

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico



**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE GRANMA**



Facultad de Ciencias Técnicas - Departamento de Ciencias
Técnicas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Sede Latacunga

TRABAJO DE DIPLOMA

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

Determinación de los coeficientes para las variables de decisión de una metodología de planificación energética a comunidades rurales aisladas en la provincia Granma-Cuba. Estudio de caso “Las Peladas”.

AUTORES: Carlos Rodrigo Zambrano Segovia.
Enrique Rolando Maiquiza Tituaña.

TUTOR: Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva.

COTUTOR: Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino

BAYAMO, M. N.

2010-2011

“Año 53 de la Revolución”

LATACUNGA–ECUADOR

2010-2011

“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”

AUTORÍA

Nosotros, Carlos Rodrigo Zambrano Segovia y Enrique Rolando Maiquiza Tituaña, declaramos que El trabajo aquí presentado es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado, y que hemos consultado todo lo que en este tomo esta incluido.

Carlos Rodrigo Zambrano Segovia
C.I.050324491-5

Enrique Rolando Maiquiza Tituaña.
C.I.180415718-6

Universidad de Granma
Facultad de Ingeniería Departamento
de de Ciencias Técnicas

OPINIÓN CRÍTICA DEL TUTOR

Tutor: Ing, Lázaro V. Benítez Leyva.

Cotutor: Ing. Alain A. de la Rosa Andino

I- DATOS DEL TRABAJO DE DIPLOMA.

Título: Determinación de los coeficientes para las variables de decisión de una metodología de planificación energética a comunidades rurales aisladas en la provincia Granma-Cuba. Estudio de caso "Las Peladas".

Autores: Carlos Rodrigo Zambrano Segovia.

Enrique Rolando Maiquiza lituana.

I- CONTENIDO DE LA OPCION CRÍTICA.

La presente investigación es el fruto de los esfuerzos que se realizan para poder determinar con armonía, a través de métodos que alcancen una independencia adecuada, la cantidad óptima de energía a llevar a comunidades con limitaciones a una conexión a las fuentes convencionales y utilizando varias fuentes renovables de energía. En esta labor, los estudiantes ecuatorianos autores de este trabajo, mostraron interés y dedicación para hacer una modesta e importante contribución en tema. De modo manifestaron capacidad, independencia y creatividad. Por lo que consideramos que vencieron estas habilidades propias de los ingenieros.

En virtud de lo antes dicho, en este trabajo de diploma existe relación entre el título y el contenido. Está estructurado según la metodología establecidas de la manera siguiente:

Portada, Introducción (3 páginas), Resumen, índice, Capítulo I: Estado Actual del Tema (25 páginas), Capítulo II: Materiales y Métodos (12 páginas), Capítulo III: Presentación y Análisis de los Resultados (16 páginas), Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos (5), con un total de 54 páginas de contenido.

La introducción muestra una valoración introductoria al tema que se investiga. El problema científico, la hipótesis y el objetivo que pretende la investigación están relacionados correctamente. El objetivo de la investigación tiene relación con las conclusiones finales.

En el trabajo se hace una buena revisión bibliográfica acerca de la actualidad del tema en Cuba y el mundo, teniendo incluida esta revisión 56 bibliografías, de ellas 16 son de los últimos 10 años, 16 de los últimos 5 años, 8 en idioma inglés y 15 en Internet. En consecuencia, consideramos que esta investigación es una fuente de información actualizada.

El trabajo versa en la determinación de los coeficientes para las variables de decisión de una metodología de planificación energética a comunidades rurales aisladas, aplicados a la comunidad "Las Peladas", perteneciente al municipio Bartolomé Masó en la provincia de Granma, Cuba. Para la determinación de los coeficientes de la función objetivo de una metodología de planificación energética construida por otros autores, fue necesario utilizar un método estadístico (la regresión lineal múltiple). Se determinaron cinco ecuaciones de regresión que aportaron los coeficientes para las cinco variables (las alternativas energéticas de la comunidad). Los datos necesarios para esto fueron compilados en informes de investigación de los proyectos de energización de comunidades rurales cubanas.

El aporte de este trabajo es mejorar la optimización de las metodologías que sirven para planificar un uso adecuado de la energía en comunidades aisladas, cuando se decide energizarlas con diferentes tipos de fuentes y que mayormente sean renovables.

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico

La manera en que se exponen los diferentes aspectos trazados en el cuerpo del documento es correcta. La presentación de los resultados tiene la profundidad adecuada y llega a la obtención de los objetivos trazados.

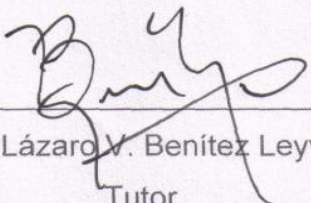
Las conclusiones son claras y precisas, dando solución al problema planteado.

Las recomendaciones están en función del objetivo y reflejan la posibilidad de aplicación práctica del trabajo en la planificación energética para las comunidades rurales no interconectadas a la red eléctrica nacional.

Por otro lado el trabajo presenta otros errores e insuficiencias no mencionadas anteriormente:

1. Omisiones de palabras.
2. Omisiones de signos de puntuación.
3. Errores mecanográficos
4. Cambio de letras.

De este modo certificamos el valor que posee el trabajo, su importancia económica y medioambiental. Por los que, a nuestro juicio, ninguno de los señalamientos aquí realizados son trascendentales como para invalidar la investigación. Así mismo, proponemos al este honorable tribunal que sesiona, que acepte este Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Eléctrico, como válido para la culminación de estudios y que se les otorgue a los estudiantes la calificación de excelente, 5 puntos.



Ing. Lázaro V. Benítez Leyva
Tutor



**UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS**

OPINIÓN CRÍTICA DEL Oponente

Titulo; Determinación de los coeficientes para las variables de decisión de una metodología de planificación energética a comunidades rurales aisladas en la provincia de Granma. "Estudio del caso las peladas"

Autores: Carlos Rodrigo Zambrano Segovia

Enrique Rolando Maiquiza lituana

a) Estructura del trabajo.

La calidad de la impresión del trabajo es buena reflejándose en las tablas, los dibujos y los esquemas presentados. La estructura es adecuada para este tipo de ejercicio. Cuenta con 70 cuartillas, 2 tablas, 15 figuras donde 11 están en forma de gráficos, 52 citas bibliográficas donde 27 son de los últimos 10 años y 7 en idioma inglés, además posee 4 anexos en forma de tablas.

b) Correspondencia del contenido del trabajo con la tarea indicada.

El contenido del trabajo tiene plena correspondencia con la tarea indicada, las conclusiones y recomendaciones dan respuesta adecuada al objetivo general y a los específicos.

La investigación realizada posee gran actualidad para nuestro país y otro de cualquier modelo económico, ya que se desarrollo un modelo matemático para reelaborar una

metodología que permita realizar una planificación energética a comunidades rurales aisladas, sobre todo, para saber cuál de las alternativas es más convenientes utilizar en cuanto a los potenciales energéticos disponibles.

La forma de expresión de los diferentes aspectos es clara, precisa y se tratan además con profundidad los resultados de la investigación, por lo que se dan a conocer los aspectos que más inciden en el aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles en la comunidad "Las Peladas"

c) Enumeración crítica de los errores e insuficiencias del trabajo.

1) Incorrecta escritura del sistema internacional de unidades, por ejemplo:

- En la página 6
- En la página 11

2) Algunas bibliografías no han sido correctamente escritas en las páginas que refieren a las mismas

3) En algunas ocasiones se escriben los valores numéricos separados con comas y en otras con el punto, en cuanto a decimas, centésimas, etc.

4) La tabla 1.2 no posee buena nitidez, por lo que no se observan algunas palabras correctamente. 5) Deficiente bibliografía asentada, por ejemplo en la página 25, segundo párrafo.

d) Resultado final

No obstante consideramos que los señalamientos realizados anteriormente no invalidan la calidad de esta investigación y su aplicación práctica en la comunidad de estudio "Las Peladas"

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico

El trabajo presentado por los estudiantes cumple con lo establecido por instrucción número 1 del 2009 del MES sobre el descuento ortográfico, así como de la resolución 210 del 2007 para la culminación de estudios a través del trabajo de Diploma.

Por tanto las soluciones planteadas son posibles de aplicar en comunidades aisladas. Por tal motivo considero que los errores e insuficiencias señaladas no influyen de forma significativa en la calidad del trabajo y propongo al tribunal que se otorgue la calificación de excelente (5) cinco puntos.



Oponente: MSc. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa.

Pensamiento

“Educar no es dar carrera para vivir, sino templar el alma para las dificultades de la vida”.

Pitágoras

Dedicatorias

A Dios todo poderoso, fuente de inspiración en mis momentos de angustias, esmero, dedicación, aciertos y reveses, alegrías y tristezas que caracterizaron el transitar por este camino que hoy veo realizado, sin cuyo empuje no hubiese sido posible.

A mis Padres, por haber sido el pilar de apoyo en los momentos más difíciles de mi vida, por eso son y serán los mejores del mundo.

A mi hermana, que de una u otra forma me supo ayudar para que este objetivo se vea realizado.

A mi querida sobrina, que ha llegado a ser la parte más importante de mi vida.

A mis profesores y amigos, que contribuyeron con lo poco o mucho de sus conocimientos.

Carlos Rodrigo Zambrano Segovia.

Es un orgullo dedicar el presente proyecto de tesis a mis padres, quienes entregaron todo su esfuerzo y su apoyo incondicional en cada paso durante mi vida académica, a ellos quienes me enseñaron que con dedicación, empeño, respeto y humildad se llega a cumplir una meta.

A un ser supremo y divino que es Dios quien me dio la fuerza de voluntad, quien sembró en mí una esperanza y me guió por el camino del bien alejando los malos vicios, enseñándome a

realizar actividades de corazón ayudando al prójimo y a quién necesitare de mí.

A quienes me acompañaron en aquellas noches de velada por cumplir con las tareas académicas. A mis hermanos, quienes me comprendieron en aquellos momentos tristes, alegres de mi vida de adolescente y parte de mi juventud.

Enrique Rolando Maiquiza Tituaña

Agradecimientos

Son muchas las personas a las que debo agradecer por haber puesto un granito de arena para llegar a culminar mi carrera, es demasiado o poco el decir gracias, pero desde el fondo de mí ser les estaré eternamente agradecido y siempre presto a brindarles mi apoyo cuando así lo requieran. Sin embargo, debo resaltar a las personas sin las cuales el sueño de mi vida de llegar a ser un profesional al haber culminado mi carrera universitaria no se hubiera hecho realidad.

Ante todo, a Dios todopoderoso por haberme otorgado la vida y por ayudarme a llegar a esta meta tan anhelada, después de tantos esfuerzos, caídas y otras cosas, que he tenido que sobrellevar durante mi formación profesional, solo tú sabes los sacrificios e inconvenientes que he pasado para ver este sueño realizado tu que me guiaste por el camino del bien para no desmayar. Por eso mil gracias Dios.

A mis Padres Rodrigo Zambrano y mi querida madrecita Julia Segovia, los cuales con constante apoyo, amor e interminables consejos me enriquecieron como persona y me ayudaron a mi superación personal, gracias de todo corazón por ustedes soy lo que soy.

A mí querida hermana Anita por brindarme su apoyo, comprensión y paciencia en momentos de mi vida en los que solo ella me pudo ayudar. Gracias ñañita.

A mí querida sobrinita Carolina por todas aquellas frasecitas llenas de ternura y amor que llegaron a llenar mi vida y fueron fuente de inspiración en mi vida es por ti este triunfo.

Como olvidarme de mis primos y amigos quienes me ayudaron en momentos en los cuales los necesite y estuvieron ahí para brindarme su apoyo, en fin a toda mi familia muchas gracias.

Definitivamente, a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por ser mi casa de estudio durante todo este tiempo y a la Universidad de Granma, por darme la oportunidad de culminar mi carrera y ser un profesional apto para enfrentar la vida de una manera moralmente digna gracias.

Carlos Rodrigo Zambrano Segovia.

Mi agradecimiento sincero y profundo a mi familia quienes con su ejemplo me han formado como un ente de bien.- A mi PADRE Segundo Gaspar Maiquiza Ponce personaje de trabajo, responsable con sus deberes de jefe de hogar que busca siempre la superación de la familia, a mi MADRE Soledad María Tituaña Toapanta que lucha incansablemente en la tristeza, la

alegría, en los momentos más críticos y duros de la vida por ver a sus hijos profesionales con un porvenir mejor, y que junto a mi padre han demostrado valentía ante los obstáculos que presenta la vida.

Un agradecimiento a Dios, protector y salvador quien brinda salud y energía a sus hijos a quien le tengo fe y gracias a ello he sabido seguir por el camino del bien.

Agradezco a todos mis familiares: tíos, primos, parientes cercanos, a mis amigos y a todo mi pueblo que de una u otra manera me apoyaron e hicieron que mi sueño se plasmara en una realidad.

