferio sur. Estos vientos son muy constantes por lo que los países como Haití o Uruguay situados en esta franja tienen un buen potencial de aprovechamiento

eólico. En torno a los 30° aparece una zona de altas presiones: parte del aire que había ascendido caliente en el ecuador se ha enfriado lo suficiente para descender y eso provoca la aparición de un anticiclón (zona de altas presiones). Este efecto condiciona el campo de viento hasta los 60°, allí el aire frío proveniente del polo que se dirige al ecuador “choca” con el aire, ahora ya caliente, que descendió en los 30° apareciendo una zona de inestabilidad atmosférica y bajas presiones. En estas zonas los vientos son menos constantes en duración e intensidad que en la franja supertropical por lo que son menos adecuados para el aprovechamiento.



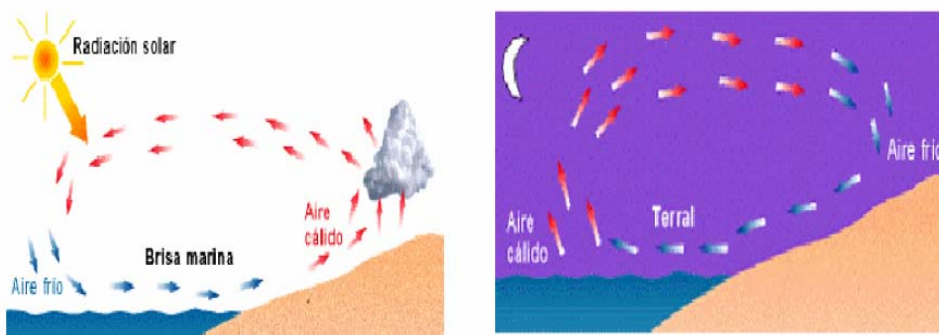
Patrón global de flujo afectado por las fuerzas de Coriolis

Las direcciones dominantes del viento en función de la latitud quedan:

Latitud	90-0°N	60-30°N	30-0°N	0-30°S	30-60°S	60-90°S
Dirección	NE	SO	NE	SE	NO	SE

En cuanto a las variaciones en la órbita terrestre a lo largo del año su principal consecuencia es el desplazamiento de la zona de mayor ganancia Solar hacia el norte o hacia el sur según la estación. Esto provoca como resultado un deslizamiento del patrón general hacia el polo norte en el verano del hemisferio norte y una caída hacia el ecuador en el invierno boreal y viceversa.

Las masas de Tierra continentales “rompen” este patrón general. En el hemisferio sur la cantidad de superficie oceánica es mayor por lo que el efecto es menos acusado pero en el hemisferio norte es bastante notable. Además de la geografía, la diferente difusividad térmica de la tierra y el agua actúan no sólo a nivel diario sino estacional. De hecho, unida a las variaciones anuales de la órbita terrestre, esta característica provoca que las altas presiones tiendan a concentrarse sobre los continentes durante el invierno y sobre los océanos en verano.



B) Efectos locales sobre el recurso eólico

Los descritos hasta el momento son los llamados “vientos geostróficos” y se desarrollan a una altura de 1000 m desde el suelo. Para el aprovechamiento energético, interesan los vientos superficiales, dentro de la llamada capa límite, que alcanza hasta 100 m de altura aproximadamente y está muy influenciada por efectos locales, la rugosidad del terreno y el arrastre de la superficie de la tierra.

La **brisa** es uno de estos efectos microclimáticos. La diferente difusividad térmica de la tierra y el agua hacen que aparezcan diferencias de temperatura entre ellos que actúen como fuerza motriz de vientos locales. Durante el día la tierra se calienta más rápido que el agua así que el aire se mueve hacia tierra adentro, mientras que al anochecer la situación se invierte soplando de tierra hacia el mar.

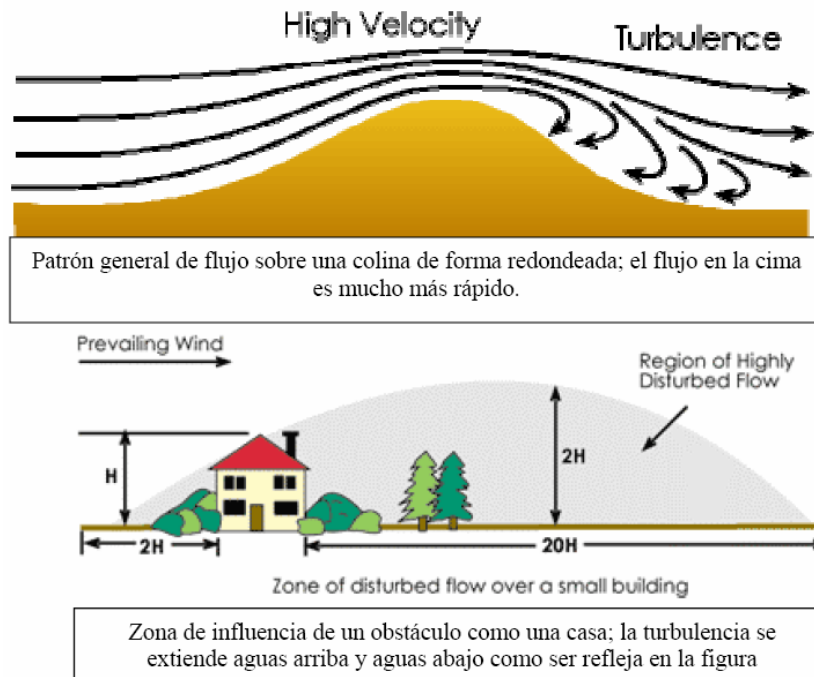
En general cualquier factor que colabore al establecimiento de un gradiente de temperatura entre tierra y mar, como cielos despejados, alta ganancia Solar en tierra (poca vegetación o mucho asfalto o zona urbana), potenciará las brisas. Además también ayuda una costa baja, la ausencia de vientos fuertes con otros orígenes (como depresiones térmicas o polares) y la inestabilidad térmica vertical (es decir, la acumulación de aire frío en la capa superior de la atmósfera y caliente en contacto con la tierra).

Un efecto similar ocurre en los valles. Tras la salida del Sol las laderas de las montañas se calientan y comienzan sobre ellas flujos de aire ascendente (**vientos anabáticos**). Al mediodía estas corrientes ascendentes son fuertes y, según la forma del valle incluso comienza el ascenso del aire hacia su cabecera. Al final de la tarde ya no hay vientos de ladera y el viento sólo circula valle arriba. Tras la puesta del Sol se generan vientos de ladera descendentes (**catabáticos**) y finalmente se produce un flujo descendente a lo largo del valle con aire frío de las montañas.



Además de estos efectos térmicos, los **obstáculos** ejercen otro tipo de influencia sobre la velocidad del viento. Según sea su forma, pueden actuar acelerando o frenando el aire que incide en ellos; si son “suaves” tendrán un efecto potenciador y si son escarpados o de bordes agudos tenderán a

provocar turbulencias y ralentizar el aire que fluya sobre ellos. Existen modelos numéricos y pruebas en túneles de viento que caracterizan el flujo sobre una colina sinusoidal o triangular. Aguas arriba del obstáculo aparece una zona de remanso y estancamiento debido al gradiente de presión desfavorable al movimiento; en la cima la velocidad aumenta hasta en un 100% de su valor inicial y aguas abajo se produce un desprendimiento de la capa límite y una zona de flujo turbulento. Esta es la peor zona en la que situar un aerogenerador puesto que tendrá que soportar las mayores cargas estructurales sin producir ninguna energía.



El “**efecto túnel**” aparece en los estrechamientos naturales como el que recoge la figura. En este caso, se produce una aceleración en la angostura similar a lo que ocurre en un tubo de Venturi. Hay que tener en cuenta de nuevo que no conviene que el contorno del estrechamiento sea muy accidentado puesto que ello traerá aparejado la aparición de turbulencias que anulan completamente el efecto positivo descrito y provocan desgaste mecánico de los elementos sin producir energía.

C) Consideraciones sobre la capa límite terrestre

El **desarrollo de la capa límite** se verá muy influenciado por la rugosidad del terreno. Esta (la rugosidad) se define en el atlas eólico europeo como la altura en metros a la cual la velocidad del viento es teóricamente nula. Cuanto más rugosidad, la altura a la que desaparece la influencia de la tierra crece provocando un efecto de disminución de la velocidad del viento a un nivel constante. Puesto que la energía disponible aumenta con el cubo de la velocidad, interesa buscar un compromiso entre la cota de la torre, el coste de construcción, y la energía producida estudiando hasta dónde interesa elevarla en función del emplazamiento.

V.2.- Fundamentos de la estimación del recurso del Viento.

V.2.1 Introducción

Esta sección conoceremos los conceptos básicos de la valoración del recurso del viento y algunas de las fuentes de datos que se pueden utilizar en un estudio del emplazamiento.

Los estudios del emplazamiento del recurso del viento se pueden clasificar en tres categorías básicas:

- Identificación preliminar de área.
- Evaluación del recurso del viento del área.
- Micrositing.

Los atlas del recurso del viento de NREL son útiles para las primeras dos categorías, pero no contienen la información detallada necesitada para los estudios micrositing.

V.2.2 Velocidad y dirección del viento

La velocidad del viento es la representación más simple del viento en un punto dado. Los anemómetros u otros instrumentos calibrados miden velocidad del viento. Las velocidades del viento se pueden calcular como promedio o expresar como valor instantáneo. La velocidad del viento que hace un promedio de los intervalos usados comúnmente en estudios del emplazamiento del recurso incluye 1 o 2 minutos (observaciones del tiempo), 10 minutos (el estándar para los programas de supervisión de la energía del viento), de cada hora, la publicación mensual, y períodos anuales.

Es importante saber la altura de la medida para una velocidad del viento dada debido a la variación de la velocidad del viento con altura. Es también deseable saber la exposición de una localización particular a los vientos predominantes porque los obstáculos próximos tales como árboles y edificios pueden reducir la velocidad del viento.

La dirección del viento se mide con una paleta del viento, situada generalmente en la misma altura que el anemómetro. El conocimiento de la dirección del viento predominante es importante en la determinación del recurso disponible. La alineación correcta de la paleta del viento a una dirección de la referencia es importante medir exactamente la dirección del viento, pero siempre no se alinea correctamente.

Las observaciones de la dirección del viento en las estaciones meteorológicas se basan a menudo en un compás 36 puntos (cada 10 grados). Unos ciertos datos de la dirección del viento se expresan en intervalos menos exactos 8-point (cada 45 grados), 12-point (cada 30 grados), o 16-point (cada 25 grados).

La distribución de la dirección del viento se presenta a menudo como rosa de vientos (un diagrama de la frecuencia de la ocurrencia por la dirección). Las rosas de viento pueden también representar cantidades tales como la velocidad media o por ciento de la energía disponible para cada dirección.

V.2.3 Distribución de frecuencias de Velocidad de Viento

La distribución de frecuencia de la velocidad del viento caracteriza el viento en una localización dada de dos maneras.

Primero, la distribución de frecuencia se determina cómo una velocidad del viento dada, se observa a menudo en la localización, y en segundo lugar, identifica la gama de las velocidades del viento observadas en esa localización.

Este análisis es logrado a menudo clasificando las observaciones de la velocidad del viento en los 1-metro-por-segundo (m/s) y computando el porcentaje en cada lapso. La distribución de la velocidad del viento es importante porque los sitios con velocidades del viento medias idénticas pero diversas distribuciones pueden dar lugar a recurso disponible substancialmente diverso del viento. Estas diferencias pueden ser tan grandes como un factor de dos o tres.

V.2.4 Función de Distribución de Weibull

La distribución de frecuencia de la velocidad del viento en muchas áreas se puede aproximar por la función de distribución de Weibull. Se define la función de Weibull como:

$$f(V) = (k/c)(V/c)^{k-1} \exp(-V/c)^k$$

Donde:

$f(v)$ = la función de la densidad de la probabilidad de Weibull, la probabilidad de encontrar una velocidad del viento de V m/s

c = el factor de escala de Weibull, que se relaciona típicamente con la velocidad del viento media con el factor de la forma, expresada en m/s;

k = el factor de la forma de Weibull, que describe la distribución de las velocidades del viento.

Las explicaciones detalladas de la función de distribución de Weibull y de su uso están disponibles en muchos textos, tales como Rohatgi y Nelson (1994).

V.2.5 Densidad de Energía del Viento

El recurso del viento en un sitio se puede describir por la velocidad del viento, pero la densidad de energía del viento proporciona una indicación más verdadera del potencial de la energía del viento de un sitio. La densidad de energía del viento expresa la energía media del viento sobre un metro

cuadrado (W/m^2). La densidad de energía es proporcional a la suma del cubo promedio instantáneo (o a corto plazo) de la velocidad del viento y de la densidad del aire debido a este término cúbico, dos sitios con la misma velocidad del viento media pero diversas distribuciones pueden tener valores de densidad muy diversos de energía del viento. La densidad de energía del viento, en unidades de W/m^2 , esta definida por la ecuación siguiente:

$$WPD = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \rho \cdot v_i^3$$

donde:

WPD = la densidad de energía del viento en W/m^2 ;

n = el número de expedientes en el intervalo que hace un promedio;

ρ = la densidad del aire (kg/m^3) en un rato particular de la observación;

V^3 = el cubo de la velocidad del viento (m/s) en el mismo tiempo de la observación.

Esta ecuación se debe utilizar solamente para los valores individuales de la medida (cada hora, 10-minute, los etc.) y no para los valores medios a largo plazo tales como un valor mensual o anual. Usando esta ecuación con promedios a largo plazo subestimaré la densidad de energía del viento porque el largo plazo hace un promedio que no incluirá la mayoría de los valores de la alta velocidad que calcularían más exactamente la densidad de energía del viento.

El término de la densidad del aire (kg/m^3) es dependiente en temperatura y la presión y puede variar por el 10% a el 15% estacional. Si se saben la presión y la temperatura del sitio, la densidad del aire se puede calcular usando la ecuación siguiente:

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T}$$

donde:

ρ = la densidad del aire en kg/m^3

P = la presión de aire (PA o N/m^2)

R = la constante de gas específica para el aire (287 J/kgK)

T = temperatura del aire los grados Kelvin ($^{\circ}C+273$).

Si la presión del sitio no está disponible, la densidad del aire se puede estimar en función de la elevación del sitio (z) y de la temperatura (t) como sigue:

$$\rho = \left(\frac{P_0}{R \cdot T} \right) \varepsilon^{\left(\frac{-gz}{R \cdot T} \right)}$$

donde:

ρ = la densidad del aire en kg/m^3 ;

P_0 = la presión atmosférica del nivel del mar estándar (PA 101.325), o el nivel del mar real ajustada a

la lectura de la presión de un aeropuerto local;
 g = la constante gravitacional (9.8 m/s^2);
 z = la elevación del sitio sobre el nivel del mar (m).

Substituyendo en los valores numéricos para P_0 , R , y g , la ecuación que resulta es:

$$\rho = \left(\frac{353.05}{T} \right) \varepsilon^{-0.034 \left(\frac{z}{T} \right)}$$

Esta ecuación de la densidad del aire se puede sustituir en la ecuación de la densidad de energía del viento (WPD) para la determinación de cada uno de los valores medios instantáneos o múltiples.

V.2.6 Variación del viento y la ley de la energía

La variación del viento es una descripción del cambio en velocidad del viento horizontal con altura. La magnitud de la variación del viento depende del sitio-específico y dependiente en la dirección del viento, la velocidad del viento, y la estabilidad atmosférica.