También a aquellos docentes que me enseñaron las diferentes asignaturas e impartieron sus conocimientos con el fin de tener un profesional competente en el campo laboral y que sea el orgullo de sus enseñanzas.

Gracias Universidad Técnica de Cotopaxí por haberme acogido como a un hijo más de la comunidad universitaria y por haberme dado la oportunidad de cumplir con mi sueño.

“Por la vinculación de la Universidad Técnica de Cotopaxí con el Pueblo.”

Enrique Rolando Maiquiza Tituaña.

Resumen

El presente trabajo se aplicó a una comunidad rural no electrificada del municipio de Bartolomé Masó llamada “Las peladas”. En ella se aplicó una metodología de planificación energética para determinar qué cantidad de energía es la óptima. Dicha metodología tenía algunos inconvenientes que la hacían inaplicable a comunidades cubanas típicas. Estos inconvenientes eran los coeficientes de las variables de decisión de la función objetivo. Por tal motivo, el presente trabajo fue enfocado en esta dirección determinando, por modelos estadísticos de regresión lineal múltiple, dichos coeficientes. Se tomaron las disponibilidades y las demandas de diferentes fuentes de energías renovables y se determinaron cinco coeficientes para las cinco variables de decisión. Los coeficientes fueron: Demanda de Energía con Cocinas No Eficientes (C_{11}) es de 18,41949; Demanda de Energía con Cocinas Eficientes (C_{12}) es de 13,08457; El coeficiente de la variable Demanda de Energía Eólica para el Bombeo de Agua (C_{23}) es de 0,008738; Demanda de Energía Fotovoltaica en las Viviendas (C_{34}) es de 0,64417 y Demanda de Energía Fotovoltaica para el Alumbrado Público (C_{35}) es de 0,022207.

Abstract

The present work was applied to a rural community not electrified of the municipality of Bartolomé Masó called "Las Peladas". In her energetics was applied to a planning methodology to determine what amount of energy is the optimal one. This methodology had some disadvantages that typical Cuban communities made inapplicable. These disadvantages were the coefficients of the variables of decision of the objective function. By such reason, the present work was focused in this direction determining, by statistical models of multiple linear regression, these coefficients. The availabilities were taken and the demands of different renewable energy sources and determined five coefficients for the five variables of decision. The coefficients were: Energy demand with non Efficient Kitchens (C_{11}) is of 18,41949; Energy demand with Efficient Kitchens (C_{12}) is of 13,08457; The coefficient of the variable Aeolian Energy demand stops in Water Pumping (C_{23}) is of 0,008738; Photovoltaic energy demand in the Houses (C_{34}) is of 0.64417 and Photovoltaic Energy demand for the Public Lighting system (C_{35}) is of 0,022207.

ÍNDICE

PORTADA.....	i
PAGINA DE AUTORIA.....	ii
OPIÑON CRITICA DEL TUTOR.....	iii
OPIÑON CRITICA DEL Oponente.....	vi
PENSAMIENTO.....	ix
DEDICATORIA.....	x
AGRADECIMIENTO.....	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: ESTADO ACTUAL DEL TEMA.....	5
1.1. Situación energética.....	5
1.1.1. Situación energética mundial.....	6
1.1.2. Situación energética en Latinoamérica.....	8
1.1.3. Situación energética cubana.....	10
1.2. Situación de las energías renovables.....	11
1.2.1. Potencial energético mundial proveniente del sol.....	11
1.2.2. Potencial energético mundial proveniente del viento.....	13
1.3. Potencial energético renovable en regiones rurales cubanas.....	18
1.3. Metodologías para la optimización de energías renovables.....	22
1.4.1. Modelos de planificación energética.....	23
1.4.1.1. Modelo de Optimización Clásica.....	23
1.4.1.2. Programación Lineal.....	25
1.4.1.3. Método Simplex.....	28
1.4.1.4. Programación lineal entera.....	29
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.1. Explicación de algunos aspectos de la metodología utilizada.....	31
2.2. Descripción de la comunidad caso de estudio.....	32
2.3. Determinación de las variables de decisión estudiadas en la metodología.....	33

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Índice

2.3.1. Determinación de la disponibilidad de recursos naturales.	33
2.3.2. Determinación de la demanda.	34
2.4. Formulación de metodología de planificación energética utilizada.....	35
Restricciones de disponibilidad:	36
2.6 Regresión Lineal Múltiple para la determinación de los coeficientes de la función objetivo.....	42
2.8 Otros métodos utilizados.	43
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.	44
3.1. Utilización de la Regresión Lineal Múltiple para el cálculo de los coeficientes de las variables de decisión de la función objetivo.	44
3.1.2. Determinación del coeficiente de la variable Demanda de Energía para Cocinas Eficientes, x_{12}	48
Tabla 3.2 Coeficiente de la variable Demanda de Energía para Cocinas Eficientes, x_{12}	48
3.1.3. Determinación del coeficiente de la variable Demanda de Energía Eólica para el Bombeo de Agua, x_{23}	51
Tabla 3.3. Variable dependiente: Demanda Energética Eólica para el Bombeo de Agua.	51
3.1.4. Determinación del coeficiente de la variable Demanda de Energía Fotovoltaica en las Viviendas, x_{34}	53
3.1.5. Determinación del coeficiente de la variable demanda de energía Fotovoltaica para el alumbrado público, x_{35}	56
3.2. Aplicación de los coeficientes en la metodología de planificación energética.	58
3.2.1. Optimización de la metodología utilizando los coeficientes.	58
CONCLUSIONES.	60
RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.	62
ANEXOS.....	69

INTRODUCCIÓN

El creciente proceso de desarrollo científico-tecnológico junto a la expansión de un mundo globalizado económico, cultural y comunicacionalmente, son algunas de las características de las sociedades contemporáneas. Sin embargo, los procesos de producción y los mecanismos de distribución geográfica de los recursos naturales, han demostrado que la dependencia con el entorno no ha variado, por el contrario, esta se ha reforzado desde el punto de vista ecológico, afectando no sólo a un grupo local de la población mundial, sino a la totalidad de ésta. (Pinell, 2004).

Es por ello que el enfoque territorial permite estudiar el desarrollo de manera focalizada, lo que profundiza el conocimiento de las potencialidades locales, con conocimiento de las fuerzas que impulsan dicho desarrollo. (Pinell, 2004)

Los servicios básicos tienen un rol importante en el desarrollo rural, y principalmente la generación de economías locales que permitan a los pobladores rurales tener un mejor futuro para sus familias, su entorno social y ambiental (Canedo, 2005).

Para garantizar estos servicios es necesaria la energía eléctrica y en la actualidad se impulsan proyectos basados en la energización de comunidades rurales no electrificadas, para propiciar el desarrollo a comunidades aisladas de los principales medios que hacen que la calidad de vida de sus habitantes sea mejor.

Una de las causas de las equivocaciones en la satisfacción de las necesidades básicas (iluminación, comunicaciones, suministro de agua potable y de agua caliente para uso sanitario, salud, educación) y de la falta de actividad económica de las pequeñas poblaciones rurales, es la falta de suministro energético con fuentes convencionales.

Por razones de índole fundamentalmente económica hacen impensable una electrificación masiva del medio rural en un plazo razonable. Es por eso posible afirmar hoy que “la energía solar es una opción adecuada para garantizar una gran

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Introducción

parte de los requerimientos energéticos de nuestra sociedad y como tal, deben apoyarse las iniciativas que impulsan y conducen a su aprovechamiento racional en gran escala” (de la declaración de San José, Cumbre Solar de América y del Caribe, San José, Costa Rica, 5 al 9 de mayo de 1996). En esta declaración se utiliza el término ENERGIA SOLAR para referirse a todas las formas de energías renovables y limpias (Lesino *et al.*, 2004).

El problema de energía rural, no es solamente un problema técnico; es un problema que tiene que ver con salud, con pobreza, con oportunidades, con la organización, con el medio ambiente, con muchos otros aspectos que están inmersos. Entendiendo esta íntima relación, la estrategia propuesta podría ser más laboriosa y posiblemente más laboriosa al inicio, pero sus impactos perdurarán a lo largo del tiempo en el desarrollo humano, no solo de la comunidad, sino en todo su entorno (Arriaza, 2005).

Suele reconocerse que la electricidad es un importante elemento del desarrollo socioeconómico rural, no como fin en sí misma sino a través de la demanda de los servicios que permite ofrecer, como el bombeo de agua potable, la prolongación del día gracias a la iluminación, y la preparación de alimentos (Campen, *et al.* 2000).

En la mayor parte de los países en vías de desarrollo los problemas de energía que se están tratando es la alta dependencia de las fuentes tradicionales de energía que suministran más del 90% del total de energía usada, causando una rápida deforestación, la pérdida de fertilidad de suelo, etc. Así una gran cantidad de la información que se requiere para describir sus relaciones, y varias herramientas son necesarias al analizar diversas investigaciones y alcanzar una variedad de resultados que sean necesarios para el proceso de planeación (Campen, *et al.*, 2000).

Antes de la caída del combustible en los años 70, los planificadores y políticos de los países del tercer mundo tenían previsto el energizar zonas rurales en líneas similares a los países desarrollados. Esperaban que los modelos matemáticos de energía

podieran ser desarrollados para la planificación de la eficiencia, pronosticando y optimizando las fuentes de energía (Jebaraj e Iniyan, 2006).

Dada la complejidad de los problemas de energización rural, que no se ha solucionado aún, y para realizar la toma de decisiones en cuanto a la oferta de energía mediante fuentes renovables a una comunidad, se necesitan herramientas que ayuden a tomar decisiones de manera más sencilla.

Aunque se han desarrollado de forma eficiente los modelos matemáticos para facilitar la comprensión de los problemas de oferta de energía y la ulterior toma de decisiones, no se han realizado un estudio adecuado de los coeficientes implicados a las variables de decisión de las metodologías de planificación energética. Es por estas razones que tenemos como problema científico: en las metodologías utilizadas para la planificación energética a comunidades rurales aisladas, no se han determinado los coeficientes para las variables de decisión, que permitan una optimización más eficiente de la energía.

Para resolver este punto objetivamente se plantea la siguiente hipótesis de investigación: si se realiza un estudio de los coeficientes para las variables de decisión, en una metodología de planificación energética, utilizando modelos estadísticos, el proceso de optimización sería más eficiente.

Objetivo General:

Determinar los coeficientes para las variables de decisión de una metodología de planificación energética a comunidades rurales no electrificadas aplicando modelos estadísticos.

Objetivos Específicos:

- Plantear la metodología de planificación energética y su solución óptima.

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Introducción

- Determinar los coeficientes de las variables de decisión aplicando modelos estadísticos.
- Determinar la solución óptima de la metodología una vez determinado los coeficientes.

CAPÍTULO 1: ESTADO ACTUAL DEL TEMA.

1.1. Situación energética.

A partir de la primera revolución industrial, proceso generalmente en marcado de manera convencional entre 1760 y 1830, la tecnología se desarrollo con ritmos inéditos al aparecer invenciones como la máquina de vapor, los telares, el ferrocarril y navíos propulsados a vapor.

Como uno de las vías para impulsar ese proceso, se comenzó a emplear la hulla o carbón mineral, se sustituyo en buena medida a las fuentes renovables y caracterizó la primera transición energética, iniciándose desde ese momento el consumo de la dotación finita del planeta en materia de recursos energéticos (Torres, 2008).

En investigaciones recientes se ha descubierto que los procesos que generan afectaciones en el cambio climático mundial (en la década de los 80 se vislumbraba como algo posible y lejano a causa de la contaminación ambiental), fundamentalmente por la quema de combustibles fósiles, hoy se distinguen más cercanos y con procesos de aceleración mucho más inquietantes que los previstos en su inicio.

Se han unido ambas preocupaciones (el incierto futuro energético y el cambio climático), porque las dos tienen un punto común y este proviene del derroche desmedido de los recursos existentes, de la falta de voluntad política para enfrentar los problemas que crean, la carencia de concepción más amplia y abarcadora del fenómeno y su integralidad, dentro de la sinergia de los procesos que se generan y afectan al planeta en su totalidad (Ayes, 2008).

1.1.1. Situación energética mundial.

A partir del siglo XX, los combustibles fósiles han sido la base del avance de las sociedades industrializadas. Sin embargo, el petróleo tiene sus días contados al tratarse de un recurso no renovable, por lo que la utilización de nuevas fuentes de energía, múltiples y renovables, será uno de los principales retos del siglo XXI.

En este sentido hay que señalar que, el precio del petróleo ha aumentado más del doble desde finales de los 80 hasta el 2005, y seguirán incrementándose a medida que se vayan agotando los yacimientos y haya que recurrir a otros en peores condiciones de explotación. De seguir esta tendencia, algunos analistas calculan que, hasta el 2010, los países del Golfo Árabe-Pérsico controlaron el 95% de la capacidad de exportación a nivel mundial, puesto que los demás países con reservas disponibles tendrán que absorberlas para consumo doméstico.

Una de las características del sistema energético contemporáneo son los continuos vaivenes de los precios, tanto de los combustibles como de la demanda de energía, a causas de guerras y crisis económicas. La crisis energética de 1973 provocó una estabilización e incluso, una ligera disminución de las demandas ante los constantes aumentos del precio del crudo. El encarecimiento de la producción de energía obligó a un replanteamiento de los distintos países sobre la estrategia económica global, basado en el fomento del ahorro energético y de actividades con menor dependencia de los combustibles fósiles. Según datos compilados por el Worlwatch Institute, 1980, ocurrió un pico en la demanda mundial de energía, la cual disminuyó y se estabilizó en los primeros años de esa década. Con posterioridad, el consumo de energía ha estado aumentando, a pesar de los altos y oscilantes precios del petróleo en el mercado mundial (Flavin, 1994).

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Estado Actual del Tema

Una parte de la energía primaria que hoy se consume se emplea en el llamado “sistema eléctrico” (generación de energía eléctrica) y la otra va para el “sistema de combustibles” (para uso no eléctricos, como transporte, calefacción, etc). La fracción de energía primaria destinada a la generación de electricidad, correspondía a escala global a un 36 %, aunque en Japón y en otros países económicamente desarrollado esta cifra es superior al 40 %. Según los pronósticos de algunos expertos, para la década del 2010 al 2020, la proporción de la energía primaria usada para generar electricidad crecerá hasta alrededor de 44 % como promedio a escala mundial y ya a mediados del siglo 21 la cifra llegara a un 50 % (Romero, 2010).

En los países industrializados, cada habitante consume como promedio 10 veces más energía que uno que vive en llamado tercer mundo. En el caso de los países como Canadá y los EUA el consumo llega a alcanzar cifra tales, que puede ser 30 y hasta 40 veces mayor que en algunos países de África subsahariana y de Asia, e incluso hasta 2 veces mayor que los países europeos (Borroto et al. 2002).

Esta situación ha venido cambiando rápidamente en los últimos años. El incremento de la demanda, el aumento de los precios de la energía, las restricciones financieras para ampliar la oferta energética, la necesidad de lograr mayor competitividad internacional, así como la imperiosa necesidad de protección del medio ambiente, son factores que impulsan actualmente el aumento de la eficiencia energética en el mundo, existiendo un gran potencial para ello (Borroto, 2002).

Consumo mundial anual de energía.

Se llegó a un consumo de energía a escala mundial que superó ligeramente los 10 TW/año en 1980. Como refiere el *Annual Energy Review 1997*, de la Comisión Europea, entre 1980 y 1990 hubo un aumento del 20 %. Entre 1990 y 1995 el aumento fue solamente de 4,5 % (incremento medio anual de 0,9 %). Esta reducción se debió al cambio de estructuras económicas en los países que componían la antigua

Unión Soviética. Sin embargo, a partir de 1995 la tendencia es a continuar en aumento. En 1996 creció 3 % aproximadamente.

El consumo de energía a escala mundial en el 2005 llegó alrededor de 14 TW/año. Con respecto a la población como se puede ver en la (Fig. 1.1), ocurre la situación inversa: el Sur del mundo posee una población tres veces mayor que el norte (en 1988 la diferencia era aún mayor; de cinco millones de habitantes en la tierra, cuatro mil millones son del Sur), de modo que la diferencia de consumo per cápita entre el norte y el Sur es muy elevada (Fig. 1.2), (Turrini, 2006).

1.1.2. Situación energética en Latinoamérica.

En América latina y el Caribe, salvo algunas excepciones no se han observado mejoras en este campo, donde el crecimiento del PIB ha ido en paralelo con el consumo de energía incluso manifestándose determinada tendencia a la elevación de este indicador en algunos sectores (SEPAL, 2004).

La baja eficiencia energética en la región obedece a un conjunto de factores, dentro de los que se encuentran:

- La etapa en que se encuentra en el proceso de industrialización.
- La política aplicada por los gobiernos.
- El déficit de los mercados energéticos.
- Los bajos precios de la energía que han prevalecido.
- La falta de financiamiento para los proyectos de eficiencia energética.
- La insuficiente capacidad técnica de la ingeniería local en este campo.
- El bajo nivel de la gestión energética empresarial.
- La insuficiente información y motivación social para el ahorro de energía.

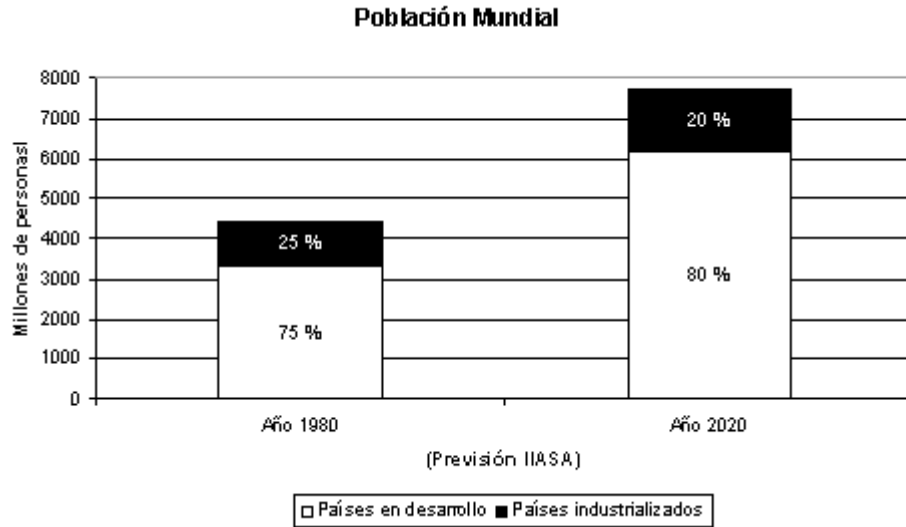


Fig. 1.1. Aumento estimado de la población de 1980 a 2020.

Fuente: Annual Review of Energy, vol. 10.USA, 1985

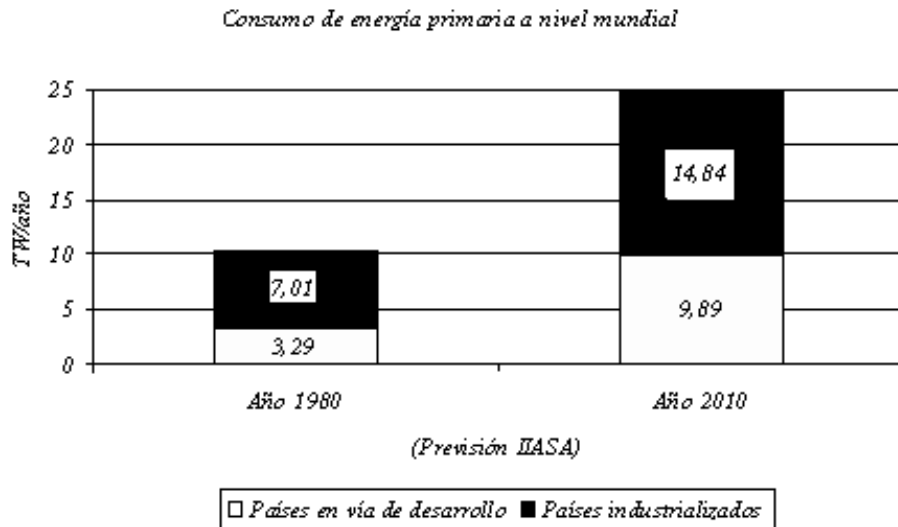


Fig. 1.2. Aumento estimado del consumo de energía de 1980 a 2020.

Fuente: Annual Review of Energy, vol. 10.USA, 1985.

El predominio de una política económica de carácter desarrollista impulsó al sector energético tareas muy difíciles de resolver, entre ellas de extender la oferta y cobertura energética y aceptar un deterioro de sus precios como parte de las políticas

sociales y antiinflacionario, sin recibir los fondos necesarios para cubrir sus costos de operación (Romero, 2010).

En 1994 las reservas de petróleo en América Latina representan el 14% de las reservas mundiales y sólo eran superadas por las existentes en Medio oriente (64,5% del total mundial). La relación reservas-producción (indicador de la capacidad de oferta de petróleo) es de 50 años, ubicándose en una posición **intermedia** respecto al mundo (Stolovich et al., 1997).

El potencial de ahorro de energía en los países subdesarrollados es actualmente mucho mayor que en los desarrollados por varias razones, dentro de las cuales se pueden señalar:

- Las actividades energo-intensivas están creciendo a mayor ritmo en los países en desarrollo, de modo que existen mayores oportunidades de lograr ahorros de energía en nuevas instalaciones, que es donde el potencial de ahorro es mayor.
- Los precios de la energía han sido tradicionalmente más bajos, subsidiados, por lo que el mercado no ha estimulado el ahorro de energía.
- Ha faltado el acceso a tecnologías comerciales para el incremento de la eficiencia energética.
- Han sido muy limitadas las fuentes de financiamiento para proyectos de eficiencia energética.

1.1.3. Situación energética cubana.

La desaparición de la Unión Soviética ocasionó un duro impacto a la economía cubana y sobre todo a la situación energética de la isla. Cuba importaba todo su petróleo de la Unión Soviética. Durante los años posteriores, en materia energética, Cuba dedicó sus esfuerzos por un lado a la extracción de petróleo cubano que existe en la costa norte y por otro lado a desarrollar las energías alternativas como energía solar, eólica e hidráulica así como el uso de la biomasa (madera y residuos agrarios)

para fines energéticos. Cuba es el país latinoamericano que más invierte en la investigación y desarrollo de la bioenergía y otras fuentes de energía alternativa. Varias conferencias sobre el tema tienen lugar anualmente en Cuba. Por ejemplo en mayo tuvo lugar en La Habana la XIX Conferencia Latinoamericana de Electrificación Rural.

En los últimos cinco años, el consumo energético en Cuba ha crecido establemente en la misma manera que la economía nacional ha recobrado su salud. La generación de electricidad se basa aún en el uso intensivo de los combustibles fósiles, aunque se utiliza petróleo cubano, en una gran parte, un combustible barato que ha permitido a la economía cubana reducir la importación de petróleo, aunque pagando una cuota de daños al medioambiente. El pronóstico para los próximos años es aumentar la utilización de petróleo nacional y disminuir la importación de petróleo para la producción de electricidad, pero también mejorando las tecnologías que reduzcan los impactos medioambientales asociados a su uso. (Moreno *et al.*, 2002)

1.2. Situación de las energías renovables.

1.2.1. Potencial energético mundial proveniente del sol.

La energía solar directa y la indirecta presentan las características de tener una distribución amplia, de modo que resulta particularmente óptima para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad.

La energía que el sol irradia anualmente hacia la tierra corresponde a $1,5 \cdot 10^9$ TWh= $1,7 \cdot 10^5$ TW/año. De ella, un 33 % se refleja desde la atmósfera hacia el espacio, 44 % es mayormente energía térmica, que es reflejada por la tierra bajo la forma de rayos infrarrojos; 21 % se usa en la vaporización de agua (formación de nubes), 2 % se transforma en energía almacenada en el viento (eólica), y en las olas en las mareas, solo el 1 % se almacena químicamente (fósiles) y biológicamente (biomasa).

Al considerar la energía solar técnicamente utilizable y teniendo en cuenta las pérdidas en su transformación, se podrían obtener, cada año, los siguientes índices disponible de consumidor en TW/año: 19 de la solar directa, 1 de viento, 2 de biomasa, 1,5 de agua, 1,5 de geotérmica, mareas, olas, etc. Con un total de 25. Este valor es tres veces superior al consumo mundial por año de energía al nivel de consumidor (aproximadamente 7,5 TW/año, siendo 11 TW/año el consumo anual de las fuentes primarias), (Turrini, 2006).

Potencial energético proveniente de la solar fotovoltaica.

Recogiendo, de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares. Mediante colectores solares, la energía solar puede transformarse en energía térmica, y utilizando paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Los paneles fotovoltaicos (Fig. 1.3) convierten directamente la energía luminosa en energía eléctrica. Los rayos de luz solar nos transmiten una pequeñísima parte de la energía que continuamente se está produciendo en el Sol, por las reacciones nucleares que tienen lugar en su interior. La energía solar se convierte en electricidad en los paneles o placas solares, que están formados por finas láminas de materiales especiales.



Fig. 1.3. Campo de Paneles Solares Fotovoltaicos auto dirigidos (EE.UU.).