Determinando la variación del viento, uno puede extrapolar datos existentes de la densidad de la velocidad del viento o de energía del viento a otras alturas. La forma siguiente de la ecuación de la ley de la energía se puede utilizar para hacer estos ajustes:

$$U = U_0 (z/z_0)^\alpha \quad \text{[Wind Speed]}$$

$$WPD = WPD_0 (z/z_0)^{3\alpha} \quad \text{[Wind Power Density]}$$

donde:

U = la velocidad del viento desconocida en la altura z sobre la tierra;

U_0 = la velocidad sabida en una altura z_0 de la referencia;

WPD = la densidad de energía desconocida del viento en la altura z sobre la tierra; WPD_0 = la densidad de energía sabida del viento en una altura z_0 de la referencia; α = el exponente de la ley de la energía. Un exponente de $1/7$ (o 0.143), que es representante de áreas bien-expuestas con aspereza superficial baja, se utiliza a menudo para extrapolar datos a alturas más altas.

V.3.-CARACTERIZACION DEL RECURSO DEL VIENTO EN OAXACA.

Esta sección presenta una descripción del viento y las estimaciones de la densidad de energía del viento para Oaxaca. El esquema de la clasificación para la densidad de energía del viento usada en el atlas es aplicable para todas las escalas y usos.

V.3.1 Clasificaciones De la Energía Del Viento

La siguiente tabla nos muestra las clasificaciones de la energía del viento para la escala de utilidad y usos en Oaxaca. Las áreas del recurso del viento de la clase 4 y más alto se consideran convenientes para el desarrollo de la energía del viento. Los usos rurales o de la apagado-rejilla requieren menos recurso del viento para que un proyecto sea viable. Para estos tipos de usos, la clase 2 y recursos más altos pueden ser suficientes para el desarrollo viable de la energía del viento.

Table 6.1. Wind Power Classification

Class	Resource Potential (Utility Scale)	Wind Power Density (W/m ²) @ 50 m agl	Wind Speed ^(a) (m/s) @ 50 m agl
1	Poor	0 – 200	0.0 – 5.3
2	Marginal	200 – 300	5.3 – 6.1
3	Moderate	300 – 400	6.1 – 6.7
4	Good	400 – 500	6.7 – 7.3
5	Excellent	500 – 600	7.3 – 7.7
6	Excellent	600 – 800	7.7 – 8.5
7	Excellent	> 800	> 8.5

^(a) Mean wind speed is estimated assuming a sea level elevation and a Weibull distribution of wind speeds with a shape factor (k) of 1.8. The actual mean wind speed may differ from these estimated values by as much as 20%, depending on the actual wind speed distribution (or Weibull k value) and elevation above sea level.

Los datos del modelo de las soluciones de NREL fueron utilizados como la estimación inicial de la energía del viento en Oaxaca. Los ajustes en las estimaciones iniciales de la energía en ciertas regiones fueron hechos después de la evaluación de NREL de los datos meteorológicos disponibles.

Los datos de las torres de la medida en la región del istmo eran absolutamente valiosos en la evaluación de las estimaciones iniciales para esta región. Las regiones ajustadas primarias eran algunas áreas en algunas regiones montañosas de Oaxaca, áreas específicas de Oaxaca del noroeste, partes de la región del istmo, y de áreas costeras seleccionadas.

Los ajustes en las regiones montañosas incluyeron áreas en el sierra Madre de Chiapas, Sierra de Oaxaca, y Sierra Madre del Sur. Porque no hay estaciones de alta calidad obvias de la medida disponibles en las áreas mas boscosas de las regiones montañosas según lo estimado por el modelo del mesoscale, los ajustes en las estimaciones iniciales de la energía para estas áreas fueron basados sobre todo en el análisis y la interpretación de NREL de los datos climáticos. En regiones costeras, los ajustes fueron basados en un análisis de los datos meteorológicos de la estación.

Oaxaca es influenciado por tres flujos predominantes del viento, un noreste al viento del norte a partir de octubre a febrero, un viento del oeste a partir de marzo hasta mayo, y un este al viento norte a partir de junio con septiembre. El más fuerte de los flujos del viento es el noreste al viento del norte, y porque las incidencias de este flujo fuerte ocurren en marzo y abril, este flujo del viento es el más predominante en Oaxaca.

El origen de este flujo Norte es el gradiente de la presión entre la presión más alta en el golfo de México y la presión más baja en el Océano Pacífico. Este flujo del viento es cercano típicamente más

al Norte temprano de la superficie y se convierte en más noreste en las alturas de algunos cientos metros sobre la superficie, según los datos del superior-aire de Reanalysis.

En el Istmo de la región de Tehuantepec, en donde el viento es acanalado fuertemente por la topografía, la dirección del viento puede seguir siendo más del Norte con el aumento de la elevación.

Los vientos fuertes del libre-aire, mayor de 10 m/s en Oaxaca del este durante esta estación, pueden extender apenas de algunos cientos metros sobre nivel del mar a cerca de 1200 m sobre nivel del mar. Por lo tanto, las localizaciones expuestas completamente a estos vientos fuertes del libre-aire, tales como localizaciones en la región acanalada del istmo y en cantos y expusieron el terreno en donde se acanalán o se realzan estos vientos, pueden tener recurso del viento de publicación anual de la clase 6 o de la clase 7.

En Oaxaca occidental, los vientos son 8 m/s a 10 m/s y se extienden a elevaciones más altas de 2000 m a 2400 m sobre nivel del mar. Por lo tanto, las áreas expuestas de Oaxaca occidental donde se acanalán o se realzan estos vientos pueden tener la clase 4 y recurso anual más alto del viento.

Los vientos son generalmente más débiles durante los flujos del oeste del viento que prevalecen de abril con mayo y el este al viento comercial nordestal fluye a partir de junio con septiembre. Durante estos meses, el libre-aire del pico enrolla promedio cerca de 6 m/s a 7 m/s. El flujo del viento comercial del verano extiende a 1500 m en Oaxaca del este. Aunque los vientos comerciales del verano son substancialmente más bajos que los vientos del caer-invierno, las áreas que acanalán o realzan los vientos nordestales del verano pueden tener buen recurso del viento durante esta estación. Los ejemplos de estas áreas son la Mata y el la Venta, que tienen buen recurso del viento durante los meses del verano.

Los mapas del viento demuestra muchas áreas que se estiman para tener recurso de bueno-a-excelentes del viento (clase 4 y más alto). Las mejores áreas del recurso del viento de Oaxaca se concentran en la región del Suroeste del estado, sobre todo en la parte meridional del istmo de Tehuantepec.

La región ventosa del istmo amplía de la costa hacia el norte aproximadamente 60 kilómetros, y aproximadamente 60 kilómetros a 80 kilómetros del este al oeste. El recurso excelente del viento (clase 5 de la energía y arriba) es extenso en esta región del istmo. El recurso más alto (la clase 7) en el istmo ocurre cerca de las colinas (la incluyendo Mata, la Venta, y la Ventosa), de los cantos, y de costa.

Los vientos del Noreste fuertes son frecuentes en la región del Istmo, particularmente durante la estación máxima del viento a partir de noviembre a febrero. Los datos de alta calidad de sitios de la

medida en el Istmo confirman el potencial excelente del recurso del viento en las áreas específicas del Istmo, tales como la Mata, la Venta, y la Ventosa cerca de las colinas y de las localizaciones costeras.

Sin embargo, los datos adicionales son necesarios para validar las estimaciones del mapa en otras áreas del istmo. Muchos cantos y áreas elevadas del terreno adyacente a la región del istmo (hasta 100 kilómetros al este y al oeste del istmo) también se estiman para tener el recurso excelente del viento, pero muchos de estos sitios serían difíciles de convertirse debido a el terreno rugoso y el acceso difícil.

Los modelos climáticos indican que el recurso ambiente del viento adentro y acercan al istmo disminuyen perceptiblemente en las elevaciones sobre 1200 m a 1500 m, así que es probable que muchas de las elevaciones más altas en esta región tengan menos recurso del viento que sitios con menos elevación en el istmo. El sierra Madre de Chiapas tiene muchas áreas estimadas para tener recurso de bueno a excelente, pero el recurso del viento será reducido considerablemente en las elevaciones más altas, especialmente éstas sobre 1500 m.

Las mejores áreas elevadas del recurso son generalmente los cantos más bajos y particularmente los cantos del estímulo que son 500 m a 1000 m en la elevación. Por ejemplo, el norte del estímulo y el noreste localizados los cantos de Santo Domingo se estiman para tener recurso de la clase 7.

Muchas otras regiones de Oaxaca tienen estimadas recurso de bueno a excelente del viento, están situadas en áreas específicas en el Noroeste, central y Sureste de Oaxaca. En todas estas regiones, las mejores áreas se estiman donde el terreno ofrece un cambio y/o aceleración de los vientos del Noreste.

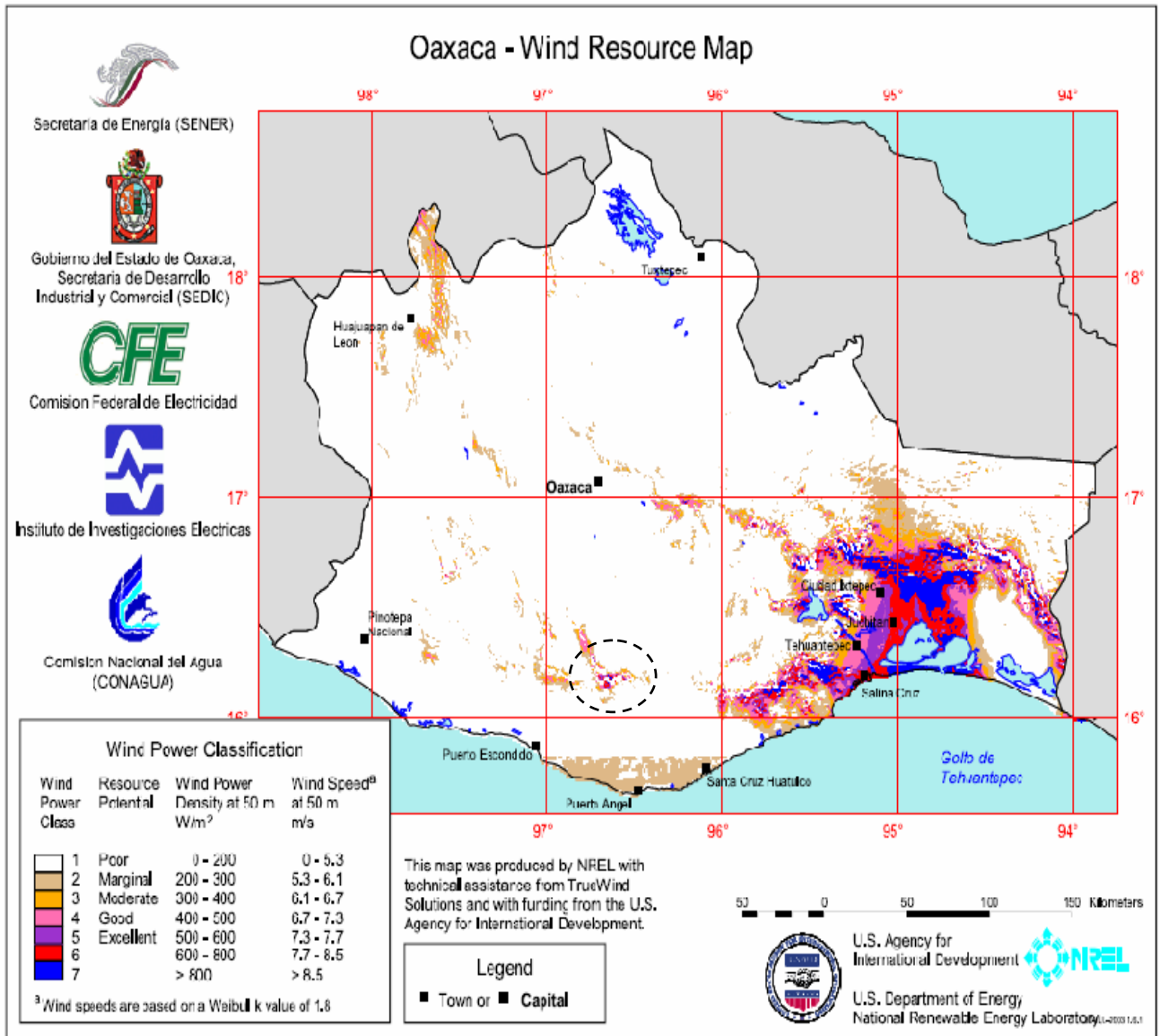
La estación máxima del viento es a partir de octubre y febrero, cuando los vientos del Noreste son los más fuertes y los más frecuentes. En el Noroeste de Oaxaca, las áreas notables del recurso están situadas al este y al norte de Huajuapán de León, en esta área el recurso es de la clase 4 y presencia de clase 5 en área de llanos y de colinas en la vecindad de Santiago Chazumba, localizada aproximadamente 50 kilómetros al norte de Huajuapán de León.

Esta área aparece ser parte de un amplio paso que cambia y acelera los vientos del Noreste. Las elevaciones en el área del paso se extienden entre cerca de 1800 m y 2200 m. A 30 kilómetros al este y al oeste de este paso, las elevaciones caen a 1200 m o a menos.

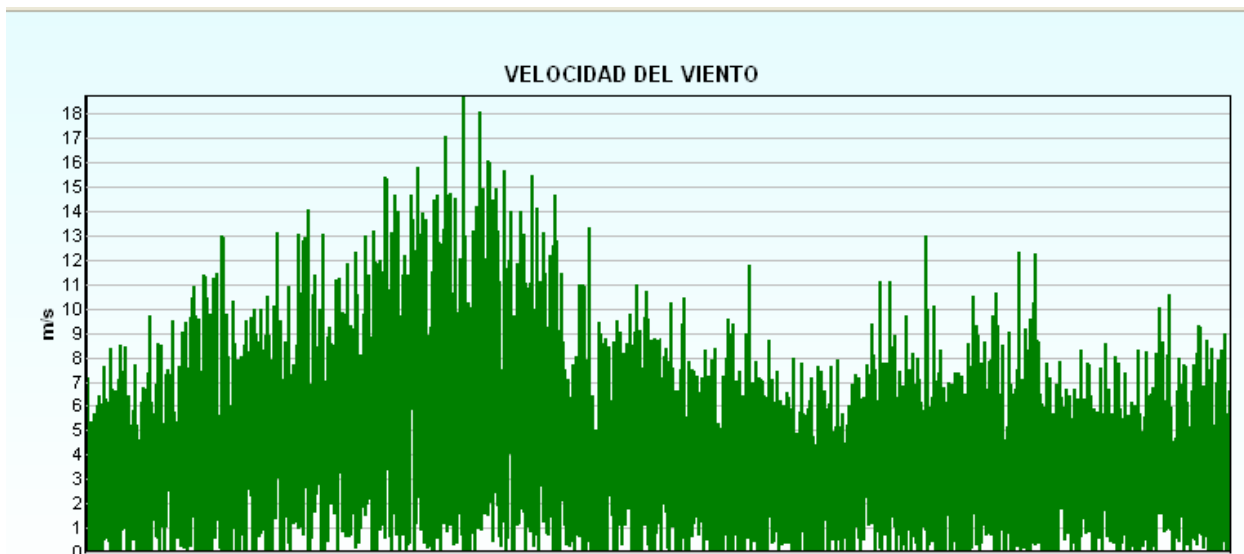
En Oaxaca central, las áreas más notables están situadas aproximadamente 40-70 kilómetros al este de la ciudad de Oaxaca (cerca de Mitla). Aquí, los vientos del Noreste aparecen acelerados sobre los cantos relativamente bajos al norte y al este de Mitla mientras que divergen alrededor del extremo meridional de montañas altas en el sierra de Oaxaca. En el Sureste de Oaxaca las altas áreas del

recurso están situadas aproximadamente 80-110 kilómetros de sur de la ciudad de Oaxaca cerca de la ciudad de Miahuatlan, que es donde precisamente se ubica nuestra región de estudio en donde existe un viento superior a 7 m/s.

Los vientos del Noreste aparecen y se aceleran sobre los cantos relativamente bajos al sur y al oeste de Miahuatlán mientras que divergen alrededor del extremo occidental de montañas altas en el Sierra Madre del Sur.



Teniendo el promedio mensual de nuestro recurso eólico a lo largo del año y con ayuda de programas informáticos podemos caracterizar nuestro recurso día a día durante todo el año, tomando siempre en consideración la altura de medición, que en nuestro caso es de 10 metros, un parámetro de forma 2, y un factor de correlación de 0.5.



VI. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR

El Sol es la mayor fuente de energía de nuestro planeta. La fusión de nuestra estrella produce una radiación media de $4 \cdot 10^{26}$ Vatios de los cuales en la Tierra incide algo más de la mitad ($2 \cdot 10^{17}$ W, $1'5 \cdot 10^{18}$ kWh/año). A partir del conocimiento de la órbita terrestre somos capaces de conocer con exactitud para cada instante cuál será la energía incidente en la estratosfera, parte no aleatoria del potencial Solar puesto que es predecible con una exactitud del 100%. Al atravesar la atmósfera dicha energía se verá afectada por la absorción atmosférica, las nubes y otros fenómenos impredecibles que confieren al recurso Solar su carácter semialeatorio.

Respecto al potencial eólico esto representa una diferencia cualitativa puesto que la parte estadística es menos importante y por tanto las variaciones impredecibles están más limitadas y serán menos sensibles a efectos locales. Obviamente eso representa una ventaja a la hora de realizar una predicción basada en redes de medición dispersas ya que los errores cometidos serán mucho menores y las extrapolaciones menos limitadas geográficamente.

A efectos de ingeniería fotovoltaica el Sol puede considerarse como un cuerpo negro que emite radiación a una temperatura de 5700 Kelvin. Se define la constante Solar como la energía por unidad de área y tiempo que llega desde nuestra estrella. Las mediciones más recientes apuntan que su valor antes de sufrir la atenuación al atravesar la atmósfera es de 1367 W/m^2 . La variación de distancia entre la Tierra y el Sol provoca que este valor no sea sostenido a lo largo de todo el año sino que cae hasta 1320 W/m^2 en Junio/Julio y sube hasta 1400 en Enero y Diciembre.

Al atravesar la atmósfera la radiación incidente se ve afectada por varios fenómenos de reflexión y atenuación debido a la interacción con la materia. En cuanto a la absorción, en la franja del

ultravioleta y visible se debe principalmente al ozono mientras que la del infrarrojo la realiza principalmente el vapor de agua.

La irradiancia se puede separar en tres componentes: directa (B), difusa (D) y albedo (R), la suma de las tres constituye la radiación global (G).

Directa (B): Constituye la parte de la energía luminosa del Sol que llega directamente desde el en línea recta. Procede desde una posición casi puntual del cielo, lo que unido a la direccionalidad de su propagación hace que sea muy sensible a la orientación del modulo. En condiciones normales es mas intensa aunque como es proporcional a la transparencia de la atmósfera puede llegar a anularse si el cielo esta muy cubierto.

Difusa (D): La radiación difusa proviene de la dispersión atmosférica de la radiación solar. Principalmente existen dos modelos: el de Rayleigh (que supone que la dispersión se reparte por igual entre la que vuelve al espacio y la que va hacia el suelo) y el de Mie. Esta segunda teoría describe el efecto de los aerosoles (partículas de varios tamaños pero siempre mayor que el de las moléculas de aire) que actúan dirigiendo una proporción de radiación mayor hacia el suelo, generando un haz difuso de la misma dirección que la radiación Solar directa que se denomina radiación difusa circunsolar. En la Tierra esta radiación se ve como procedente de la corona Solar. A medida que las partículas son mayores este efecto se acentúa. En general dependiendo del tipo de atmósfera una aproximación resultara mas acertada que la otra, si hay polvo en suspensión la parte de radiación difusa circunsolar será mas importante.

Albedo: Constituye la radiación reflejada por el suelo y objetos circundantes. Excepto en casos en que existan superficies blancas y lisas, como nieve, su contribución a la irradiancia global es pequeña.

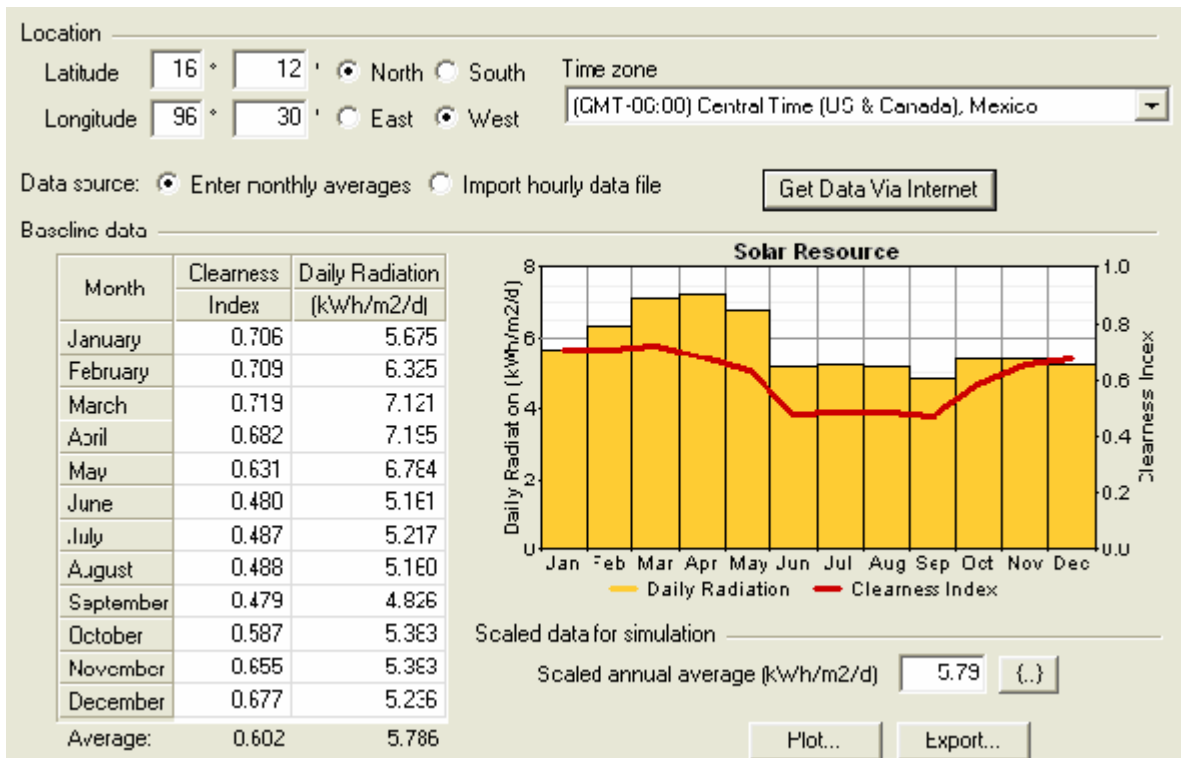
Puede estimarse modelando el suelo como una superficie horizontal infinita que refleja con igual intensidad en todas las direcciones la radiación difusa que le llega en una proporción caracterizada por su reflectividad ρ .

VI.1.- MEDIDA DE RADIACION SOLAR

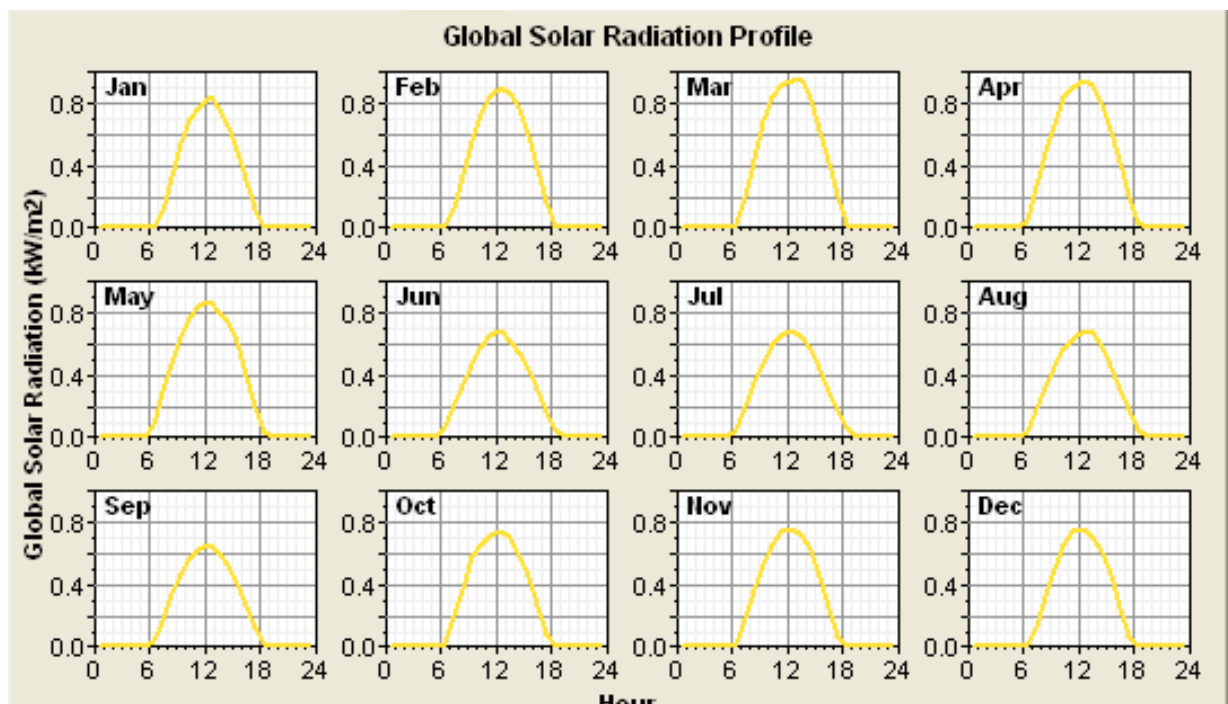
Para un proyecto como el presente no será necesario descender a un nivel de análisis en profundidad de las diferentes componentes de la radiación solar global (directa, difusa, albedo), tampoco es probable que sea necesario detallar la irradiancia hora a hora ni siquiera día a día sino que normalmente se tomara el valor medio diario del mes tipo.

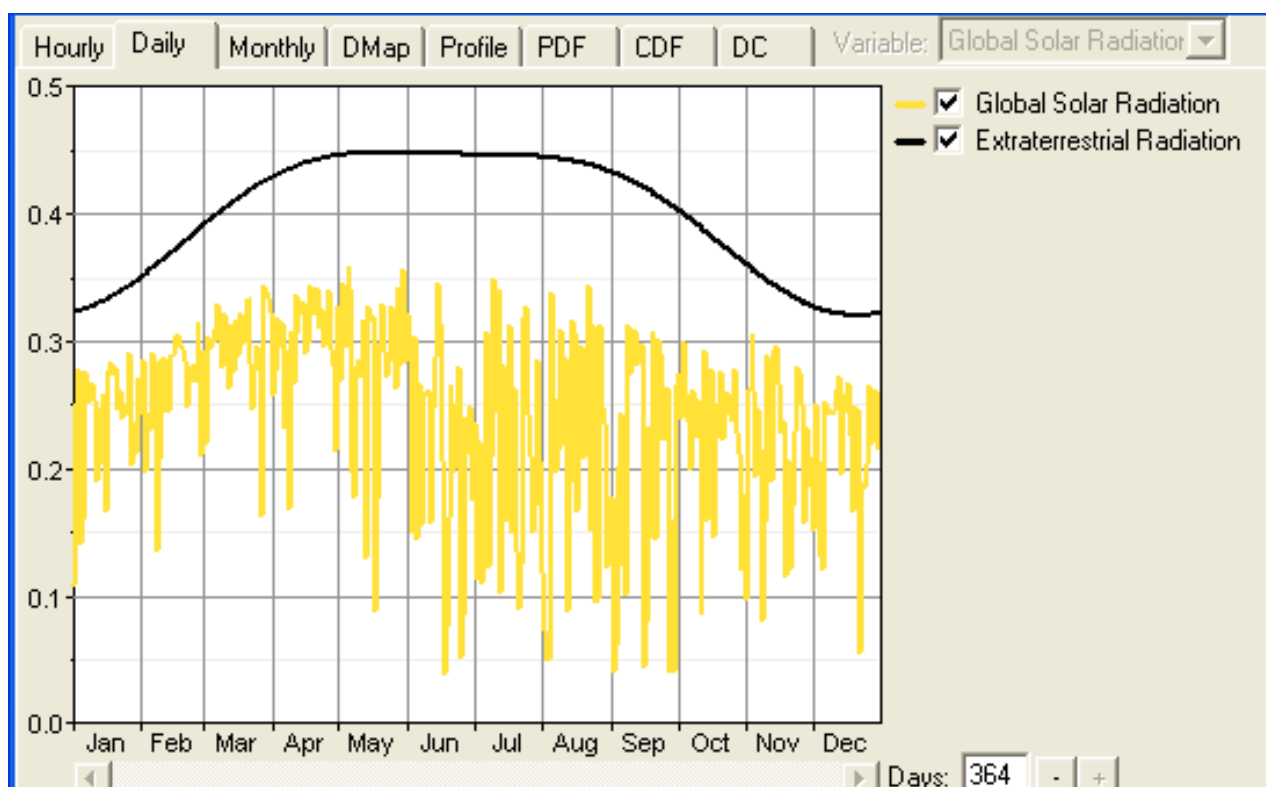
Las mediciones incluidas en nuestro caso están realizadas por Sandia National Laboratories, con ellas se pretende dar una idea de la forma en que este laboratorio facilita sus datos(los tiene

disponibles a nivel mundial) y corroborar los conceptos expuestos anteriormente, para ello se han elaborado una serie de graficas.



De igual manera, con la ayuda del software de optimización HOMER podemos caracterizar nuestro recurso solar a lo largo de todos los meses y del año.





Radiación Solar anual.

VII. PLANTEAMIENTO DEL ESCENARIO

La distribución del núcleo rural es variada y compleja. A pesar de esto, la dispersión de los centros de consumo será determinante a la hora de plantear un sistema de generación centralizado. Por tanto, en este apartado se pretende elaborar un modelo que permita luego, al realizar el diseño, poner de relieve los condicionantes sobre la instalación derivados de él. En las siguientes ilustraciones se muestra una vista general de la comunidad, así como viviendas existentes en la zona. En ella viven 120 habitantes en 20 viviendas con una escuela.





VII.1. Modelo planteado

Al realizar un proyecto de electrificación, lo natural será escoger un emplazamiento con características particulares en el que la aplicación de la tecnología conlleve beneficios mayores que en otras comunidades. Esto lleva a pensar en escenarios de agrupaciones de población de tamaño más bien intermedio (unas 200 ó 300 personas en unas 30 viviendas) que además cuenten con un centro de salud o dispensario, escuela e incluso algún tipo de pequeña tienda de abasto.

Electrificando este tipo de comunidades se contribuye a crear un polo de desarrollo local que beneficia a toda su área de influencia y trae más desarrollo y bienestar que los mismos recursos aplicados en lugares más pequeños. Por estos motivos, ese ha sido el escenario escogido como modelo para el proyecto: un poblado de unas 40 viviendas con centro de salud y escuela.

Tal y como se observa en las fotografías, las viviendas suelen ser de una sola planta y de unos 10 m² aproximadamente. Normalmente se encuentran unas aisladas de otras, dispuestas a unos 6-7 metros de distancia. La distribución general del poblado es algo similar a un anillo o una U.

VII.2 DETERMINACION DE LA CARGA

Un papel importante en el diseño consiste en prever las necesidades a las que deberá dar respuesta. Si la instalación está diseñada ex profeso para una comunidad o uso determinados es posible determinar sus expectativas, hábitos de consumo y por tanto conocer con un grado de exactitud bastante elevado el perfil de consumo que van a presentar. Sin embargo, este no suele ser el caso en la mayoría de las ocasiones, de hecho casi nunca es así y el diseñador tiene que ingeniárselas para predecir cuánta será la carga y calcular la instalación en consecuencia. En ese punto hay un delicado equilibrio entre economía y sobredimensionado de la instalación.