Las diferentes tecnologías fotovoltaicas se adaptan para sacar el máximo rendimiento posible de la energía que recibimos del sol. De esta forma por ejemplo los sistemas de concentración solar fotovoltaica (CPV por sus siglas en inglés) utiliza la radiación directa con receptores activos para maximizar la producción de energía y conseguir así un coste menor por kW/h producido. Esta tecnología resulta muy eficiente para lugares de alta radiación solar, pero actualmente no puede competir en precio en localizaciones de baja radiación solar como Centro Europa, donde tecnologías como la Capa Fina están consiguiendo reducir también el precio de la tecnología fotovoltaica tradicional (Enciclopedia Encarta, 2010).

1.2.2. Potencial energético mundial proveniente del viento.

Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

El término eólico viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. La energía eólica ha sido aprovechada desde la

antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores (Fig 1.4). A finales de 2007, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 94.1 gigavatios (Global Wind, 2009)

En 2009 la eólica generó alrededor del 2% del consumo de electricidad mundial, cifra equivalente a la demanda total de electricidad en Italia, la séptima economía mayor mundial. En España la energía eólica produjo un 11% del consumo eléctrico en 2008 y un 13.8% en 2009 (World Wind Association, 2010).



Fig. 1.4. Parque Eólico (Hamburgo, Alemania).

Existe una gran cantidad de aerogeneradores operando, con una capacidad total de 159.213 MW, de los que Europa cuenta con el 47,9% (2009). EE.UU. y China,

juntos, representaron 38,4% de la capacidad eólica global. Los cinco países (EE.UU., China, Alemania, España e India) representaron 72,9% de la capacidad eólica mundial en 2009, ligeramente mayor que 72,4% de 2008. La Asociación Mundial de Energía Eólica (*World Wind Energy Association*) anticipa que una capacidad de 200.000 MW será superada en el 2011.

En 2006, la instalación de 7,588 MW en Europa supuso un incremento del 23% respecto a la de 2005. Para tener una mejor panorámica, en la (Fig. 1.5), muestra la capacidad eólica mundial total instalada desde el 2001 hasta el 2010.



Fig. 1.5. Capacidad eólica mundial total instalada (2001-2010).

Potencial energético proveniente del recurso eólico en Cuba.

En Cuba, para impulsar el uso de la energía eólica, resulta prioritaria la evaluación del recurso eólico en el país, con la finalidad de conocer el potencial en este recurso así mismo los posibles sitios en los cuales es factible el emplazamiento de parques

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Estado Actual del Tema*

eólicos, a mediana y gran escala, que puedan contribuir al Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

Un grupo interdisciplinario de especialistas de varias entidades cubanas trabaja desde el 2005 para disponer de un mapa con las principales zonas donde se localiza el recurso eólico y obtener una evaluación preliminar del potencial Eolo-energético en Cuba. En esta ocasión las principales entidades que participaron en la confección del mapa eólico fueron el Instituto de Meteorología (INSMET), el Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados (GEPROP), el Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER, ISPJAE), el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), los Joven Club de Computación y el Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES).

El Mapa del Potencial Eólico de Cuba permite identificar 26 zonas geográficas que revelan potenciales eólicos acordes con las clases 4 (Moderado), 5 (Bueno), 6 (Excelente) y 7 (Excepcional), con potencias que van desde 500 y 600 W/m², con velocidades entre 6,2 y 6,8 m/s, y más de 1 000 W/m² (>8,2 m/s) (Excep.).

A partir de la determinación de la extensión en kilómetros cuadrados de las áreas consideradas entre moderadas y excelentes, se determinó el potencial eólico de Cuba, que fluctúa entre 5 000 y 14 000 MW (Tabla 2) (Cubasolar, 2010).

Tabla 1.2. Potencial eólico instalable en Cuba.

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Estado Actual del Tema*

Provincias	Área, km ²	Área, km ²	Potencial eólico, MW	Potencial equivalente con FC = 25%, MW
Pinar del Río	34	7	35-98	8-24
La Habana	65	13	65-182	16-45
Ciudad de La Habana	13	3	15-42	3-9
Matanzas	21	4,2	3-8	5-15
Villa Clara	0,1	0,02	0,1-0,28	0,02-0,07
Cienfuegos	0	0	0	0
Sancti Spíritus	0,2	0,04	0,2-0,6	0,05-0,14
Ciego de Ávila	110	22	110-308	27-77
Camagüey	313	63	315-882	78-219
Las Tunas	25	5	25-70	6-17
Holguín	766	153	176-2 142	191-536
Granma	1 184	237	1 185-3 318	296-828
Santiago de Cuba	734	147	735-2 058	183-514
Guantánamo	1 555	311	1 555-4 354	389-1 089
Isla de la Juventud	210	42	210-588	52-147
Total nacional	5 030	1 006	5 030-14 084	1 257-3 521

Fuente: Cubasolar.

1.2.3. Potencial energético proveniente de la biomasa: la leña y el carbón vegetal.

Unos de los recursos biomásicos más utilizados para la producción de energía son la leña y el carbón vegetal. Por lo que ambos tienen un peso significativo en los países en vías de desarrollo.

Un presupuesto energético típico, en un país en vía de desarrollo, depende mucho de la leña y del carbón vegetal, para la cocina y la calefacción doméstica. Los tres principales aspectos a tomarse en cuenta, cuando se formula una política energética para la leña son:

- Las dimensiones actuales y características del recurso maderero y de su futuro desarrollo.
- El esquema actual del consumo de leña y de carbón vegetal, y su posible desarrollo futuro.

- Cómo se produce y distribuye la oferta actual, y qué posibilidades hay de racionalización y mejora.

El consumo per cápita mundial de leña, incluyendo el carbón vegetal, fue estimado en 1978 en 0,37 m³. Sin embargo, el empleo per cápita en el mundo desarrollado era de sólo 0,13 m³, comparado con los 0,46 m³ del mundo en desarrollo. Los países desarrollados tienen un alto consumo global de energía por persona, en el cual la madera es una componente menor; los países en desarrollo tienen un bajo insumo de energía per cápita, representado principalmente por la leña y el carbón vegetal (La Biomasa, 2007).

Consumo mundial de leña y carbón vegetal.

El consumo básico per cápita puede estimarse en 1.200 kg anuales de leña con 30% de contenido de humedad. Este valor se aplica a los hornos y fogones de cocina, tradicionalmente de baja eficiencia. Las cocinas económicas muy eficientes pueden bajar este valor a 450 kg. El consumo de carbón vegetal varía aproximadamente entre 60 y 120 kg per cápita por año, y a los fines de una planificación preliminar, puede usarse el valor de 100 kg, convertible desde alrededor de 700 kg de madera seca, necesarios para producirla, teniendo en cuenta las pérdidas de transporte. El contenido calórico de 100 kg de carbón vegetal, desmenuzado, equivale aproximadamente a alrededor de 300 kg de madera seca al aire (FAO, 2007).

1.3. Potencial energético renovable en regiones rurales cubanas.

El territorio cubano posee alrededor de unos 19 000 km² de zonas montañosas las cuales están pobladas aproximadamente con 820 mil habitantes, quienes por lo general viven en zonas de difícil acceso. En las zonas rurales remotas y montañosas, por sus características, sólo se alcanzó 80% de electrificación (Electrificación solar, 2002).

Cuba cree firmemente que el desarrollo y la aplicación de las fuentes renovables de energía, son la clave para el futuro. En los últimos años, se impulso el uso de algunas energías renovables como complemento al balance energético nacional y para la electrificación de objetivos aislados.

Biocombustibles:

La industria azucarera ha usado tradicionalmente el bagazo (residuo sólido de la molienda de la caña de azúcar) como combustible renovable para generar vapor de proceso y complementariamente para generar electricidad para otros usos. La producción de electricidad en la industria azucarera esta incrementándose. La mayoría de las centrales están conectadas a la red nacional y entregan electricidad a la misma. Un objetivo en esta área es la incorporación de tecnologías de avanzada (tecnología de gasificadores de lechos fluidizados y los sistemas de producción de electricidad en ciclos combinados con turbinas de vapor y de gas) para aumentar la producción de electricidad, lo que requiere de fuertes inversiones (Curbelo, 1995).

Energía hidroeléctrica:

Cerca de 150 micro y mini plantas hidroeléctricas están en funcionamiento, la mayoría de ellas entregan electricidad al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) y otras suministran electricidad a pequeños poblados no conectados a la red eléctrica nacional). La capacidad hidroeléctrica instalada en Cuba es de 30 MW (Valdés, 2000). La industria mecánica cubana ha desarrollado y produce 6 modelos de turbinas que cubren una gran parte de las necesidades (González, 2001).

Energía eólica

En 1999 se puso en marcha el primer Parque Eólico Demostrativo Cubano con una potencia de 0.45 MW, en la Isla Turiguanó, Ciego de Ávila (5,7). El parque cuenta con 2 turbinas eólicas de mediana potencia interconectadas al Sistema Eléctrico Nacional y a mediano plazo se prevé su crecimiento con máquinas de mayor

capacidad. Sus objetivos son aportar 998.5 MWh anuales de energía a la red local, que es el 40 % del consumo anual actual de la Isla Turiguanó, así como probar en Cuba la viabilidad de generar electricidad con el viento, complementando la generación con otras fuentes convencionales o renovables, especialmente para sitios aislados y con ecosistemas frágiles. En general el uso de energía eólica es limitado aunque existen miles de sistemas aislados para el bombeo de agua. El desarrollo turístico en los cayos de la costa norte, donde varios miles de habitaciones serán construidas en los próximos diez o quince años, abre una oportunidad para el uso de la energía eólica en dicha zona. Debido a su localización geográfica y a la potencia del viento, la energía eólica competiría ventajosamente con el costo de la generación diesel, como en el proyecto de parque eólico en Cayo Coco.

En el país existen alrededor de 3 000 plantas eléctricas que trabajan con combustible convencional diesel fundamentalmente de las cuales 80% son privadas para uso familiar y 20% son estatales y brindan servicio a comunidades rurales (González, 2001).

Energía solar:

En septiembre del 2000 comenzó a ejecutarse un programa de electrificación fotovoltaica (solar) en las zonas rurales. El programa incluye la electrificación, con paneles solares, del consultorio médico y de la escuela de la población. También se construye una sala de televisión y video. En dichas salas los paneles solares garantizan diariamente 5 horas de servicio de un televisor, video e iluminación.

En algunas regiones se han utilizado sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos, capaces de aprovechar simultáneamente la energía del sol y el viento para cargar las baterías, como por ejemplo en la provincia de Guantánamo. En esta provincia se instaló recientemente la central eólico-fotovoltaica con mayor potencia en el país. (Parque Eólico) El centro de señales televisivas y otro de radioenlace ubicado en la segunda elevación de la provincia más oriental y capital solar de la Isla, se beneficia del

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Estado Actual del Tema

sistema compuesto por aerogenerador de seis kilowatts de potencia y un centenar de paneles solares que en conjunto triplican esa capacidad de generación. En esta provincia algunas escuelas tienen pequeños sistemas energéticos mixtos que constan de un pequeño aerogenerador de 400 W y un panel fotovoltaico de 165 W. El sistema híbrido eólico-fotovoltaico asegura un suministro estable e ininterrumpido en diferentes condiciones climáticas.

Cada consultorio del médico y enfermera de la familia está dotado de una instalación solar con capacidad de 400 a 425 W de potencia eléctrica pico fotovoltaica, garantizando la prestación de los servicios sanitarios y mejorando las condiciones de vida del personal médico. Como parte de la electrificación se suministra e instalan lámparas para la iluminación, equipo de radio-comunicación, refrigerador para la conservación de vacunas y medicamentos, un televisor en colores y un equipo de fototerapia. Además se ponen en funcionamiento los equipos electromédicos existentes en los consultorios como son el negatoscopio, la lámpara de cuello y el electrocardiógrafo. A cada centro de referencia que agrupa un grupo de consultorios se le incluye como parte del equipamiento un equipo láser.

La experiencia adquirida con el transcurso de los años ha permitido extender el programa de electrificación fotovoltaica a los hospitales rurales ubicados en zonas montañosas remotas y de difícil acceso que contaban con un servicio eléctrico inestable. Dentro de la estructura del sistema de salud, los hospitales rurales, juegan un papel importante. A ellos se encuentran vinculados los consultorios del médico de la familia del territorio y es el lugar al que son remitidos los pacientes del consultorio médico en caso de que necesiten un cuidado más especializado.

La instalación fotovoltaica depende de las características del hospital. Por lo general posee una capacidad cercana a los 2 kW de potencia pico y está compuesta por un generador solar (integrado por paneles fotovoltaicos, equipamiento de control de la operación de carga y descarga, inversor de DC / AC, baterías para la acumulación de energía), lámparas para la iluminación, un equipo de radio-comunicación, un equipo

de refrigeración para la conservación de medicamentos, televisión en colores y se garantiza la conexión de los equipos electromédicos existentes al circuito eléctrico.