En un proyecto como el presente se complica por el desconocimiento existente de la comunidad porque nunca antes han tenido electricidad. La experiencia dicta que en estos casos el paso suele

producirse en tres escalones de mayor demanda cada vez: una vez la electricidad ha sido instalada, los habitantes empiezan a emplearla más y más. Por eso es importante en el diseño de la instalación prever la posibilidad de realizar futuras ampliaciones y si no existe un condicionante económico serio, tender a sobrestimar las necesidades de forma que la instalación no se quede obsoleta demasiado rápido.

VII.2.1 DESCRIPCION DE LAS VIVIENDAS

Las viviendas tienen una superficie de unos 10 m² con un área de influencia de un radio de 6 m. La primera necesidad detectada es la de de iluminación, sustituir otras formas de alumbrar como candelas o queroseno por un modo más eficiente, seguro y de calidad como es la luz eléctrica.

Las casas están compuestas por una sola planta y una única habitación en su interior por lo que para lograr un buen nivel de iluminación basta con dos puntos de luz en el interior y un tercero en el exterior (para iluminar por ejemplo la entrada en momentos puntuales). Dadas las características del equipo de generación, las bombillas serán de alta eficiencia, consumiendo 10 ó 20 W en lugar de los 60 o 100 W que consumen las bombillas incandescentes normalmente usadas en los países desarrollados.

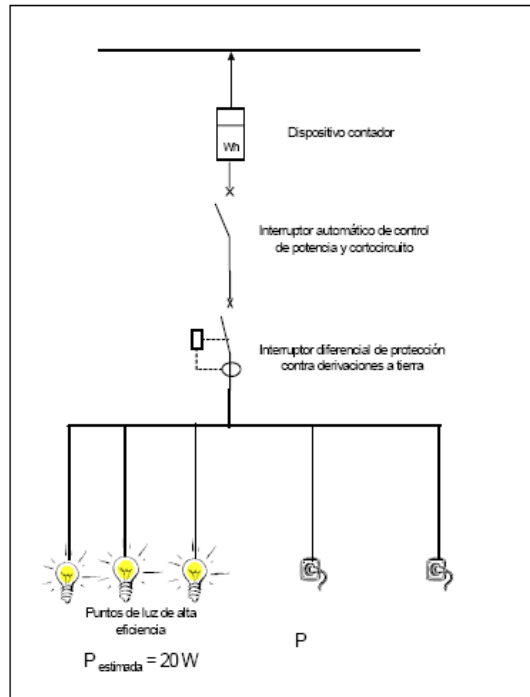
La experiencia muestra que la potencia pico de este tipo de instalación ronda los 250 w y el consumo energético diario se puede estimar en torno a 0'5 kWh. Por ello no tiene sentido pensar en aplicaciones que exijan una potencia elevada pero conviene prever dos tomas de corriente de usos generales para aparatos como radio, un pequeño ventilador, televisor, licuadora. El orden de magnitud de consumo de estos pequeños electrodomésticos está en la decena o centena de vatio, coherente con la demanda doméstica previsible. Se incluye a continuación una tabla con algunos consumos típicos.

Equipo	Potencia (W)
Lámparas	8,10,15,18,20
Televisión Blanco y Negro	40
Televisión Color	200-400
Radio	6
Ventilador	50-100

Tabla de consumos típicos (Fuente ISF)

En cuanto a la instalación interior de cada vivienda, hay que tener en cuenta la seguridad de los usuarios y de la instalación mediante protecciones adecuadas contra derivaciones a tierra y cortocircuitos.

Partiendo de estas consideraciones se propone un diseño previo de lo que pudiera ser la instalación doméstica interior de las viviendas, un pequeño esquema unificar indicando los cortocircuitos, protecciones, facturación y limitación de potencia.



Para el cálculo de carga, una de las primeras tendencias detectadas se deriva del uso de la iluminación. Cabe pensar que durante el día, cuando el sol proporciona un nivel de iluminación suficiente en las viviendas, las lámparas estarán apagadas.

La lógica dicta que tras el ocaso, cuando los habitantes estén en el interior de las casas y se desarrolla en las mismas más actividad, el consumo subirá incluso hasta las dos lámparas encendidas. Este nivel de iluminación se mantendrá después de la puesta del sol durante más o menos tiempo en función de los hábitos de cada lugar pero al menos podemos suponer que se mantendrá una o dos horas e irá decayendo hasta casi cero en un intervalo de una hora.

En cuanto a la lámpara de iluminación exterior, la tendencia puede ser de un uso esporádico, por ejemplo cuando llegue alguien a la puerta, o bien mantenida como una forma de iluminación del vial o del poblado. En este proyecto se considerará la segunda opción, siendo mantenida la lámpara tras el ocaso encendida unas tres horas. Algo similar ocurrirá por la mañana, cuando empieza la actividad en las casas pero el sol no tenga aún fuerza como para garantizar un nivel de iluminación suficiente en las mismas. Las luces se encenderán para proporcionar esa luz y se apagarán una vez dejen de ser necesarias. Cuánto tiempo dure esto depende también de las costumbres en cada lugar, en este caso se supondrá que se trata de una comunidad agrícola en que los pobladores se levantan casi con el sol, así que bastará con considerar un intervalo de una hora centrado en el momento en que el sol supera el horizonte.

Durante el resto del día, puede suponerse incluso que el uso de la iluminación será esporádico o incluso nulo, únicamente en casos puntuales de días muy nublados o de viviendas con pocas aberturas al exterior y por lo tanto oscuras, se prevé el caso de iluminación fuera de las horas previstas.

En cuanto a las tomas de corriente, la previsión de cómo se distribuirá su consumo es compleja, al no estar sujeta a un patrón tan claro como la iluminación. Atendiendo a su destino, pequeños electrodomésticos como radio, televisión o ventilador, parece que el consumo será más constante a lo largo del día, suponiendo que tanto la radio como los ventiladores estarán conectados casi permanentemente durante las horas de actividad.

En cuanto a las variaciones anuales y semanales del consumo, vuelve a presentarse una fuerte dependencia del emplazamiento del proyecto. Como primera influencia directa se observa la distribución de las horas de sol y por tanto del consumo de la iluminación, que irá desplazándose a lo largo del año en función de la hora de amanecer y de puesta del sol. Además, existen otras consideraciones más sutiles como el papel de la temperatura, que obviamente influirá en el tiempo que los pobladores permanezcan en el interior de la vivienda consumiendo. Tampoco hay que despreciar variaciones semanales en la forma de la carga condicionadas por actos colectivos como puedan ser los servicios religiosos durante los cuales el consumo es previsible que se reduzca a su mínima expresión, o los domingos cuyo efecto más directo será seguramente retrasar la punta de la mañana y prolongar el consumo en la noche del día anterior (sábado).

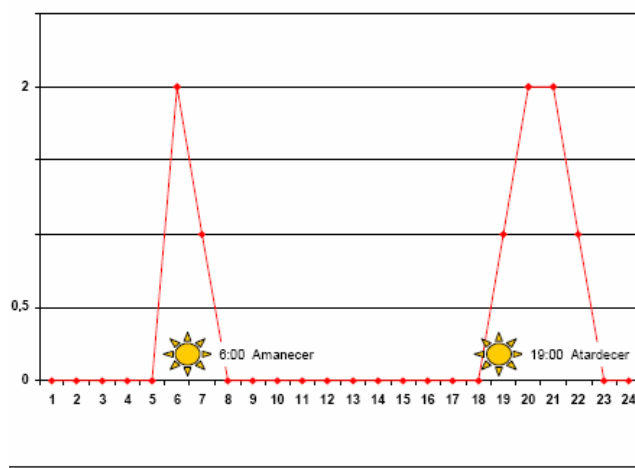
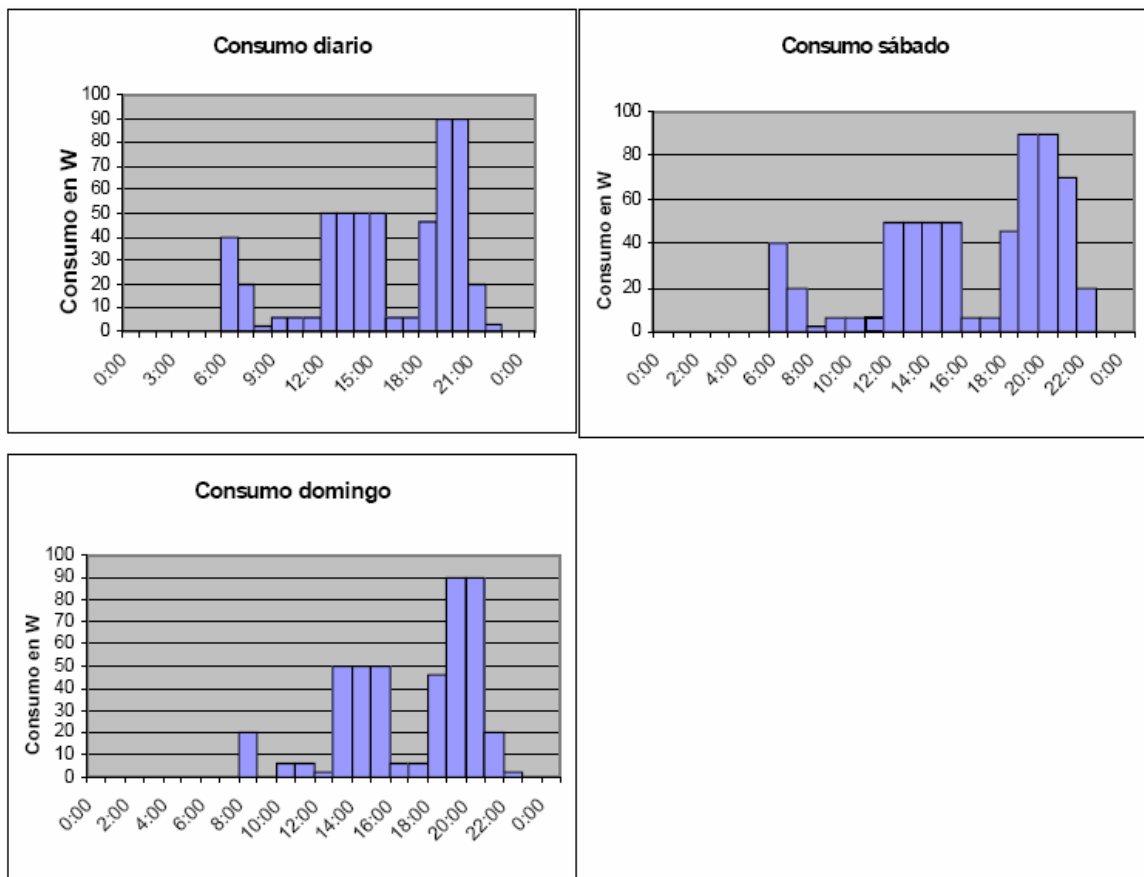


Ilustración: Esquema del uso de la iluminación en el poblado

Con las explicaciones realizadas es ya posible realizar una aproximación a un consumo máximo de la vivienda, Las hipótesis se resumen a continuación:

1. Amanece a las 6:30, durante esa hora se conectan los dos puntos de luz de la vivienda de forma que sobre las 6:00 se encendería el primero y se apagaría sobre las 7:00, cuando ya hay suficiente luz.
2. Los puntos de luz son de alta eficiencia, siendo su consumo de 20 W.
3. Al atardecer se encienden los tres puntos de luz durante las tres horas siguientes (de 18:00 a 22:00), a esa hora se reduce el consumo a uno o dos puntos de luz (el externo y otro interno), hasta que se apaga totalmente la iluminación a las 23:00.

4. Durante el día la radio (6 W de consumo) está casi permanentemente conectada en las horas de actividad de la casa, esto es, de 7:00 a 18:00, cuando se supone que atardece y se encienden los puntos de luz.
5. En las horas centrales del día, de 11:00 a 17:00, cuando más calor hace, se conecta un ventilador que consume unos 70 W.
6. Por la noche se mantiene algo del consumo derivado del uso de un aparato de radio o una televisión (40 W) en las dos horas subsiguientes al posible fin de la cena, cuando puede suponerse que los ocupantes se reúnen para escuchar o ver algún programa.
7. El fin de semana se produce una variación en la carga, el consumo nocturno se prolonga durante más tiempo (hasta las 00:00) y el domingo se retrasa la mañana
8. Además, en las horas centrales de ambos días cae el consumo derivado del uso de las tomas de corriente por la asistencia a actos religiosos.

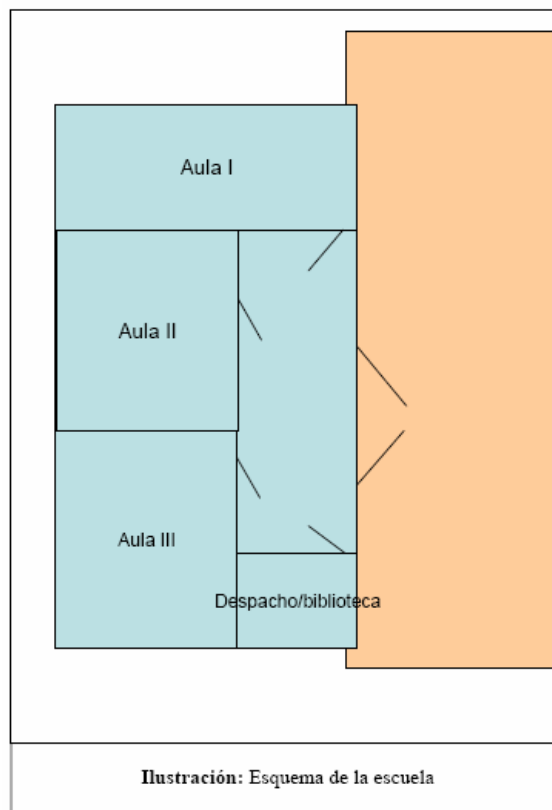


	Punta (W)	Total (Wh)
Diario	90	541
Sábado	90	608
Domingo	90	444

VII.2.2 Descripción de la escuela

El escenario planteado el poblado actualmente esta formado por 120 habitantes, pero de unas 300 personas implica que en él habrá unos 100 niños. En la escuela podrá haber un máximo de tres aulas (30 alumnos por aula). Es una práctica habitual, que en ocasiones las aulas sean empleadas también como “centro social” donde se mantengan reuniones de vecinos o incluso celebraciones lo que modifica el consumo que sería previsible de usarse únicamente como escuela.

La primera necesidad evidente vuelve a ser la de iluminación, que permita dar clase con una calidad adecuada incluso cuando la luz exterior no suficiente. Mediante un cálculo rápido se puede realizar una primera estimación de los puntos de luz por aula. Las dimensiones de cada una de las aulas es



de 8 x 16 m, redondeando 10 x 20 metros. Se puede suponer que existen dos puntos de luz por cada dos filas (uno sobre cada una de las alineaciones de mesas) por lo que los puntos de luz necesarios son 8 por aula, estando compuestos por lámparas cenitales de tubos fluorescentes, dos por punto de luz, cuyo consumo ronda los 20 W al igual que las lámparas de alta eficiencia. Además de prever dos o tres tomas de corriente destinadas a permitir el uso de aparatos de video, computadores, proyectores de diapositivas.