La fábrica de Energía Fotovoltaica (FEF) del Combinado de Componentes Electrónicos Ernesto Che Guevara, de Pinar del Río, única de su tipo en Cuba, confecciona una amplia gama de paneles solares de tamaño pequeño que abarca los de 5 hasta 165 W. El 29% de la producción fue dirigida a la exportación en 2002.

1.3. Metodologías para la optimización de energías renovables.

Un modelo matemático se define como una descripción desde el punto de vista de las matemáticas de un hecho o fenómeno del mundo real, desde el tamaño de la población, hasta fenómenos físicos como la velocidad, aceleración o densidad.

El objetivo del modelo matemático es entender ampliamente el fenómeno y tal vez predecir su comportamiento en el futuro.

El proceso para elaborar un modelo matemático es el siguiente:

1. Encontrar un problema del mundo real.
2. Formular un modelo matemático acerca del problema, identificando variables (dependientes e independientes) y estableciendo hipótesis lo suficientemente simples para tratarse de manera matemática.
3. Aplicar los conocimientos matemáticos que se posee para llegar a conclusiones matemáticas.
4. Comparar los datos obtenidos como predicciones con datos reales. Si los datos son diferentes, se reinicia el proceso.

Es importante mencionar que un modelo matemático no es completamente exacto con problemas de la vida real, de hecho, se trata de una idealización (Stewart, 2002).

1.4.1. Modelos de planificación energética.

1.4.1.1. Modelo de Optimización Clásica.

La teoría de optimización clásica utiliza el cálculo diferencial en la determinación de los puntos de máximos y mínimos (extremos), para funciones con y sin restricciones (Taha, 1998). La teoría que lo fundamenta proporciona las bases para diseñar la mayor parte de los algoritmos de programación lineal.

Optimización libre.

Es la primera aproximación en la optimización de funciones. Se dice que una función f posee un óptimo (en este caso máximo) para el punto $P(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$ si se verifica que:

$$f(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \geq f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Se demuestra que es condición necesaria para que se verifique (1), que:

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} = 0, \quad i=1,2,\dots, n \quad (2)$$

En general, esta condición puede enunciarse como $\nabla f(x^0) = \mathbf{0}$, donde $\nabla f(x^0)$ es el gradiente de $f(x^0)$ y $\mathbf{0}$ el correspondiente vector nulo. Esto es lo mismo que afirmar que el valor de X_i en el óptimo ha de ser tal, que si llamamos "función objetivo" a $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, una variación marginal de dicho valor tiene un efecto nulo sobre la función objetivo.

Optimización restringida.

Como indica (López, 1983), en los problemas de decisión las variables que definen la función objetivo suelen estar sometidas a vínculos o restricciones. Si se quiere obtener como resultado el óptimo de la función, debe recurrirse a la técnica de los máximos (en su caso, mínimos) condicionados. El procedimiento general en este supuesto es el desarrollado por Jacobi pero, frecuentemente, puede emplearse el método de los llamados "multiplicadores de Lagrange". En resumen, si las variables X_1, X_2, \dots, X_n se encuentran ligadas por vínculos:

$$\left. \begin{aligned} g_1(X_1, X_2, \dots, X_n) &= b_1 \\ g_2(X_1, X_2, \dots, X_n) &= b_2 \\ &\vdots \\ g_m(X_1, X_2, \dots, X_n) &= b_m \end{aligned} \right\} (m \leq n-1) \quad (4)$$

supuesto el carácter constante de los b_j ($j = 1, 2, \dots, m$), la determinación del óptimo para $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ se lleva a cabo construyendo la llamada "función de Lagrange" o "Lagrangiana":

$$L = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum \mu_k [b_k - g_k(x_1, x_2, \dots, x_n)]$$

o, denominando x al vector de variables independientes,

$$L = f(x) + \sum \mu_k [b_k - g_k(x)]$$

La condición de óptimo (máximo o mínimo) requiere la anulación del gradiente de la lagrangiana,

$$\nabla L(x) = \mathbf{0}$$

lo que es lo mismo,

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} - \sum_{k=1}^n \mu_k \frac{\partial g_k}{\partial x_i} = 0 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (5)$$

Así tenemos, n ecuaciones de la forma (5) que, unidas a las m ecuaciones comprendidas en (4), permiten determinar los valores de los m parámetros (multiplicadores de Lagrange) μ_k y los de las n variables x_i .

Si denominamos V^* al valor de la función objetivo en el óptimo, obtenemos el siguiente resultado:

$$\frac{\partial V^*}{\partial X_k} = \mu_k^*$$

La interpretación de esta expresión implica que el valor de cada multiplicador en el óptimo es igual a la tasa marginal de cambio del valor óptimo de la función objetivo, respecto a una modificación de carácter infinitesimal en la restricción a que dicho multiplicador se halla asociado.

1.4.1.2. Programación Lineal.

El modelo matemático de un problema de energización es el sistema de ecuaciones y expresiones matemáticas relacionadas que describen la esencia del problema.

Así se pueden tomar n decisiones cuantificables relacionadas unas con otras, se representan como *variables de decisión* (digamos x_1, x_2, \dots, x_n) para lo que se deben determinar los valores respectivos. La medida de desempeño adecuada (por ejemplo oferta de energía) entonces se expresa como una función matemática de estas variables de decisión (por ejemplo $Z = 3x_1 + 2x_2 + \dots + 5x_n$). Esta función se llama *función objetivo*. También se expresan matemáticamente todas las limitaciones que se pueden imponer sobre los valores de las variables de decisión, casi siempre en forma de inecuaciones o desigualdades (como $x_1 + 3x_1x_2 + 2x_2 \leq 10$) (Introducción a...2007).

Tales expresiones matemáticas de las limitaciones, con frecuencia reciben el nombre de restricciones. Las constantes (los coeficientes al lado derecho de las ecuaciones) en las restricciones y en la función objetivo se llaman *parámetros* del modelo. El

problema puede expresarse entonces como el problema de elegir variables de decisión de manera que se optimice (maximizar o minimizar) la función objetivo, sujeta a las restricciones dadas.

Definición del problema.

Un caso particular dentro de la programación matemática es el que corresponde a la llamada "programación lineal". Esta técnica está diseñada para optimizar el empleo de recursos limitados. La característica fundamental que define este caso es la linealidad de sus expresiones. Tanto la función objetivo a optimizar como el conjunto de restricciones asociadas al problema son lineales.

Estas restricciones, según (López de la Manzanara, 1983) suelen clasificarse en dos grupos, según afecten a relaciones entre las variables independientes (llamadas "instrumentos") de la función objetivo (restricciones "circunstanciales") o al signo de dichas variables (restricciones "laterales"). En algunos casos una restricción, implícita y esencial, para desarrollar el algoritmo de solución del modelo es la "restricción de no negatividad" ($X_j > 0$) para las variables de la función objetivo.

Según lo que se acaba de establecer:

$$X_0 = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

- Por ser lineales las funciones que definen las ecuaciones y/o inecuaciones asociadas a las restricciones del problema:

$$a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n (\geq, \text{ ó }, =, \text{ ó }, \leq) b_i, \quad \text{siendo } i = 1, 2, \dots, n$$

En la formulación usual el problema se establece de la siguiente forma:

máx o mín: $X_0 = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n,$

sujeto a, $a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n (\leq, \text{ ó }, =, \text{ ó }, \geq) b_1$

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Estado Actual del Tema*

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n (\leq, \acute{o}, =, \acute{o}, \geq) b_2$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n (\leq, \acute{o}, =, \acute{o}, \geq) b_m$$

$$X_1, X_2, \dots, X_n (>0, \acute{o} \text{ no})$$

donde C_j , a_{ij} , b_i , ($i = 1, 2, \dots, n$), García (2004) citando a López de la Manzanara (1983) que supone constantes determinadas por la "tecnología" del problema a la que sirve el modelo, y son llamados "parámetros" del problema.

Así mismo, este autor establece que "en tanto que el modelo de programación lineal sirva a problemas de asignación de recursos a un determinado número de actividades x_i , y dichos recursos sean limitados, los parámetros que figuran en tal modelo se interpretan como sigue":

- b_i : cantidad disponible del recurso "i",
- a_{ij} : cantidad del recurso "i" que se asigna a la actividad "j" ,
- C_j : valor por unidad de la actividad "j".

Dadas las características expuestas, un problema de programación lineal puede establecerse como se describe a continuación:

Sean:

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_n) \quad X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{pmatrix}$$

Y siendo "0" el vector columna nulo de "n" filas, el problema consiste en hallar

$$\text{máx } CX,$$

con:

$$A \cdot X \geq b$$

$$X \geq 0$$

Obviamente, el problema puede plantearse en forma de máximo; de hecho, si $Z = CX$, es claro que, siendo $Z = -Z$, entonces, $\text{mín } Z = \text{máx } Z$

1.4.1.3. Método Simplex.

Es un método de resolución de la forma estándar de programación lineal. Esta forma estándar tiene las siguientes propiedades:

1. Todas las restricciones son ecuaciones con un lado derecho no negativo.

Para ello se convierten las desigualdades en ecuaciones aumentando su lado izquierdo con una variable "de holgura" (ó superávit).

1. Todas las variables son no negativas. Para la conversión de una "variable no restringida" (puede ser negativa) en una "variable no negativa" se utiliza el siguiente sistema: Sea x_j una "variable no restringida", entonces se descompone en dos variables no negativas, x_j^+ y x_j^- cumpliéndose que, $x_j = x_j^+ - x_j^-$.

2. La determinación de las soluciones básicas de la forma estándar incluye "m" ecuaciones lineales simultáneas en "n" incógnitas o variables ($m < n$). Las variables "n" pueden dividirse en dos series:

- (1) "n - m" variables a las cuales les asignamos valores cero.

- (2) Las restantes "m" variables, cuyos valores se determinan resolviendo las "m" ecuaciones restantes.

Si las "m" ecuaciones producen una solución única, entonces las "m" variables asociadas se llaman 'Variables básicas', y las "n-m" restantes son denominadas, "variables no básicas". A la solución se la denomina "solución básica". Si todas las variables toman valores no negativos, entonces la solución básica es "factible". De lo contrario es no factible.

Con el fin de describir el algoritmo simplex Taha (1998) afirma que podemos determinar la programación lineal óptima enumerando, de forma exhaustiva, todas las soluciones básicas (factibles) de la forma estándar. Pero, continúa este autor, "este procedimiento es ineficiente desde el punto de vista de cálculo". Por ello el algoritmo simplex está diseñado para localizar la óptima, concentrándose en un número seleccionado de las soluciones básicas.

El método Simplex empieza en una solución básica factible. Partiendo de esta solución, trata de encontrar otra solución básica factible que mejore el valor objetivo del problema. Para ello, convierte una variable no básica (que por tanto toma el valor cero en el problema) en una variable positiva. A su vez elimina una de las variables básicas actuales (para mantener el número de variables en relación con las ecuaciones del problema) convirtiéndola en una "variable no básica". La variable no básica seleccionada se denomina, "variable de entrada", y la variable básica eliminada, "variable de salida". Repitiendo este proceso a lo largo de los límites del conjunto convexo se obtiene la deseada solución factible óptima.

1.4.1.4. Programación lineal entera.

En esta programación, algunas o todas las variables están restringidas a valores enteros (o discretos). Taha (1998) llama "problema entero puro", a aquel, en el cuál, todas las variables deben ser valores enteros. En contraposición, llama "problema entero mixto" aquel en el cual solo algunas variables deben tomar valores enteros.

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Estado Actual del Tema*

Con el fin de resolver este tipo de problemas existen varios algoritmos cuyo planteamiento supone tres puntos:

- Disminuir el espacio de la solución del problema. Para ello se sustituye cada variable binaria por una gama continua, entre 0 y 1. A su vez se quitan las restricciones enteras en todas las variables enteras. Esta disminución da lugar a una programación lineal regular.
- Resolver el nuevo problema planteando, encontrando su solución óptima. Esta solución será continua.
- Desde el punto óptimo se van añadiendo restricciones especiales, de forma iterativa, que modifican el espacio de solución. Estas nuevas restricciones darán lugar al punto extremo óptimo que cumpla los requerimientos enteros.

Las restricciones especiales pueden construirse mediante tres métodos: El método de ramificación y acotamiento (R y A), el método de enumeración implícita cero-uno y el método de plano cortante.

Puede encontrarse una información detallada de esta programación y de los métodos de construcción de restricción en varios autores como Nemhauser y Wolsey (1988), Parker y Rardin (1988), etc.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. Explicación de algunos aspectos de la metodología utilizada.

El problema de la toma de decisiones.

En la energización de comunidades rurales o cualquier tipo de comunidad, se presenta varias preguntas: ¿Cuánta energía necesita exactamente la comunidad?, ¿Qué tipo de fuente de energía se necesita y hacia qué sectores se deben dirigir?, ¿Cuál será la solución óptima que hará que se compensen la disponibilidad (oferta) y la necesidades energética (demanda)?