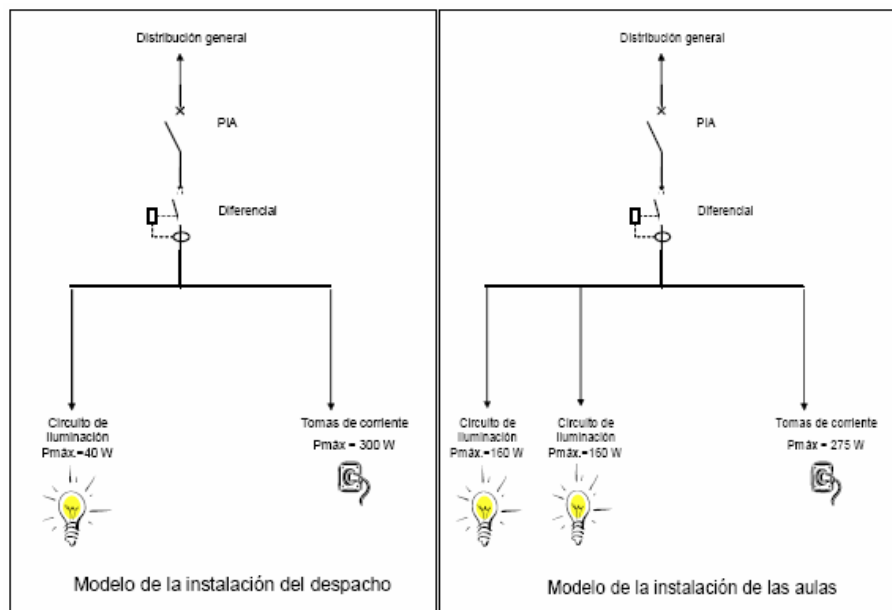
Una vez realizadas estas previsiones de potencia máxima, hay que tratar de detectar las tendencias subyacentes que van a determinar la forma de la curva de carga de la escuela. La primera influencia clara aparece debida al horario escolar: durante las horas de clase es probable que las luces

permanezcan encendidas, al menos la mitad de ellas, o horario escolar ejemplo se define desde las 8:00 hasta las 17:00 horas, con un descanso intermedio de 2 horas para comer y recreo. Durante este periodo, el uso de la iluminación es probable que sea igual en las tres aulas.

Durante dicho horario se puede suponer también que el despacho estará siendo utilizado para labores de apoyo, o consulta de libros si es que se tiene una pequeña biblioteca o similar, por lo que también supone una carga. La iluminación exterior, sin embargo y excepto a primera y última hora cuando quizá ya haya anochecido, es probable que permanezca apagada.

Aparato	Potencia demanda (W)	Horas de uso típicas
Ventilador cenital	40	4-12 horas
Televisión B&W	15	1-4
Color 15"	60	1-4
Color 25"	130	1-4
Video	30	1-4
Aparato de diapositivas	200	1-4
Computador	200	1-12
Radio	15	1-12

Tabla: Consumos típicos en escuela rural Fre: NREL

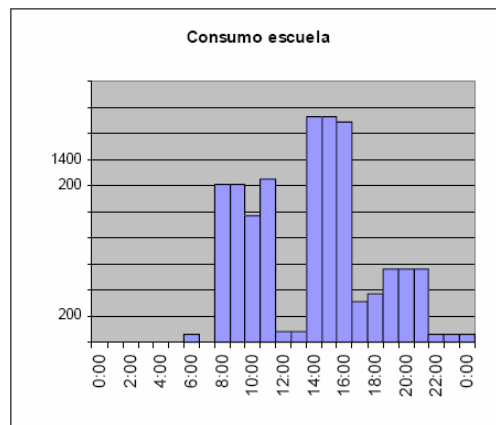


En cuanto al uso para televisión, proyectar diapositivas o vídeo conduce a creer que por el contrario será un consumo concentrado en unas horas del día determinadas, no durante toda la jornada escolar y desde luego no de forma continua. Es arriesgado prever un patrón general para ellas, la hipótesis que se propone consiste en suponer que tan sólo se empleará durante una hora al día en cada aula un proyector de diapositivas, video u ordenador y que no se hará de forma simultánea en las tres.

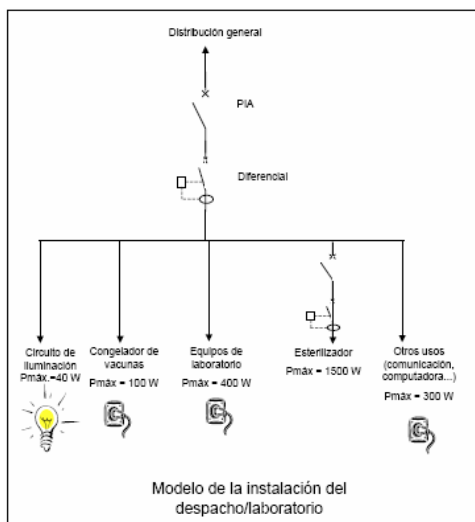
En cuanto al despacho, durante el horario escolar se puede suponer que estará siendo usado, como ya se ha explicado, por lo que el ordenador previsiblemente se mantendrá conectado y la

iluminación también; es arriesgado suponer que empleará todo ese tiempo la máxima potencia disponible pero sí se puede aventurar que al menos demandará tres cuartas partes de ella.

Durante el descanso para comer, es posible que no se cierre el despacho, pero sí es coherente suponer que se reducirá su consumo notablemente al cesar la actividad en el mismo. Tras la jornada escolar, cuando haya cesado el consumo en las aulas, es lógico suponer que la actividad en el despacho se prolongará durante al menos una hora más, esta vez a un ritmo de demanda incluso mayor que durante el día, cuando los docentes aprovechen para reunirse en esta sala común, corregir ejercicios... y los alumnos puedan consultar la computadora o pedir libros prestados. Fuera del horario escolar, si se acepta la hipótesis de que el edificio de la escuela sea empleado como centro social para actividades colectivas como clases nocturnas, reuniones culturales o de ocio, etc. aparece otra punta de demanda una vez ya ha anochecido. En estas horas, la iluminación deberá estar conectada (tanto la de las aulas como la exterior) y además es probable que se conecten equipos a las tomas de corriente; no sólo proyectores de diapositivas sino también asociados al ocio como equipos de música. Es improbable que se usen las tres aulas simultáneamente, la hipótesis que parece más coherente consiste en suponer que se ocupa una de ellas y se demanda la máxima potencia de iluminación y una parte importante de sus tomas de corriente.

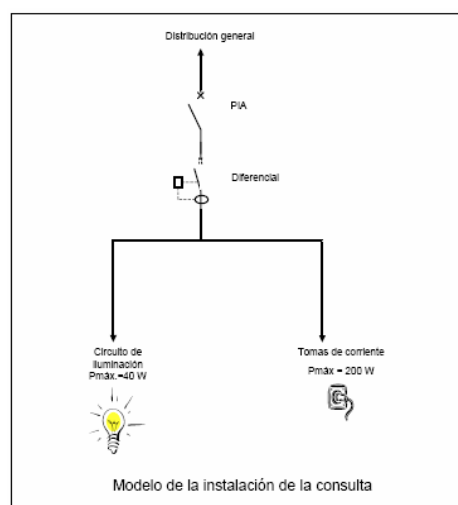
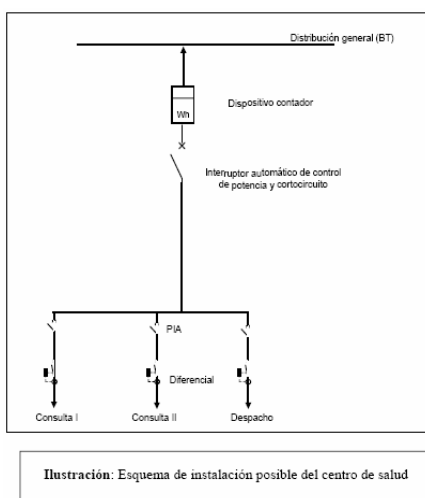


VII.2.3 DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE SALUD/DISPENSARIO.



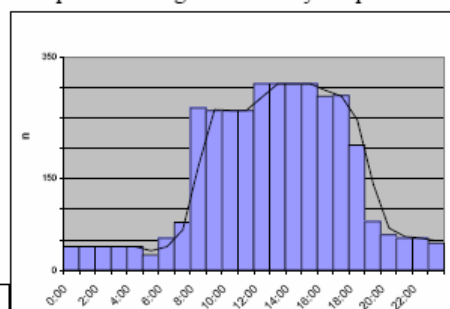
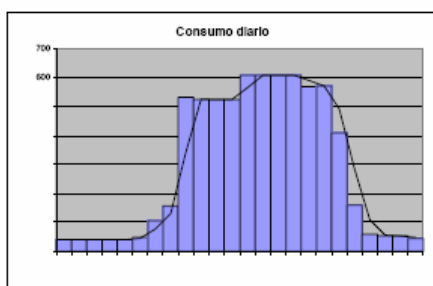
El escenario de propuesto en este proyecto prevé un centro de salud de tamaño intermedio, compuesto por una o dos salas que sirvan como consulta y un pequeño despacho. En cada una de las consultas se consideran dos puntos de luz cenitales de alta eficiencia que proporcionen un nivel de iluminación apropiado en el interior de la sala, además de dos tomas de corriente que permitan conectar lámparas para una mayor intensidad luminosa o aparatos específicos para consultas médicas. Parece coherente suponer para estas tomas de corriente

a la vista de los aparatos típicos, una potencia máxima de 100 W, que en muy rara ocasión se empleará a plena carga. En cuanto al despacho/laboratorio es lógico suponer que en su interior estarán concentrados los aparatos del centro, como el refrigerador donde se almacenan las vacunas (para estas es crítico mantener la cadena del frío a fin de evitar que pierdan su poder inmunológico)., una computadora, un equipo de comunicaciones, un microscopio o incluso un esterilizador eléctrico. Esto nos lleva a la exigencia de prever varias tomas de corriente de potencia variable a fin de satisfacer sus necesidades, además de dos puntos de luz que proporcionen una iluminación apropiada en su interior. Se incluyen más abajo los diferentes esquemas realizados con las consideraciones ya expuestas en otros apartados y que se recogen en la información proporcionada por el NREL.



Respecto a las variaciones estacionales o semanales se supone que van a ser muy pequeñas a lo largo del año. Sí es previsible una reducción importante de actividad el sábado y domingo. Con estas hipótesis el perfil de carga resultante y las puntas de potencia son las siguientes:

Diario	
Consumo total (Wh)	6.973
Potencia máxima	611
Fin de semana	
Consumo total (Wh)	3.687
Potencia Máxima	305



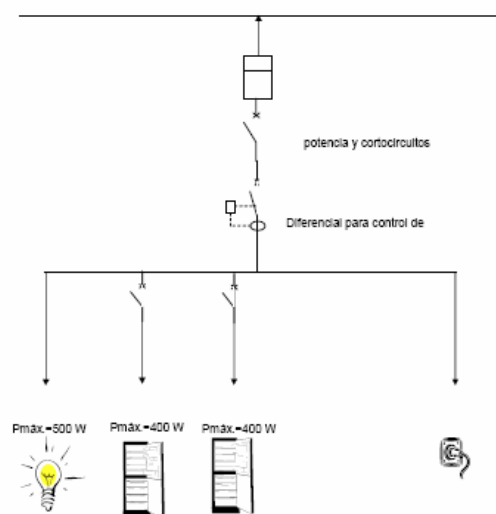
VII.2.4 DESCRIPCION DE TIENDA DE ABASTOS

El escenario planteado contempla la existencia de una tienda de abastos, la tienda estará compuesta de una zona en la que esperen los clientes tras el mostrador y un área de almacén detrás donde se guarden los productos. Las necesidades más evidentes son las de un nivel de iluminación adecuado en el interior de la tienda mantenido durante todo su horario; de generación de frío tanto para mantener frescos los alimentos que lo exijan como para por ejemplo mantener hielo que pueda ser vendido; un ventilador cenital (40W) que mantenga un ambiente relativamente agradable y dos o tres tomas de corriente de potencia media (100 W) para usos varios.

El consumo de cada uno de los refrigeradores puede estimarse en unos 400 W manteniéndose en marcha en torno al 40% del tiempo, durante el día este sube puesto que se abre y cierra la puerta casi continuamente, durante la noche desciende ya que únicamente tiene que contrarrestar las fugas que se produzcan a través de sus elementos aislantes. En total, se estima que un frigorífico del tipo considerado necesita en torno a 4 kWh día.

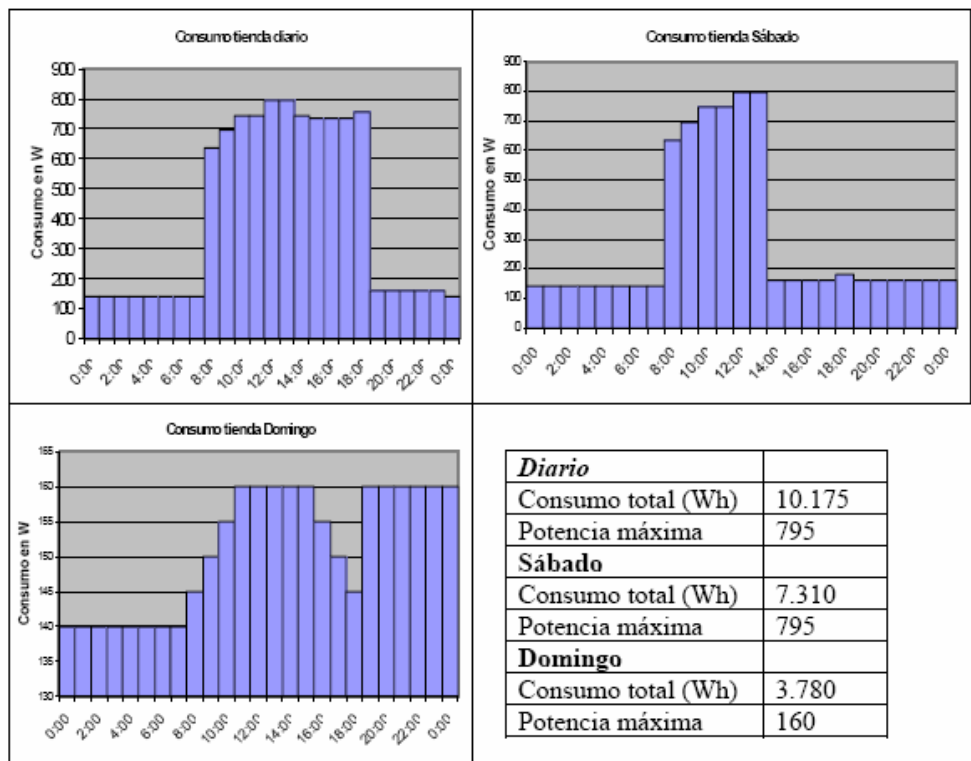
Respecto a la iluminación, se contará con 5 puntos de luz, cuatro de ellos situados en el interior para mantener un nivel apropiado, y otro en el exterior que pueda servir tanto para iluminar la entrada como de anuncio luminoso. El horario de la tienda se supone similar al de la escuela, una o dos horas mas tras el fin de horario escolar, y también abierta sábados por la mañana. Se instalara además en cada uno de los circuitos un pequeño interruptor automático.

La demanda de energía vendrá determinada por el horario de apertura de la tienda. Se considera que permanecerá abierta ininterrumpidamente desde las 9:00 hasta las 19:00, dos horas después del fin de actividad escolar.



Las neveras como ya se ha comentado, tienen un consumo diario de energía en torno a 4kWh, concentrado en las horas centrales de actividad, cuando mas se abre y cierra su puerta aumentando sus perdidas.

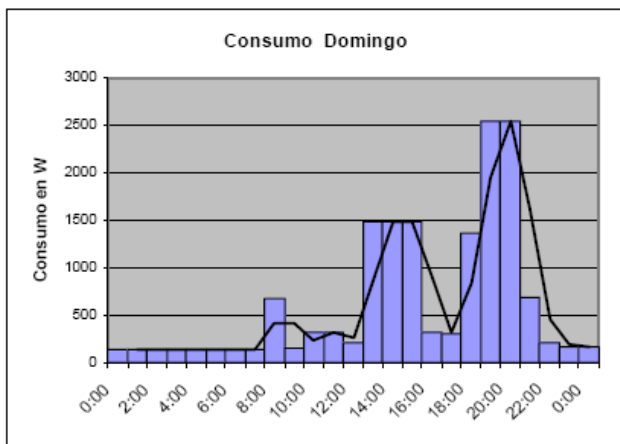
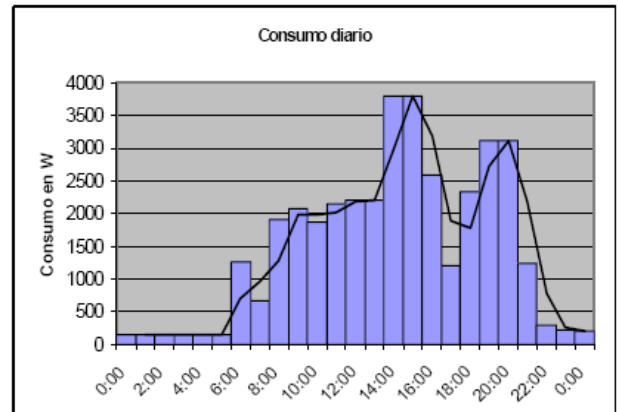
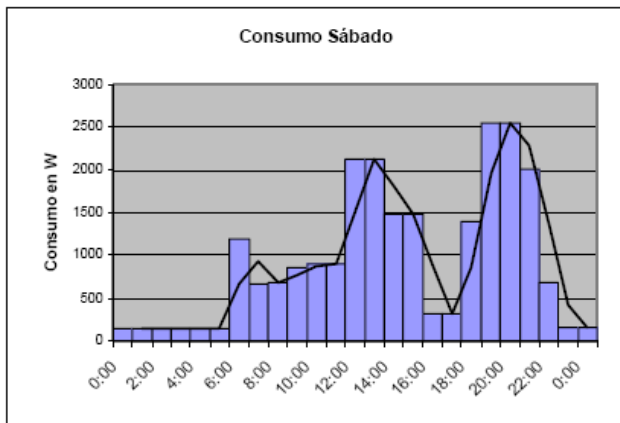
De forma que se repartirá esta potencia total estimada en un porcentaje 75-25% entre el día y la noche, además parece lógico pensar que durante el día se demandará más potencia en las horas centrales, cuando más calor hace. Las tomas de corriente tendrán una utilización baja, de modo que a pesar de su potencia máxima es de 300W, no parece previsible que se supere la mitad de dicha potencia.



Agrupación de los consumos

Los consumos derivados de la escuela, tienda y centro de salud se dieron ya como conocidos, en función de lo que parece más lógico a la hora de valorar la potencia que demandan en cada momento. En el cuadro siguiente te estiman y agrupan de manera general los consumos del poblado.

Diario	
Consumo total (kWh)	44
Potencia máxima(W)	4.411
Sábado	
Consumo total (kWh)	27
Potencia máxima(W)	2.625
Domingo	
Consumo total (kWh)	19
Potencia máxima(W)	2.625



VIII. DIMENSIONADO DEL SISTEMA MEDIANTE HOGA (HYBRID OPTIMIZATION BY GENETIC ALGORITHMS).

Existe una gran variedad de herramientas informáticas para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos, tanto como única fuente de energía como para sistemas híbridos. Cada programa lleva sus propios algoritmos y obtiene una precisión variable, siempre condicionada por la propia naturaleza aleatoria del recurso solar, que lo hace más o menos apropiado en función del estudio que se esté realizando (diseño, estudio preliminar... etc...). Los programas diseñados para realizar el estudio preliminar automatizan los cálculos rápidos para ver si una instalación fotovoltaica puede ser rentable en un determinado lugar. Obtienen resultados aproximados, pero suficientemente buenos como para dimensionar una instalación comercial común. Si se requiere más precisión, existen herramientas específicas para el dimensionado del sistema. A partir de las necesidades de energía, y del recurso disponible se optimiza el tamaño de cada uno de los componentes minimizando el coste del ciclo de vida del sistema y detectando los periodos críticos de funcionamiento.

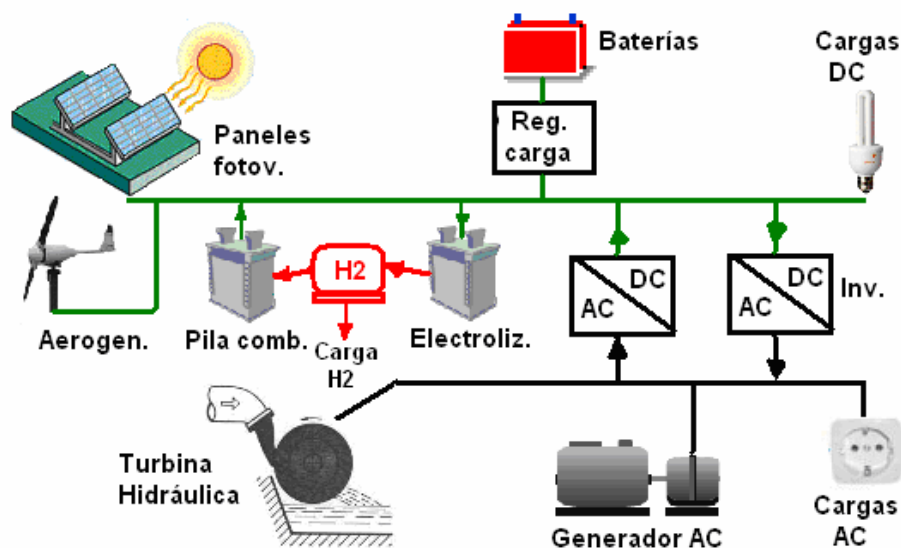
Un programa informático no puede sustituir la labor de diseño y comprensión de la realidad que aporta un diseñador con su conocimiento de hechos implícitos no modelables. Sin embargo, puede

suponer una ayuda eficaz en la búsqueda del sistema más ajustado a las necesidades. Por esta razón, para nuestro caso se hará uso de Hoga, una de las herramientas informáticas, como un apoyo adicional a la labor realizada y como una forma de familiarizarse con ellas.

HOGA (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms) es un programa de optimización de Sistemas Híbridos de Energías Renovables para la generación de energía eléctrica (DC y/o AC) y/o Hidrógeno. Entendemos por optimización la minimización de los costes totales del sistema a lo largo de su vida útil, trasladados o actualizados al momento inicial de la inversión (Valor Actual Neto, VAN). Es decir, la optimización es económica (mono-objetivo). No obstante, el programa también permite la optimización multi-objetivo, donde no sólo se busca la minimización de costes, sino también la minimización de otra variable (las emisiones de CO₂ o la Energía No Servida, lo decide el usuario).

Dado que ambos objetivos (el coste y las emisiones o la energía no servida) son en muchos casos contradictorios, cuando el sistema realiza la optimización multi-objetivo no llega a una única solución, sino que da un amplio abanico de soluciones, unas con mejor comportamiento en cuanto a emisiones o energía no servida, otras con mejor comportamiento en cuanto a costes.

Los elementos que pueden componer el sistema híbrido son: paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, turbina hidráulica, pila de combustible, tanque de H₂ y electrolizador, además de baterías, inversor (convertor DC/AC), convertor AC/DC y generador AC (que en general será una fuente no renovable si el combustible no lo es). Aunque sea posible la combinación de todos ellos, en muchos casos interesará que el sistema híbrido sólo conste de algunos de ellos.



El programa optimiza tanto la combinación de elementos, como el control del sistema (cuándo debe dar energía uno u otro componente, hasta qué nivel deben cargarse las baterías,...).

Aunque las ventajas expuestas de los sistemas híbridos frente a los sistemas de un solo tipo de energía sean claras, el cálculo óptimo de un sistema híbrido es muy complejo, debido a la variabilidad de la disponibilidad de los recursos renovables (irradiación solar, viento, recurso hidráulico), así como de la demanda de energía. Además, algunos componentes del sistema presentan características no lineales, y el número de variables que influyen en la optimización es muy elevado. El sistema híbrido a resolver posee un gran número de posibles soluciones (combinaciones de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, turbina hidráulica, baterías, generador AC, pila de combustible, electrolizador, inversor y variables de la estrategia de control). Todo esto hace que la optimización sea difícil con las técnicas matemáticas clásicas (por el ejemplo con programación mixta-entera).

Existen programas como HOMER, desarrollado por el NREL (The National Renewable Energy Laboratory) de EE.UU., que realizan la optimización probando todas las posibles combinaciones. La desventaja de esto es que si queremos tener un número representativo de posibles soluciones, el tiempo de cálculo se incrementa enormemente. Además, las estrategias de control del sistema son demasiado simples, y no es posible una optimización a fondo como en HOGA.

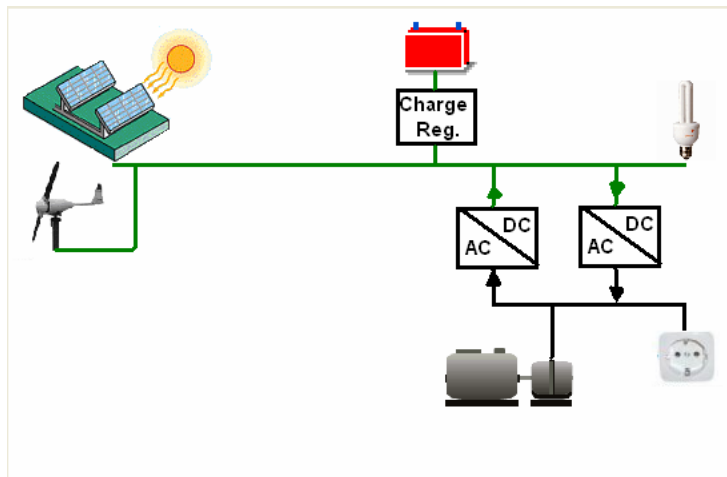
HOGA utiliza los Algoritmos Genéticos (GA) para realizar la optimización, tanto de los componentes del sistema (algoritmo genético principal), como la de la estrategia de control (algoritmo genético secundario). Los algoritmos genéticos permiten obtener soluciones satisfactorias al ser aplicados a problemas con un gran nivel de complejidad, y con tiempos de cálculo muy bajos. Estas técnicas se han aplicado a una gran cantidad de problemas en la industria, obteniendo en ocasiones soluciones mejores y en menos tiempo que con otros métodos de optimización.

HOGA también tiene la posibilidad de evaluar todas las posibles combinaciones, tanto de componentes como de variables de control de la estrategia, es decir, optimizar a “fuerza bruta”, sin algoritmos genéticos. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones esta posibilidad no es viable, ya que el número de combinaciones de componentes y estrategias puede ser enorme, y los tiempos de cálculo pueden ser del orden de meses o años. Los algoritmos genéticos permiten encontrar soluciones muy cercanas a la óptima con tiempos de cálculo relativamente bajos.

En resumen, HOGA es una herramienta informática para el dimensionado óptimo de instalaciones híbridas contemplando la posibilidad de la inclusión de energías renovables tanto solar como eólica e hidráulica, junto con sistemas de apoyo basados en acumuladores (baterías), en grupo electrógeno (generador AC), y en pila de combustible. Para ello emplea algoritmos genéticos, los cuales hacen un estudio del coste y de las emisiones de contaminantes hasta llegar a una óptima relación del número y tipo de paneles, el número y tipo de aerogeneradores, el tipo de turbina hidráulica, el número y tipo de baterías, el tipo de generador AC, el tipo de electrolizador, el tipo de pila de combustible, el tanque de H₂, el tipo de inversor y la estrategia de operación de la instalación.

VIII.1.- PARAMETROS Y VARIABLES DE CALCULO DEL SISTEMA.

A menudo, para asegurar el suministro ininterrumpido de energía al consumo de la instalación se hace uso de grupos electrógenos (llamados en el programa generadores AC, usualmente Diesel). Es el sistema más ampliamente utilizado como sistema auxiliar para momentos de déficit de una instalación o bien para cubrir determinados consumos de elevada potencia. No obstante, los generadores AC tienen el inconveniente medioambiental de generar gases tóxicos y de efecto invernadero. Para nuestro caso y de acuerdo a la disponibilidad de recursos nuestro proyecto estará conformado por:



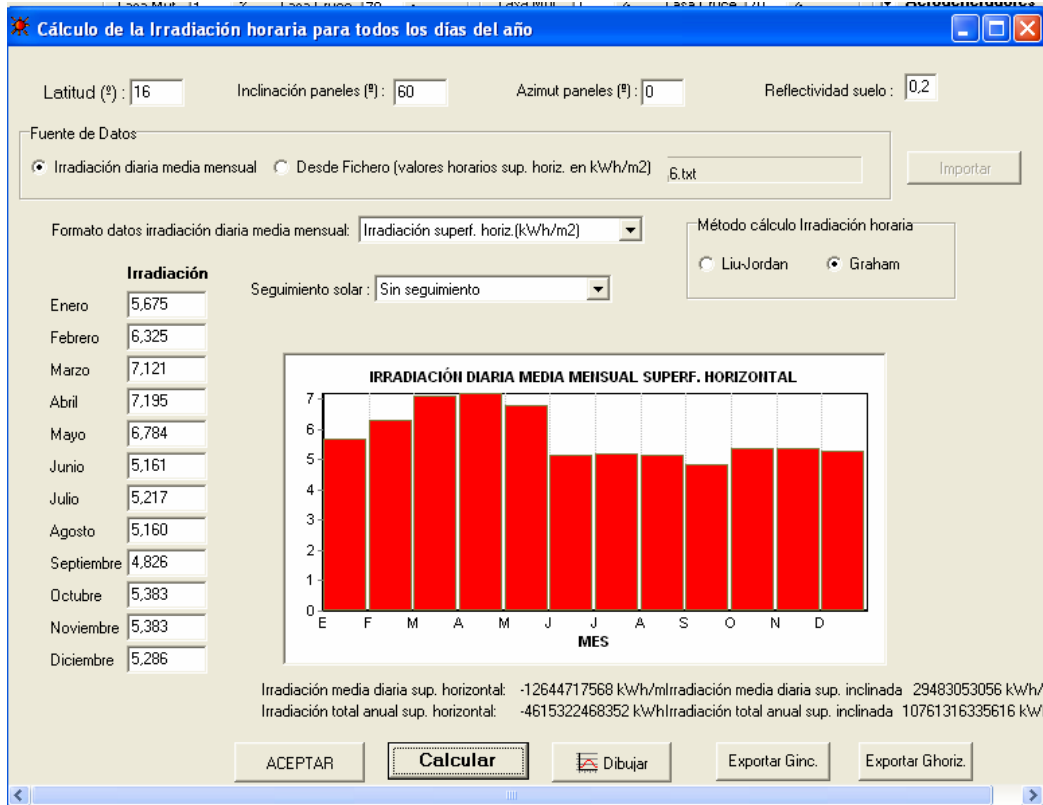
1.-Introducción de datos de consumo diario.