El objetivo general de este trabajo es optimizar la cantidad de energía con tecnologías renovables a comunidades rurales a través de una metodología de planificación energética una vez determinados los coeficientes de las variables de la función objetivo. De lo que se trata es de diversificar la producción de energía con fuentes renovables de manera que se utilicen todos los recursos disponibles de las zonas rurales de forma óptima y no depender solo de uno o dos recursos.

Este trabajo consiste en la aplicación de un modelo estadístico para determinar los coeficientes de las variables de decisión para una metodología de planificación energética realizadas en estudios anteriores en su tesis de grado Chalacán y Masapanta (2011). Así mismo, se aplica esta herramienta a un estudio de caso en una comunidad rural aislada sin conexión a ninguna red de abastecimiento eléctrico (Zona No Interconectada), con un pobre o ningún uso de los recursos renovables disponibles.

Chalacán y Masapanta (2011) utilizaron una metodología de planificación energética que es una herramienta o método matemático de Investigación de Operaciones

denominada Programación Lineal. Esta es una técnica de optimización de recursos para efectuar el trabajo de toma de decisiones con exactitud.

Se llevó a cabo el modelo de manera que se pudo determinar las variables de decisión, la función objetivo a optimizar y las restricciones de recursos a la que está sujeta dicha función.

En este estudio se necesitó observar los recursos energéticos de la comunidad; para ello mayormente nos basamos en parámetros tabulados y presentados por las instituciones medioambientales de la zona, otros por las observaciones y la opinión de los habitantes de la zona (encuestas, anexo 4). Así mismo el comportamiento de los sectores de consumo del recurso que se trate, por otros proyectos de energización ya implementados (Chalacán y Masapanta, 2011).

2.2. Descripción de la comunidad caso de estudio.

El estudio de caso se desarrolló en la comunidad rural “Las peladas”, Zona No Interconectada al sistema eléctrico nacional (ZNI). Ella pertenece al municipio Bartolomé Masó, de la provincia Granma. Ubicada a 15 km de la cabecera municipal.

El pueblo urbano más cercano es “Bueycito” a 12 km de distancia de la comunidad objeto de estudio. También pertenece al Parque Nacional “Sierra Maestra” el cual está declarado, por la institución de Flora y Fauna de la provincia, zona protegida. Tiene 14 viviendas con 56 habitantes. Posee 3 km² de territorio limítrofe, está a 4 km de la red de transporte más importante y sin acceso a servicio telefónico.

En esta comunidad forma parte de las prioridades del gobierno de la región para la energización a través de fuentes renovables.

2.3. Determinación de las variables de decisión estudiadas en la metodología.

Las variables de decisión son aquellas a las que se va a optimizar, es decir, en este caso son, disponibilidad y demanda del recurso biomasa: x_1 , disponibilidad y demanda del recurso Eólico; x_2 , disponibilidad y demanda del recurso Biomasa; x_3 , disponibilidad y demanda de recurso Sol. Cada una de estas variables toma un valor toda vez que se optimice el modelo o metodología.

2.3.1. Determinación de la disponibilidad de recursos naturales.

Según Chalacán y Masapanta (2011), son los recursos más abundantes en la zona para la producción de energía que se tiene en cuenta en el modelo, forman parte de las restricciones.

Estos parámetros de disponibilidad fueron medidos y muchos determinados por un estudio realizado por el equipo de trabajo del proyectos SURE y por datos oficiales ofrecidos por la dirección provincial de Cubasolar. Estas variables fueron las siguientes:

- ✓ Vientos (velocidad en m/s).
- ✓ Sol (radiación).
- ✓ Biomasa (cantidad en kg).
 - Desechos agrícolas (cantidad por casa).
 - Desechos de animales (cantidad por casa).
 - Leña disponible.

2.3.2. Determinación de la demanda.

La demanda de energía en zonas aisladas y sin conexión eléctrica es variada. Primero hay que definir los sectores a los que se la ofertará energía con un tipo de fuente apropiada para él.

Biomasa.

En la cocción de alimentos con cocinas eficientes y fogones tradicionales, el tipo de energía que demanda es la proveniente de la biomasa. En la comunidad estudiada se cocinan alimentos con estos dos tipos de tecnologías, lo que hace que sea variado el consumo (uno mayor que otro). Es por ello que en su tesis de grado Chalacán y Masapanta (2011), dividen la demanda de biomasa. Se necesita conocer que los recursos biomásicos de la zona puedan cubrir la demanda sin afectar el ciclo evolutivo de la biomasa para una producción continua de energía con este recurso. Se necesita ofertar este recurso de una manera óptima y que el consumidor la demande, respetando todo lo antes dicho. Por lo tanto en este aspecto se subdivide, por la cantidad de energía necesaria, en dos tipos de demanda:

- Demanda de biomasa con cocinas eficientes para la cocción de alimentos (en tep).
- Demanda de biomasa con fogones tradicionales para la cocción de alimentos (en tep).

Energía Solar.

En este punto, la producción de energía, por su estabilidad de producción en esta comunidad, se utiliza en los sectores de consumo más necesarios y más sensibles de la comunidad:

- Demanda de electricidad en el sector residencial (en tep).
- Demanda de electricidad en el sector público, iluminación pública (tep).

Energía eólica.

En este sentido, la energía eólica es un recurso limitado de la zona aunque aún así explotable en algunos sectores de consumo. Se subdividen como sigue:

- Demanda de energía para el bombeo de agua.

2.4. Formulación de metodología de planificación energética utilizada.

El problema matemático consiste en ofertar la mayor cantidad de energías provenientes de fuentes renovables, a máxima capacidad de planta. Por tanto las expresiones del modelo de programación lineal son las siguientes:

1. La función objetivo:

Para maximizar estas variables, la función objetivo quedaría:

$$\text{Maximizar} \quad Z = C_{11}x_{11} + C_{12}x_{12} + C_{23}x_{23} + C_{34}x_{34} + C_{35}x_{35}$$

Donde C_1, C_2, \dots, C_{35} son coeficientes que, en esta tesis, serán determinados a través de un modelo estadístico de regresión lineal conforme se explicará más adelante. Al determinar por una ecuación de ajuste estos coeficientes, la aplicación de la metodología será más eficiente.

x_{11} : Es la demanda (en tep/año) de energía biomásica para la cocción de alimentos con cocinas eficientes.

x_{12} : Es la demanda de energía biomásica (en tep/año) para la cocción de alimentos con cocinas no eficientes.

x_{23} : Es la demanda de energía eólica (en tep/año) para el bombeo de agua.

x_{34} : Es la demanda de energía eléctrica (en tep/año) residencial con Paneles Fotovoltaicos.

x₃₅: Es la demanda de energía eléctrica (en tep/año) en la iluminación pública de Paneles Fotovoltaicos.

2.5 Las restricciones:

Las restricciones son todas aquellas que limitan a la función objetivo a volverse máxima. Esto siempre viene caracterizado por la disponibilidad de los recursos, es decir, las limitaciones de estos.

En nuestro caso las restricciones son de dos tipos: las relativas a la demanda y las de disponibilidad del recurso. Para poder hacer un estudio de las restricciones se debió realizar observaciones y mediciones a la comunidad estudiada.

Restricciones de disponibilidad:

✓ Para la Biomasa.

Para encontrar los parámetros de esta restricción se realizaron varios cálculos. Lo primero es determinar la disponibilidad de la biomasa, porque no se puede consumir más energía proveniente de la biomasa de la que se dispone, en caso contrario crearía una crisis en ese sector que trataría de equilibrarla con otro recurso energético.

La comunidad estudiada posee 4 hectáreas de Marabú en los alrededores (Según un estudio de proyecto RESURL III). Fáciles de colectar ya que no implica transporte automotor ni gastos adicionales que no sean físicos humanos y animal. Para respetar el ciclo de vida de esta biomasa y mantener los suministros en el tiempo para no generar crisis de abastecimiento, se toman solo dos hectáreas como recurso disponible para un año. Al año siguiente se tomaría las otras dos (Chalacán y Masapanta, 2011).

Cada hectárea de bosques cortos de sabanas posee de 20 a 45 m³ (FAO, 2007). El marabú, por tener una alta densidad poblacional se encuentra en la comunidad un total de 90 m³ disponible para la cocción de alimentos.

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Materiales y Métodos*

Por otro lado, cada metro cúbico de marabú puede tener 750 kg de madera verde por m^3 y a su vez 535 kg de leña seca por m^3 (FAO, 2007). Teniendo en cuenta que un kg de marabú posee 4 654 kcal, se traduce a que la comunidad posea una disponibilidad de 21,6 tep (ver factores de conversión, anexo 1), respetando el ciclo de vida de este tipo de biomasa y para mantener el suministro energético de biomasa para la cocción de alimentos estable en el tiempo. Este parámetro (21,6 tep) se coloca al lado derecho de la desigualdad.

En este caso la biomasa solo se utilizará en dos sectores que tienen una demanda anual estimada per cápita. Teniendo como base este antecedente, se planifica que el consumo no debe exceder esta cifra ya que generaría problemas de tipo ambiental y económico. Esto se representa a través de la siguiente restricción.

$$16,55 x_{11} + 4,41 x_{12} \leq 21,6$$

donde,

x_{11} : es la cantidad de energía anual en la cocción de alimentos con fogones tradicionales.

x_{12} : es la cantidad de energía anual en la cocción de alimentos con cocinas eficientes.

Los coeficientes que van delante de las variables se determinaron de la siguiente manera:

En este caso se tuvo en cuenta que en la zona existen 14 casas, 7 de las cuales habitan 31 personas en total y usan cocinas de biomasa no eficientes (fogón tradicional). Según la FAO las cocinas no eficientes hacen que se consuma 1200 kg de leña anuales por personas; por lo que con fogones de este tipo se demandan de 16,55 tep/año. Este coeficiente va delante de la variable x_{11} y representa el grado de incremento por cada unidad de esta variable. En cuanto a las cocinas eficientes, el consumo per cápita es de 450 kg anuales por lo que equivale a una demanda de 4,41 tep. Este coeficiente va delante de la variable x_{12} .

✓ **Para la Energía Eólica.**

La disponibilidad del recurso eólico depende de muchos factores. El primer factor es la velocidad del viento de la zona. El segundo factor es la frecuencia de esta velocidad (que sea sostenida). El tercer factor es la disponibilidad de área o características geográficas de la región para la instalación de equipos y si en la comunidad están de acuerdo a sacrificar sus terrenos y modificar el entorno. El cuarto factor es los costos de las instalaciones no se tuvo en cuenta). Es uno de los tres recursos aquí analizados menos disponible. Es por todo esto que se impone una restricción de disponibilidad de recurso estricta. Es decir, que cualquier actividad que se quiera realizar con la energía proveniente del viento, debe de ser menor la disponibilidad.

Para encontrar el parámetro de la comunidad en cuanto a la disponibilidad de viento se tuvo en cuenta lo siguiente:

Se observó la velocidad de los vientos de la zona que fue de 5 m/s con una frecuencia de calma de 3 veces por semana (180 días de vientos a 5 m/s). Para esta velocidad del viento solo se puede instalar generadores para el bombeo de agua de una potencia mínima de 200 W.

Como la disponibilidad del terreno es reducida a causa de los cultivos y la biomasa así mismo los costes, se asumió que solo se pueden instalar 7 generadores que deben funcionar todo el año. Estos generadores deben producir electricidad solo para el bombeo de agua.

De este modo se multiplica la cantidad de energía (en tep) capaz de producir un aerogenerador en un año, que funcione con 5 m/s, por siete de estos. Esto resulta ser solo 0,020 tep disponible en un año, este es el parámetro en el lado derecho de la desigualdad. El bombeo de agua se tiene que limitar a esta disponibilidad del recurso.

El coeficiente delante de la variable es 0,0029 tep puesto que este es la cantidad de recurso energético que es capaz de producir un aerogenerador de 200 W en un año. Por tanto la restricción de disponibilidad se plantea como:

$$0,0029 x_{23} \leq 0,020$$

donde,

X_{23} : es la cantidad de energía necesaria proveniente del viento (en tep/año) para la satisfacción de agua a través del bombeo local.

Para la Energía Solar Fotovoltaica.

Para la determinación de los parámetros y los coeficientes se hizo lo siguiente:

La disponibilidad de sol y del área para la instalación de paneles fotovoltaicos. Según Cubasolar (2009) en esta comunidad posee una intensidad solar de 5 kWh/m²·día. Teniendo en cuenta que la disponibilidad de área para la instalación de paneles fotovoltaicos es reducida a causas de las áreas para la biomasa, los cultivos, el pastoreo y el cuidado del entorno paisajístico en sentido general; solo se instalarán los paneles encima de los techos de las viviendas y ellas solo poseen 1 m² disponible para ello.