De acuerdo a nuestros datos previstos de determinación de carga, se procede a la introducción de los mismos en Hoga, el cual nos ofrece la posibilidad de ver los consumos diarios durante el año de forma grafica:

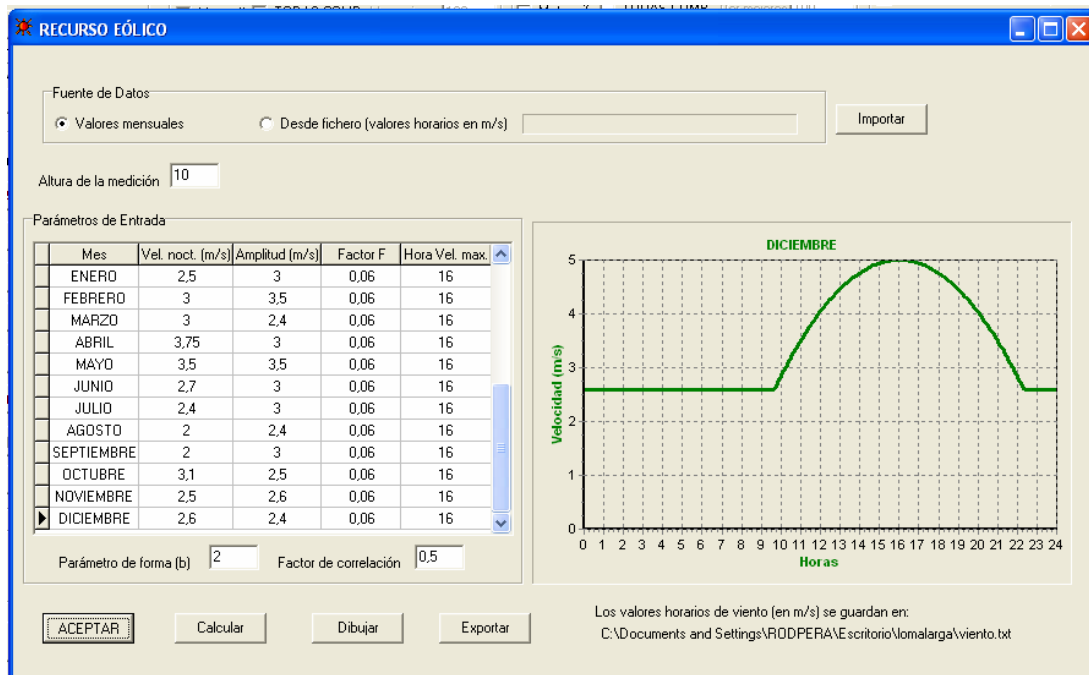


De igual forma se introducen los datos de viento y radiación solar, ya evaluados en capítulos anteriores:

1.- Datos de recurso Solar: Al igual que los consumos, Hoga ofrece una herramienta para observar la distribución mensual del recurso disponible:



2.- Datos de recurso de Viento



Hoga, también estima el comportamiento del viento durante toda las horas del año, así como durante todos los días del año, de forma grafica:



VIII.2. Optimización de componentes y estrategia

Para nuestro caso hemos elegido **optimizar tanto componentes como estrategia**, Las variables y datos utilizados se muestran a continuación:

ALGORITMO PCPAL. (OPTIM. COMPONENTES)	ALGORITMO SEC. (OPTIMIZACIÓN ESTRATEGIA)
Generaciones: 50 Población: 20	Generaciones: 5 Población: 20
Tasa Mut. 1 % Tasa Cruce 70 %	Tasa Mut. 1 % Tasa Cruce 70 %
<input checked="" type="checkbox"/> Mut.unif. <input type="checkbox"/> TODAS COMB. Ver mejores 100	<input checked="" type="checkbox"/> Mut. unif. <input type="checkbox"/> TODAS COMB. Ver mejores 100
Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 20	VARIABLES A OPTIMIZAR:
Paneles paralelo: Mín. 1 Máx. 20	<input checked="" type="checkbox"/> Pmin_gen <input type="checkbox"/> Pmin_pila <input type="checkbox"/> H2TANKstp
Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 3	<input checked="" type="checkbox"/> P1gen <input type="checkbox"/> P1pila <input type="checkbox"/> P2
Máxima E No Servida permitida: 0 %	<input checked="" type="checkbox"/> SOCstp_gen <input type="checkbox"/> SOCstp_pila <input checked="" type="checkbox"/> SOCmin
Inicio simulación: hora 0 día 1 mes 1	<input checked="" type="checkbox"/> Pcritica_gen <input type="checkbox"/> Pcritica_pila <input type="checkbox"/> Plímite_carga
SOC inicio simulación: 100 % de SOCmax	Fijar Valores Precisión variables: 10 = 100%
<input type="checkbox"/> Comparar con Método Mes Peor (PV-only)	<input checked="" type="checkbox"/> MULTIOBJETIVO <input checked="" type="checkbox"/> Ver solo No dominadas
Días autonomía 4	<input checked="" type="radio"/> Coste- Emisiones <input type="radio"/> Coste- E no serv. % sobre coste mín. 60
	Nº máx. No dom.: 20
	Guardar Pareto cada 5 gen. Exportar Paretos

En el cuadro del Algoritmo Principal seleccionamos, para el algoritmo genético de optimización de los componentes físicos del sistema, el número de generaciones, la población, la tasa de mutación, la

tasa de cruce, si la mutación de los números enteros es uniforme o no lo es, así como el número máximo y mínimo permitido de baterías, paneles y aerogeneradores en paralelo.

En el cuadro del Algoritmo Secundario elegiremos para el algoritmo genético de optimización de las variables de control, los valores de generaciones, población, tasa de mutación y de cruce, y si la mutación es uniforme o no.

Datos económicos

En el siguiente cuadro introducimos datos para el cálculo económico: Período de estudio (suele coincidir con la vida de los paneles fotovoltaicos, unos 25 años), Intereses del mercado, Inflación esperada (con estos dos valores el programa calcula la tasa de descuento, como la resta de ambos, que será el valor que utilizará para actualizar, es decir, trasladar al momento inicial, los distintos costes y por tanto obtener el VAN). También debe introducirse el coste del cableado e instalación.

Intereses del mercado: (precio del dinero)	4	%	Tasa de descuento:	
Inflación esperada:	2	%		1,96 %
Periodo de estudio	25	años		
Cableado e instalación:	300	€		

Finalmente, elegimos la optimización multi-objetivo (minimización tanto de costes como de emisiones de CO₂ o de energía no servida). El multi-objetivo puede ser Coste total (VAN) frente a Emisiones de CO₂ o bien Coste total (VAN) frente a Energía No Servida.

<input checked="" type="checkbox"/> MULTIOBJETIVO	<input checked="" type="checkbox"/> Ver solo No dominadas
<input checked="" type="radio"/> Coste- Emisiones	% sobre coste mín. 60
<input type="radio"/> Coste- E no serv.	Nº máx. No dom.: 20
Guardar Pareto cada 5 gen.	Exportar Paretos

IX.- ANALISIS DE RESULTADOS

En nuestro caso el consumo no es constante a lo largo del día ni de la semana, sino que presenta variaciones. Las fluctuaciones detectadas podrían ser interesantes si se dispusiera de una descripción mas detallada de los recursos (incluso una predicción de su evolución hora a hora) pues permitiría realizar un estudio mas profundo de cómo dimensionar el banco de almacenamiento y la generación para acoplarlo mejor al perfil, optimizando el diseño.

Sin embargo, no hay que perder de vista el hecho de que ni los datos de los recursos son totalmente fiables, ni la estimación de carga tampoco; únicamente se trata de aproximaciones suficientemente buenas a una realidad desconocida. Así, pues, aunque pudieran derivarse datos del estudio del

acoplamiento entre ambos recursos, siempre habría que tomarlos con cierto escepticismo, lo cual reduce su valor.

La metodología a seguir, por tanto, será calcular la demanda de un día medio de la semana, como la suma de los siete días. Esto conduce a una demanda prevista de 40.94 kWh/día. El pico de potencia vendrá determinado por el pico de potencia semanal 4.111 W; previsto a las 14:00 de los días de la semana. La hora en que se sitúa este pico, privilegia la producción fotovoltaica.

En nuestro caso podemos considerar una fiabilidad suficiente de un nivel del 95%, en donde cabe la posibilidad que exista alguna autoridad que regule el consumo de manera que en las épocas de menor bonanza energética se impongan restricciones al consumo.

Otro punto fundamental a considerar es lograr una calidad de onda similar a la de la red lo cual obliga al uso de inversores de onda sinusoidal a pesar de su mayor peso y menor rendimiento. Por otro lado, la conexión de motores hace preciso un inversor mas robusto frente a picos de intensidad. Por ultimo, la variedad de fuentes de energía (incluido el generador diesel) y el rango de potencia complica la electrónica interna de los equipos de balance del sistema y elevan su coste.

A partir de las consideraciones anteriores se puede calcular la carga estimada incluyendo perdidas.

Potencia demandada por la carga: 40.94 kWh

Perdidas en el cableado: 3%

Carga y descarga de baterías = 90%

Rendimiento inversor = 85% (perdidas 15%)

Debido al alto consumo, y a fin de minimizar perdidas desde la generación hasta el almacenamiento, el nivel de tensión escogido en este caso para las baterías ser e 48 V.

IX.1 Dimensionado banco baterías.

El banco de baterías se dimensiona para un almacenamiento de tres días, considerado suficiente por las consideraciones realizadas anteriormente sobre la carga. No se considera reducción del rendimiento del banco ni por temperatura ni por ratio de carga/descarga.

Por su menor coste, las baterías más apropiadas en este caso son las de plomo ácido tradicionales, los acumuladores estarán accesibles e incluso es deseable que haya alguna persona encargada dentro de la propia comunidad para involucrarlos mas con la instalación y convertirla en motor de desarrollo.

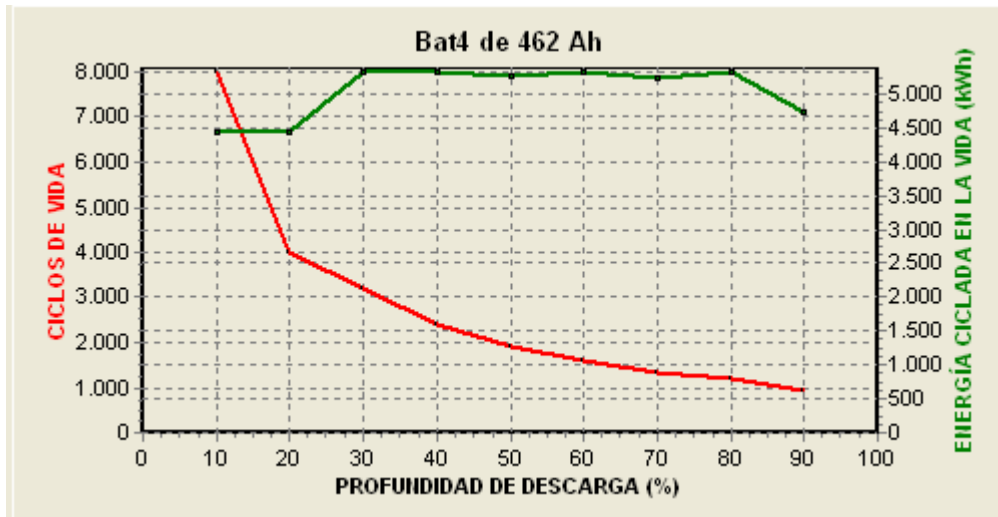
Empleando el software de optimización Hoga, ya explicado anteriormente la batería optima es:

OP Z Solar 460

Capacidad 462 Ah

Numero Baterías paralelo: 4
Numero Baterías serie: 2
Voltaje nominal: 12 V
Total Baterías: 6
Coste: 16.076 Euros

Ciclo de vida de la Batería:



Con esto queda además determinado el tamaño del generador, que deberá tener la suficiente potencia para cargar las baterías en 10 horas, con lo cual el óptimo es un Generador AC de potencia nominal: 3 kVA.

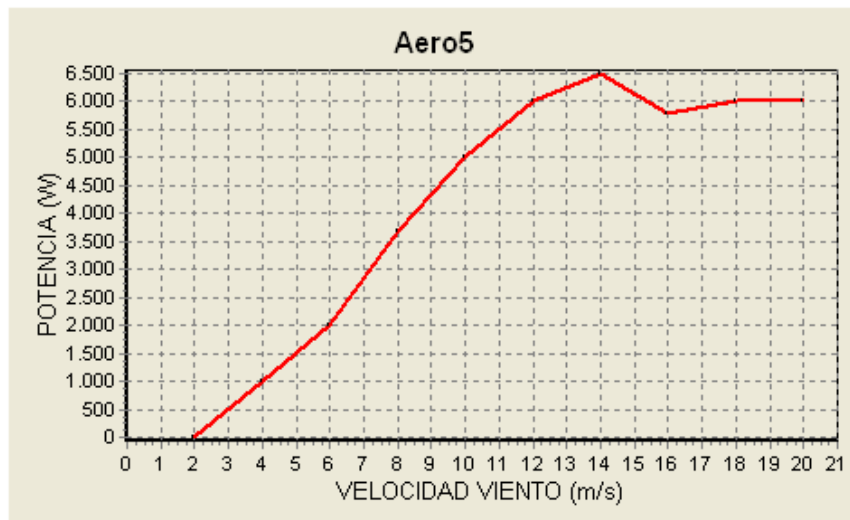
Esto implica que el generador se mantendrá en funcionamiento durante unas 39 horas al año para producir los 109 kWh anuales que proporcionan los 1500 l del depósito. El coste estimado del combustible será 2049 € y el de inversión 1666 €.

El dimensionado de la instalación generadora podría realizarse considerando que el generador proporcionará energía en los meses en que menos recurso se tenga, disminuyendo la carga sobre el campo renovable, hasta completar la máxima energía que puede entregar.

La forma de calcular la instalación se realizó con la ayuda de HOGA con las hipótesis previas necesarias calculadas, se recoge en los anexos las tablas con los cálculos realizados, cuyas conclusiones son las siguientes:

El aerogenerador escogido, por la magnitud de la potencia a entregar en esta ocasión, fueron tres aerogeneradores de 6.5 kW, los cuales suministran 19,5 kW. El mes peor de nuevo vuelve a ser Agosto para la eólica. El campo fotovoltaico se compondrá de 18 paneles en paralelo, con tensión

nominal de 24 V, Intensidad de cortocircuito de 5,1 con potencia nominal de 165 W, con una potencia total de 2,97 kW y 1 en serie, el generador será de 3 kW.



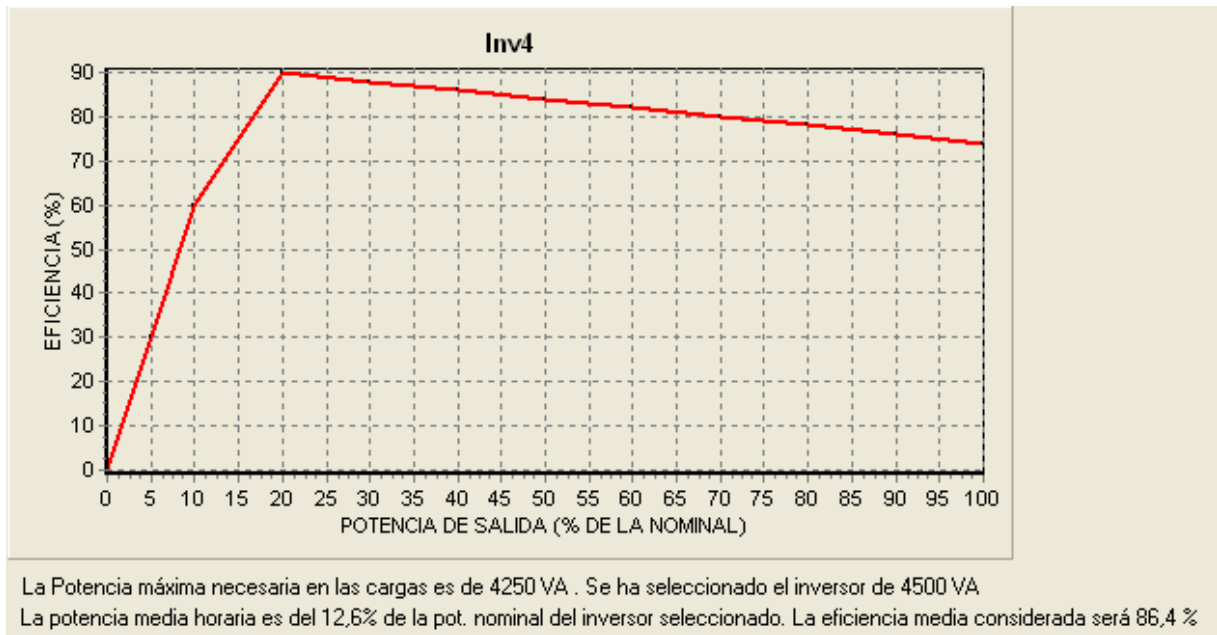
Curva de Potencia Aerogenerador de 6.5 kW

El sistema óptimo se muestra en el informe anexo, incluyendo las simulaciones en el CD adjunto a este proyecto, sin embargo, por razón de memoria únicamente se recogen las producciones estimadas y costes.