Esto significa que se cuenta con solo 14 metros cuadrados para el aprovechamiento de este tipo de recurso. También teniendo en cuenta que existen aproximadamente 200 días soleados (Cubasolar, 2010), la comunidad cuenta con 1,3 tep de este recurso. Este parámetro (1,3 tep) va al lado derecho del signo de desigualdad puesto que representa la disponibilidad máxima.

Y la inecuación se expresa de la siguiente manera:

$$0,192 x_{34} + 0,54 x_{35} \leq 1,3$$

donde,

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Materiales y Métodos*

x_{34} : cantidad de energía eléctrica necesaria derivada de paneles fotovoltaicos(en tep) para el sector residencial.

X_{35} : cantidad de energía eléctrica necesaria derivada de paneles fotovoltaicos (en tep) para el alumbrado público.

Los coeficientes que acompañan estas variables se determinaron de la siguiente manera:

La demanda eléctrica de las 14 casas los 365 día del año (200W, Ecosol(2009)) equivale a 0,192 tep. Igualmente para la demanda eléctrica de la iluminación pública estimada que se necesitan para iluminar la comunidad 10 bombillas de 150 W de potencia (Unión Eléctrica, 2010), encendidas 12 horas diarias por los 365 días, se calculó que esto equivalía a 0,54 tep anuales. Se necesitan que el sistema sea capaz de ofertar una cantidad de energía igual o mayor de lo que es capaz de demandar el sector, nunca menor.

Restricciones de demanda:

✓ **Para la biomasa.**

En estas restricciones se determinó las necesidades energéticas de los distintos sectores consumidores de cada recurso para poder suplir sus necesidades mínimas. Es decir, que la demanda es un aspecto fundamental en el modelo. Suplir menos energía que la mínima indispensable generaría crisis en el sector de consumo. Es por esta razón que las restricciones de demanda se imponen con el propósito de obligar al modelo a dar una solución óptima sin descuidar la necesidad de la comunidad. En este caso son 20,96 tep/año por la suma de lo que debería consumir con ambas tecnología de cocción (cocinas eficientes y tradicionales).

$$x_{11} + x_{12} \geq 20,96$$

donde,

x_{11} : es la demanda de energía biomásica en la cocción de alimentos con fogones tradicionales.

X_{12} : es la demanda de energía biomásica en la cocción de alimentos con cocinas eficientes.

✓ **Para la energía eólica.**

Para la demanda de energía eólica se tuvo en cuenta la necesidad de agua de la comunidad y así mismo la demanda de electricidad para el bombeo agua a las 14 casas. De este modo para producir un $m^3/día$ se necesita un kWh/día (Wikipedia, 2010), lo que equivale a 5 aerogeneradores o bombas eólicas para producir $7 m^3/día$ (7 kWh/día) para satisfacer la demanda de las 14 casas suponiendo que cada vivienda consume como promedio $0,5 m^3$.

Por la velocidad de los vientos de dicha comunidad (5 m/s), se utilizan solo generadores de capacidad 200 W, trabajando 180 días al año por los períodos de calma de este recurso. Entonces existe en el sector una demanda de este recurso de 0,014 tep/año. El coeficiente delante de la variable es la contribución de cada aerogenerador. Se necesita que el sistema sea capaz de ofertar una cantidad de energía mayor o igual a la demanda. Por lo que quedaría de la siguiente forma:

$$X_{23} \geq 0.014$$

✓ **Para la Energía Solar Fotovoltaica.**

En este caso, el parámetro que corresponde al lado derecho del signo de desigualdad, es la suma de las demandas que debe tener los dos sectores hacia los cuales la energía fotovoltaica va a prestar servicio. En apartados anteriores se explicó el cálculo.

$$x_{34} + x_{35} \geq 0,73$$

donde,

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Materiales y Métodos*

x_{34} : es el consumo de electricidad en las viviendas con paneles fotovoltaicos.

x_{35} : es el consumo de electricidad en iluminación pública con paneles fotovoltaicos.

El modelo completo quedaría de la forma siguiente:

$$\text{Maximizar } Z = C_{11}x_{11} + C_{12}x_{12} + C_{23}x_{23} + C_{34}x_{34} + C_{35}x_{35}$$

$$16,55 x_{11} + 4,41 x_{12} \leq 21,6$$

$$0,0029 x_{23} \leq 0,020$$

$$0,192 x_{34} + 0,54 x_{35} \leq 1,3$$

$$x_{11} + x_{12} \geq 20,96$$

$$x_{23} \geq 0.014$$

$$x_{34} + x_{35} \geq 0,73 \text{ tep}$$

2.6 Regresión Lineal Múltiple para la determinación de los coeficientes de la función objetivo.

En muchos problemas existen dos o más variables que están relacionadas y pueden resultar y puede ser importante modelar o explorar esta relación. En general, supongamos que existe una sola variable dependiente o de respuesta y que depende de k variables independientes o de regresión, por ejemplo X_1, X_2, \dots, X_k . La relación entre estas variables se caracteriza por un modelo matemático conocido como ecuación de regresión. El modelo de regresión se ajusta a un conjunto de datos muestrales. En algunos casos, el experimentador conoce la forma exacta de la relación funcional real $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ entre Y y x_1, x_2, \dots, x_k . Sin embargo, en la mayoría de los casos la verdadera relación funcional se desconoce, el investigador debe elegir una función apropiada para aproximar f . Los modelos polinomiales se usan ampliamente para aproximar funciones.

Frecuentemente, los métodos de regresión se utilizan para analizar datos que provienen de experimentos que no fueron diseñados, aunque también es muy útil en experimentos diseñados.

2.8 Otros métodos utilizados.

Para la resolución del problema de programación lineal se utilizó el programa computacional WinQSB, en el que se resuelven el sistema de ecuaciones utilizando el método Simplex descrito en el apartado 1.4.1.3. También, para determinar las ecuaciones de regresión se utilizó el Statgraphics. 5.1.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

3.1. Utilización de la Regresión Lineal Múltiple para el cálculo de los coeficientes de las variables de decisión de la función objetivo.

Para la determinación de los coeficientes de la función objetivo, en la metodología de planificación energética estudiada, se utilizó la regresión lineal múltiple. En la función objetivo de dicha metodología se trata de optimizar las necesidades energéticas de la comunidad, estas son las variables $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{nm}$. Lo que resulta desconocido son los niveles de dichas necesidades energéticas que serían los coeficientes $C_{11}x_{11}, C_{12}x_{12}, \dots, C_{nm}x_{nm}$. La regresión lineal brinda estas bondades, que en función de la demanda o necesidad energética de cada tipo de tecnología como variable de respuesta (variable dependiente), esté la disponibilidad. De este modo, se muestra una ecuación de regresión lineal múltiple que determina las previsiones de las necesidades energéticas anuales de una comunidad no electrificada típica cubana.

Comunidad típica es la que mayormente existe en Cuba. El promedio de habitantes 48, la dispersión de las viviendas es baja, con una radiación solar promedio de 4,8 $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}$ y una cantidad de biomasa disponibles promedio de 100 m^3 . Lo que se hace con la regresión lineal múltiple es determinar cuál será la demanda anual en función de la disponibilidad de recursos naturales para producción de energía. Se recabó cinco ecuaciones de regresión, para determinar los cinco coeficientes $C_{11}, C_{12}, \dots, C_{15}$. Los valores utilizados para la determinación de las cinco ecuaciones de regresión se encuentran en el anexo 1.

3.1.1. Determinación del coeficiente de la variable Demanda de Energías con Cocinas No Eficientes, x_{11} .

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Análisis y Discusión de los Resultados*

Las variables de respuesta son las demandas de energía de cada fuente energética. En este caso hay cinco variables de demanda. Las variables independientes son las disponibilidades de energía: biomásica, eólica y solar fotovoltaica. La variable dependiente es la demanda o necesidad energética. Los resultados estadísticos expresados en la ecuación de regresión están expuestos de la siguiente manera:

Tabla 3.1 coeficiente de la variable Demanda de Energías con Cocinas No Eficientes, x_{11} .

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
CONSTANTE	10,3478	1,74281	5,93743	0,0001
Disp. Energ Biomasa	0,361203	0,0393289	9,18416	0,0000
Disp. Energ Eólica	8,93547	56,1572	0,159116	0,8765
Disp. Energ. Solar	0,0956123	0,799709	0,119559	0,9070

- R-cuadrado = 90,9917 porcentaje
- R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 88,5349 porcentaje
- Error estándar de est. = 0,429356
- Error absoluto medio = 0,30103
- Estadístico de Durbin-Watson = 1,00011 (P=0,0141)

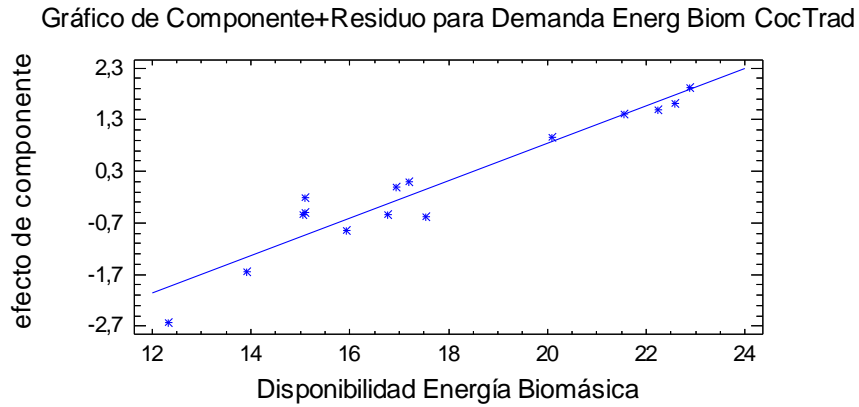


Fig. 3.1 Demanda de Energía de la Biomasa en cocinas tradicionales respecto a la Disponibilidad de Energía de Biomásica.

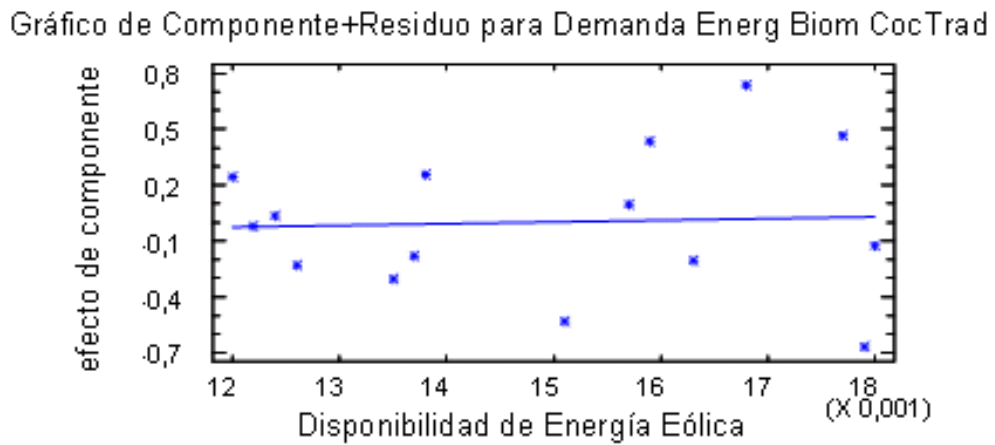


Fig. 3.2 Demanda de Energías de la Biomasa en Cocinas Tradicionales respecto a la Disponibilidad de Energía Eólica.

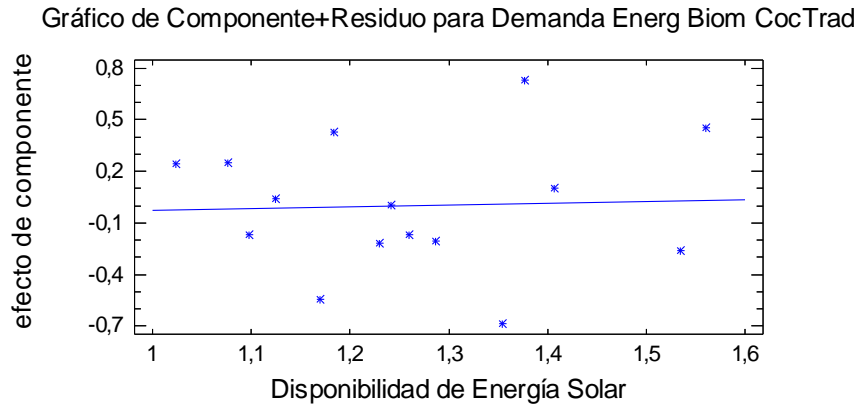


Fig. 3.3 Demanda de Energía de la Biomasa para las Cocinas Tradicionales respecto a la Disponibilidad de Energía Solar.

La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Demanda de Energía Biomásica y 3 variables independientes (disponibilidad energética proveniente de la biomasa, disponibilidad de energía eólica, disponibilidad de energía solar). La ecuación del modelo ajustado es:

$$DeEB=10,3478+0,361203*DEB+8,93547*DEE+0,0956123*DES \quad (1.1)$$

Donde,

DeEB: es la Demanda de Energía proveniente de la Biomasa.