IX.2. Controlador, Inversor y Cableado

El cableado y aparamenta de protección se dimensiona con el criterio ya explicado anteriormente de caída de potencial. En cuanto al inversor y controlador hay que tener en cuenta las características de la carga que obligan a prestar atención a su resistencia a las sobreintensidades que pueden aparecer en arranques de motores y demás. El pico de potencia (4'11 kW) es el que determina su tamaño. Otro factor lo constituye el decidir qué tipo de corriente se quiere obtener a la salida del o los inversores: alterna monofásica o alterna trifásica, en el segundo caso podrá optarse por un sólo inversor cuya salida sea trifásica o por tres inversores con salidas en corriente alterna desfasadas 120°. Por último hay que valorar si merece la pena instalar un controlador capaz de arrancar automáticamente el generador o si es preferible que sea el propio encargado de mantenimiento que, al recibir una alarma, conecte el motor. Respecto a la gama de fabricantes de inversores y controladores de carga de este rango de potencias y capaces de trabajar en una instalación híbrida es muy reducida. El inversor escogido es de una potencia de 4500 VA, el precio estimado del inversor y controlador de carga se estima es de aproximadamente 10.365 €.

Características Inversor 4500 VA.



Una vez introducidos todos los datos de nuestro sistema, en nuestro caso de optimización multi-objetivo se recoge en la tabla las soluciones (sólo no-dominadas) de 50 generaciones.

En la tabla pueden verse todas las características y parámetros de la mejor solución de cada generación. Las primeras columnas (a parte de las de las generaciones y dominadas) son el coste (VAN), en rojo, las emisiones de CO2 anuales, en verde, y la Energía No Servida anual, en azul.

Proyecto Datos Calcular Informe Ayuda

CONSUMO

RECURSOS

- IRRADIACIÓN
- VIENTO
- HIDRICO

COMPONENTES

- PANELES FOTOV.
- AEROGEN.
- TURBINAS H.
- BATERÍAS
- INVERSORES
- GENERAD. AC
- H2 (Pila C. - Elec.)
- AUXILIARES

Tensión DC 24 V
 Tensión AC 110 V

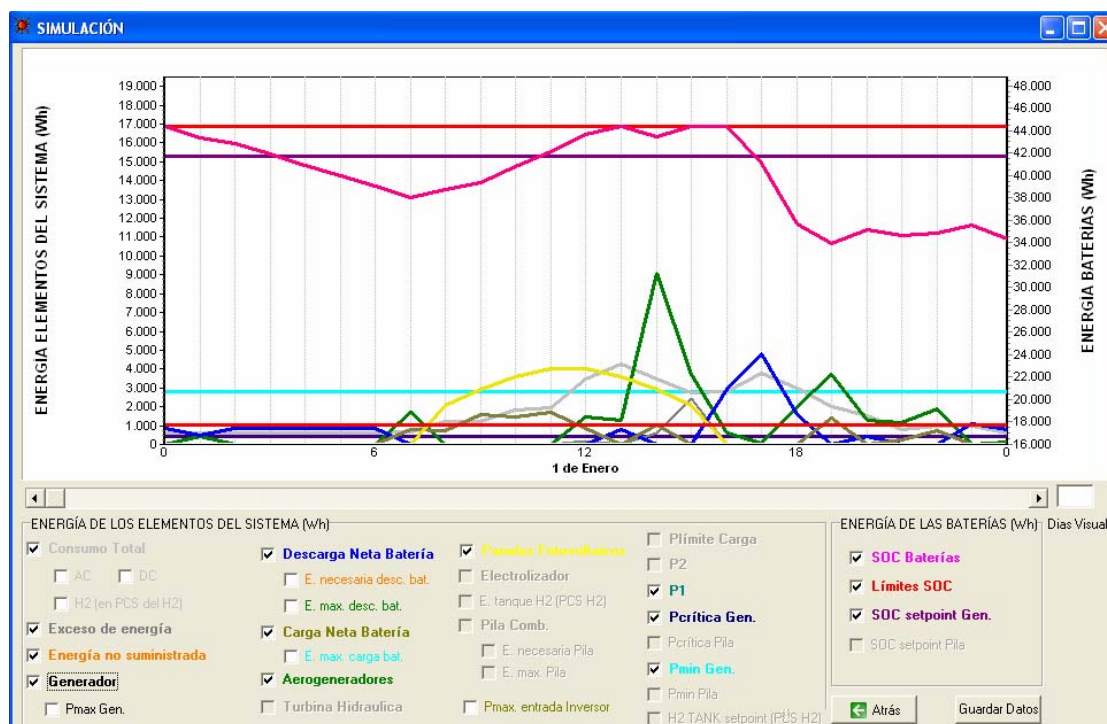
Optim. Multi-objetivo. Pareto de No Dominadas de la Generación 50. Total de casos evaluados: 47304

Nº	Dom. por.	C. total (VAN) (€)	Emisión (kgCO2/año)	E no serv. (kWh/año)	Simular	Informe	Gr. Costes	Nº Pan. pa	P. Pan (W/p)	Nº Bat. pa
1	0	83759	90	0	SIMULAR...	INFORME...	COSTES...	18	165	4
2	0	94933	17	0	SIMULAR...	INFORME...	COSTES...	18	125	4
3	0	128483	0	0	SIMULAR...	INFORME...	COSTES...	18	125	13

IX.3. Simulación del sistema.

En esta pantalla se accede a una simulación del sistema a lo largo de todas las horas del año. Debajo de la gráfica están los nombres de las variables representadas, con su color. Todos los valores representados son de energía en Wh. Se representa el valor de cada variable para cada hora. Respecto al SOC (estado de carga de las baterías), si en una hora se produce carga neta de las baterías, en la próxima hora el SOC crece, mientras que si se produce descarga neta, en la próxima hora el SOC decrece. Nótese que si no hay carga ni descarga el SOC decrece ligeramente debido al coeficiente de autodescarga de las baterías.

Debajo de la gráfica de simulación se informa de los componentes y la estrategia del sistema simulado.



X. ASPECTOS ECONÓMICOS

El propósito de este apartado es recoger los diferentes métodos existentes para el análisis económico de la instalación y las alternativas para su financiación. Para ello se recogerá el presupuesto tipo del caso optimizado por HOGA a fin de conocer su coste de inversión; también se realizará una evaluación de sus costes anuales de operación y se propondrá una forma de que la instalación genere los suficientes fondos como para autofinanciarse o incluso ser un elemento generador de riqueza dentro de la comunidad receptora.

Tal y como se ha recogido en el apartado de soluciones el coste del equipo de generación y control se puede estimar en **83.759 €**. A ese importe habría que añadirle el montaje, transporte y diseño de la instalación. Estos costes no deberían suponer más de un 15% adicional, con lo que el coste final de la instalación se estima en 90.000 € de inversión.

En el apartado de operación y mantenimiento se considera el coste de repuestos y reparaciones que se puedan tener que efectuar a los distintos componentes de la instalación (evaluado en torno a 800 €/año), y el coste de tener un encargado de la instalación y de tomar las medidas (1000 €/año). Con lo cual el presupuesto aproximado es 91.800 €.

X.1 Metodologías de estimación de coste

Periodo de retorno: El análisis del periodo de retorno es el más simple de todos los métodos y el que se empleará en este proyecto. Consiste en dividir por el valor anual del kWh producido el coste del sistema, de modo que se recobra la inversión en un periodo fijado. Tiene la ventaja de ser un método sencillo y que da una medida de la viabilidad del proyecto bastante realista, pero omite factores importantes como puedan ser los intereses de los préstamos o la inflación.

Coste anualizado de la energía. El coste anualizado de la energía sí tiene en cuenta factores como los intereses de los préstamos, la inflación y los costes de operación y mantenimiento, además de la inversión inicial.

Tasa de retorno. La tasa de retorno es una manera de medir la rentabilidad de la instalación usada normalmente en entornos económicos. Se basa en el análisis año a año de los beneficios obtenidos respecto del capital invertido en la instalación.

Análisis de ciclo de vida. El análisis del ciclo de vida tiene en cuenta varios factores relativos a los diferentes costes de la instalación a lo largo de su vida como los costes de sustitución, mantenimiento, operación y demás.

X.2 Calculo de Estimaciones:

El primer dato a estimar lo constituye el coste del kWh producido. En primera aproximación se calculará por la metodología del periodo de retorno (establecido en 10 años), teniendo en cuenta además los costes anuales de operación y mantenimiento.

$$\frac{Inversión}{P. Retorno} = 90.000 / 10 = 9.000 \text{ €}$$

$$OyMant = 1.800 \text{ €}$$

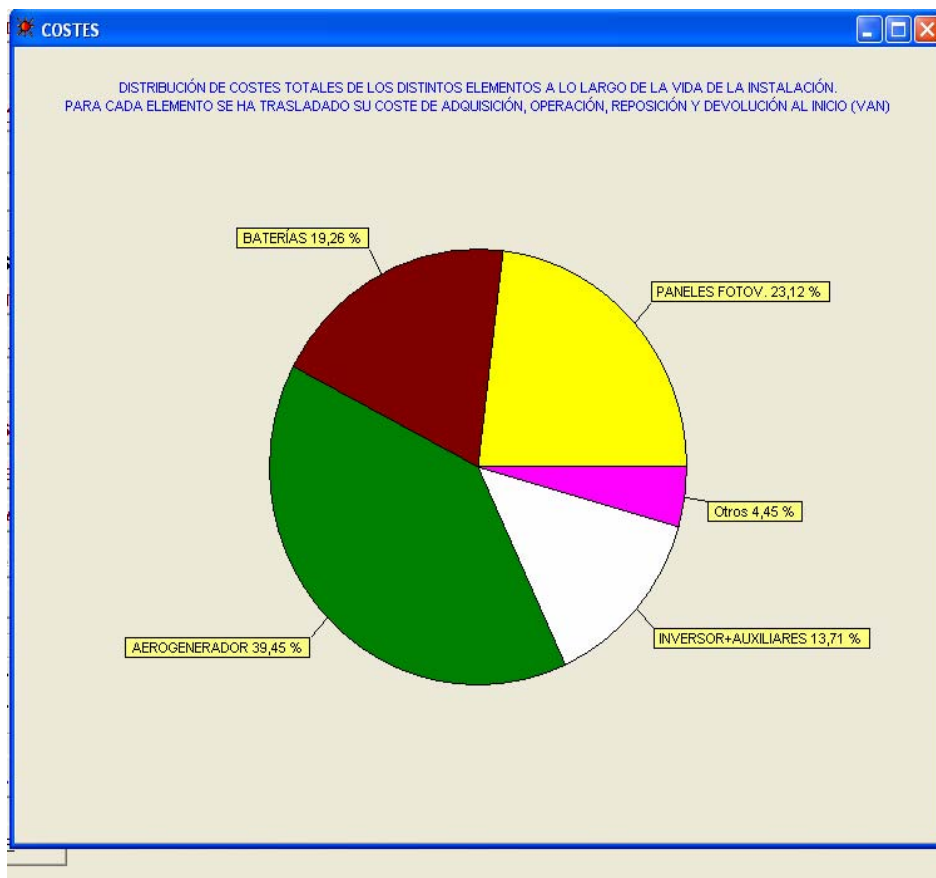
$$E_{anual} = 14946 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Coste kWh para cubrir costes} = (9.000 + 1.800) / 14.946 = 0.72 \text{ €}$$

Obviamente este es un coste muy elevado respecto a un estándar del mundo desarrollado. Sin embargo hay que reflexionar sobre la alternativa que se presenta a una instalación de este tipo y el coste del kW en ese escenario. Normalmente cuando no hay suministro eléctrico se recurre a pilas o lámparas de queroseno de eficiencia mucho menor y cuyo coste por kW es incluso mayor que el euro estimado en este escenario. En ese sentido la instalación representa una ventaja tan importante que contrarresta su alto coste.

Por otro lado este alto precio justifica la necesidad de créditos de ayuda a la cooperación para la instalación de este tipo de plantas generadoras, de forma que los consumidores que disfrutan de estándares de calidad energética mas altos y menos caros subsidia ricen el consumo de aquellos menos afortunados. Es una mera cuestión de justicia social.

En el siguiente gráfico aparecen los costes porcentuales calculados por HOGA de los distintos componentes a lo largo de la vida del sistema, trasladados al momento inicial VAN.



X.3 Informe Final

En el informe aparecen detallados los Componentes del Sistema (con un gráfico de potencias), se explica detalladamente cómo actúa la Estrategia de Control, se especifican los Costes (VAN) de los distintos componentes, así como el Balance de Energías, con sus graficas correspondientes.

XI CONCLUSIONES

Durante el proyecto se recorrió el proceso de diseño de una planta híbrida tal y como fijó como objetivo al principio de su desarrollo. Se comenzó recorriendo las características principales del recurso eólico a fin de adquirir un conocimiento del mismo vital para que el diseñador pueda realizar un trabajo apropiado en el menor tiempo posible ante la ausencia de datos que es nota común en un proyecto como el presente. A continuación se recogieron distintas maneras de evaluar el recurso como la realización de un programa de medición, que en un proyecto como el presente estará muy limitado por el tiempo y por el coste. El siguiente punto estuvo dedicado al recurso solar. De una manera análoga al eólico se identificaron las razones de la variación del Sol y su movimiento y las diferentes leyes que lo rigen.

Una vez conocidas las características de los distintos recursos se realizó una investigación sobre el escenario planteado (una comunidad rural indígena) en que el proyecto se llevara realmente a cabo, planteando al cabo de la misma unas hipótesis creíbles que sirviera como base de trabajo al siguiente apartado de determinación de la carga. El poblado se modeló como una carga variable y compleja. Se dividió el consumo por centros de carga (40 viviendas, 1 escuela, 1 centro de salud y 1 tienda) tratando de desentrañar los posibles patrones de consumo de cada una de ellos. Una tarea compleja por el desconocimiento de los hábitos de cada comunidad en concreto.

La forma de resolver el caso fue mediante la optimización por medio del software HOGA. Por último se realizó un somero barrido por las distintas metodologías de estimaciones económicas y una previsión de coste del kWh producido en este tipo de plantas.

Como conclusiones extraídas de todo este proceso, se adquirió un conocimiento avanzado de las diferentes alternativas existentes y sus especificaciones para cubrir las necesidades al dimensionado de la instalación que le permitió integrar la filosofía subyacente en el concepto de hibridación como respaldo mutuo entre las distintas fuentes.

Además, se aprendieron distintas lecciones de proyectos ya realizados y las principales dificultades encontradas al implantar un diseño como este derivadas de la lejanía tanto cultural como física de los beneficiarios del proyecto, y cómo una instalación que no sea demandada por ellos ni valorada tiene muy pocas posibilidades de mantenerse funcionando poco tiempo después. Además, se llegó a la

conclusión de que la electrificación rural no puede ser un laboratorio donde se ensayen las nuevas tecnologías, sino que se debe primar la robustez y fiabilidad de los elementos instalados para reducir al máximo las necesidades de recambios no siempre fáciles de encontrar in situ.

Por último quedó patente el esfuerzo económico que esta alternativa requiere y la necesidad de una ayuda de algún tipo de programa de ayuda al desarrollo si sinceramente se quiere repartir la riqueza del mundo de una forma más equitativa. Creando comunidades de desarrollo que actúen impulsando su entorno hacia estándares de vida más cercanos al llamado primer mundo. Es un deber ético derivado del propio principio del destino universal de los bienes de la tierra.

XII. BIBLIOGRAFÍA

<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy97/22223.pdf>

Principios de conversión de la energía eólica Serie Ponencias del CIEMAT [SAGRILLO02]

Energías Renovables Xavier García Casals. Apuntes de tecnologías energéticas Prof. Luis Enrique Herranz Prof. José Ignacio Linares Prof. Yolanda Moratilla Dpto. de Fluidos y Calor Universidad Pontificia de Comillas (ICAI) 1998.

Radiación Solar: características, medidas y estimaciones Prof. José Luis Torres Dpto. de Proyectos e Ingeniería Rural Universidad Pública de Navarra. 2001

Atlas de viento, Oaxaca. www.sener.gob.mx