DEB: es la Disponibilidad de Energía proveniente de la Biomasa.

DEE: es la Disponibilidad de Energía Eólica.

DES: es la Disponibilidad de Energía Solar.

Entrando los valores, para validar el modelo de regresión lineal de la comunidad objeto de estudio, se determina el coeficiente para las necesidades energéticas (demanda) de la comunidad proveniente de la biomasa para la cocción de alimentos con cocinas no eficientes. La comunidad posee los siguientes valores (estudio de caso

en la comunidad “Las Peladas”, Proyecto RESURL III)(anexo 5):

Cálculo del coeficiente C_{11} de la variable x_{11} .

El coeficiente C_{11} para la variable de la función objetivo x_{11} es 18,41949. Es decir, que este es el coeficiente que determina la previsión de demanda (en tep) de esa comunidad y se coloca en la función objetivo.

3.1.2. Determinación del coeficiente de la variable Demanda de Energía para Cocinas Eficientes, x_{12} .

Donde:

- R-cuadrado = 85,7738 porcentaje
- R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81,8939 porcentaje
- Error estándar de est. = 0,300287
- Error absoluto medio = 0,203399
- Estadístico de Durbin-Watson = 1,86275 (P=0,3369)

Tabla 3.2 Coeficiente de la variable Demanda de Energía para Cocinas Eficientes, x_{12} .

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
CONSTANTE	7,31982	1,25876	5,8151	0,0001
Disp. Energética Biomasa	0,229422	0,0310242	7,39495	0,0000
Disp. Energética Eólica	24,8541	40,5944	0,612254	0,5528
Disp. Energética Solar	0,132467	0,534974	0,247614	0,8090

La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Demanda de Energía de Cocinas Eficientes y 3 variables independientes (Ídem al anterior). La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{DeECE}=7,31982+0,229422*\text{DEB}+24,8541*\text{DEE}+0,132467*\text{DES} \quad (1.2)$$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 85,7738% de la variabilidad en Demanda Energética de las Cocinas Eficientes.

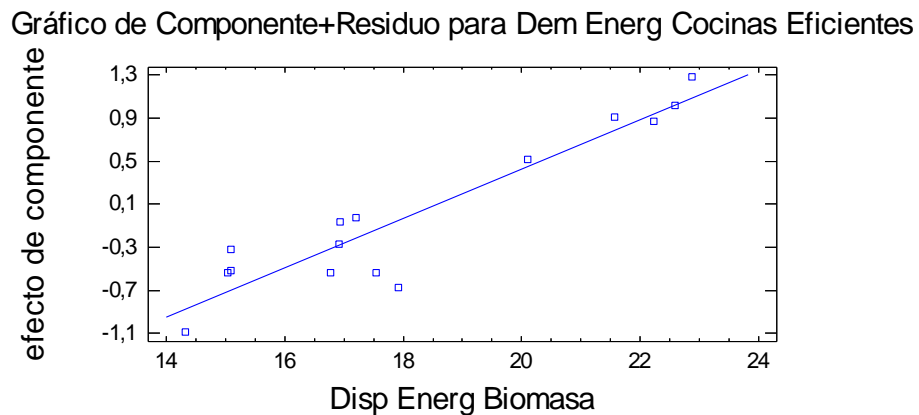


Figura 3.4 Demanda de Energía de la Biomasa con Cocinas Eficientes respecto a la Disponibilidad de Energía Biomásica.

Componente más Residuo para Demanda Energías con Cocinas Eficientes

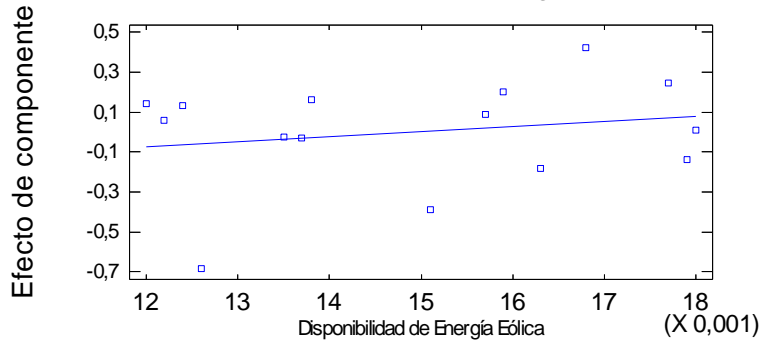


Figura 3.5 Demanda de Energía de la Biomasa con Cocinas Eficientes Respecto a la Disponibilidad de Energía Eólica.

Componente más Residuo para Demanda Energías con Cocinas Eficientes

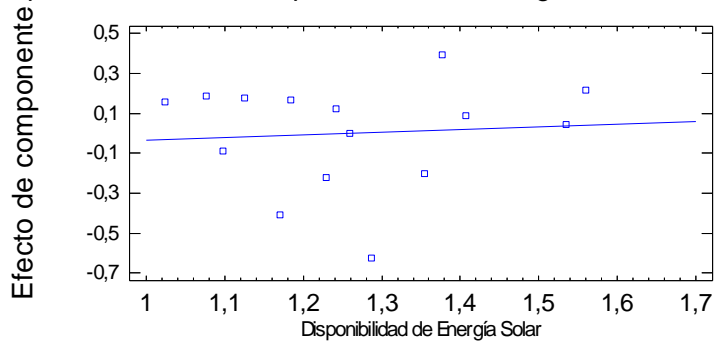


Figura 3.6 Demanda de Energía de la Biomasa con Cocinas Eficientes respecto a la Disponibilidad de Energía Solar.

Cálculo del coeficiente C_{12} de la variable x_{12} .

El coeficiente C_{12} para la variable de la función objetivo x_{12} es 13,08457. Es decir, que este es el coeficiente que determina la previsión de demanda o necesidad energética de esa comunidad (en tep) y se coloca en la función objetivo.

3.1.3. Determinación del coeficiente de la variable Demanda de Energía Eólica para el Bombeo de Agua, x_{23} .

Donde:

- R-cuadrado = 89,2869 porcentaje
- R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 86,3652 porcentaje
- Error estándar de est. = 0,000875202
- Error absoluto medio = 0,000640667
- Estadístico de Durbin-Watson = 2,02945 (P=0,4152)

Tabla 3.3. Variable dependiente: Demanda Energética Eólica para el Bombeo de Agua.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
CONSTANTE	0,0364909	0,00366872	9,94648	0,0000
Disp. Energética Biomasa	-0,000841377	0,0000904217	-9,30504	0,0000
Disp. Energética Eólica	-0,17668	0,118314	-1,49331	0,1635
Disp. Energética Solar	-0,00370309	0,00155921	-2,37498	0,0368

La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Demanda de Energía Eólica para el Bombeo de Agua y 3 variables independientes (Ídem al anterior). La ecuación del modelo ajustado es:

$$DeEEBomAg=0,0364909-0,000841377*DEB - 0,17668*DEE - 0,00370309*DES \quad (1.3)$$

DeEEBomAg: es la Demanda de Energía Eólica para el Bombeo de Agua.

*El resto (DEB, DEE,DES)ídem a las ecuaciones 1.1 y 1.2.

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 89,2869% de la variabilidad en Demanda Energética Eólica para el Bombeo de Agua.

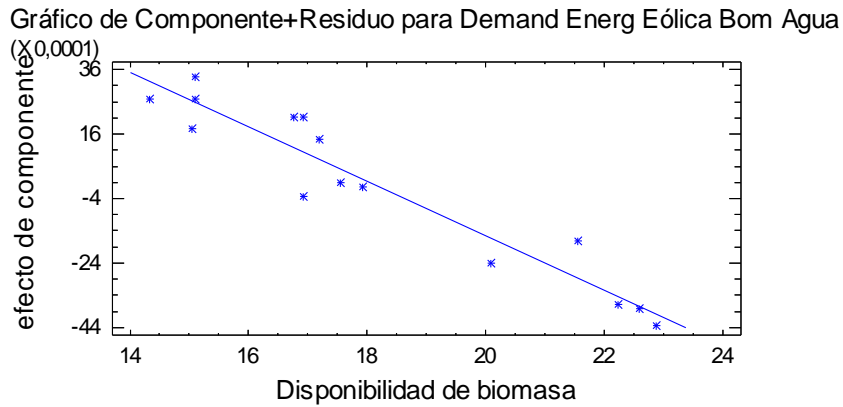


Fig. 3.7 Demanda de Energías Eólica para el Bombeo de Agua respecto a la Disponibilidad de Energía Biomásica.

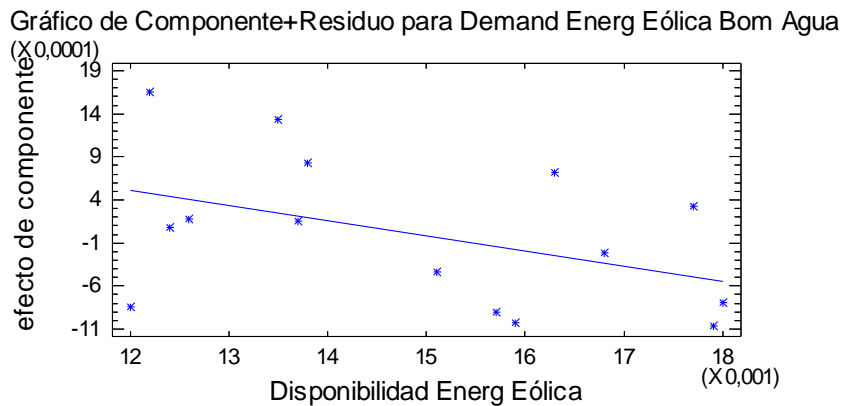


Fig. 3.8 Demanda de Energía Eólica para el Bombeo de Agua respecto a la Disponibilidad de Energías Eólica.

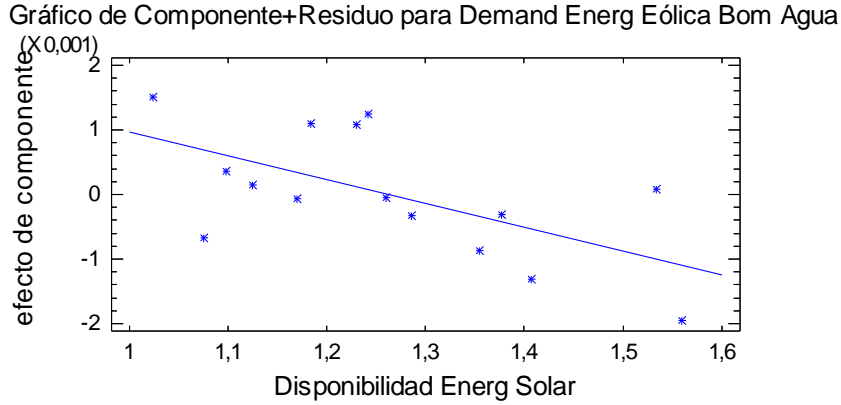


Fig. 3.9 Demanda de Energía Eólica para el Bombeo de Agua respecto Disponibilidad de Energía Solar.

Cálculo del coeficiente C_{23} de la variable x_{23} .

El coeficiente C_{23} para la variable de la función objetivo x_{23} es 0,008738. Es decir, que este es el coeficiente que determina la previsión de demanda de esa comunidad y se coloca en la función objetivo.

3.1.4. Determinación del coeficiente de la variable Demanda de Energía Fotovoltaica en las Viviendas, x_{34} .

Donde:

- R-cuadrado = 81,0456 porcentaje
- R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 75,8762 porcentaje
- Error estándar de est. = 0,0509807
- Error absoluto medio = 0,0351172
- Estadístico de Durbin-Watson = 1,561 (P=0,1562)

Tabla 3.4 Variable dependiente: Demanda de Energía Fotovoltaica en las Viviendas.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
-----------	------------	----------------	---------------	---------

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Análisis y Discusión de los Resultados*

CONSTANTE	-320748	0,213704	-1,5009	0,1615
Disp. Energética Biomasa	0,0025504	0,00526708	0,484216	0,6377
Disp. Energética Eólica	5,38044	6,89184	0,780696	0,4515
Disp. Energética Solar	0,582915	0,0908243	6,41805	0,0000

La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Demanda de Energía Fotovoltaica en Viviendas y 3 variables independientes (Ídem al anterior). La ecuación del modelo ajustado es:

$$DeEFViv = -0,320748 + 0,0025504 * DEB + 5,38044 * DE + 0,582915 * DES \quad (1.4)$$

DeEFViv: es la demanda de energía fotovoltaica en las viviendas

*El resto (DEB, DEE, DES) Ídem a la anterior.

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 81,0456% de la variabilidad en Demanda de Energía Fotovoltaica en Viviendas.

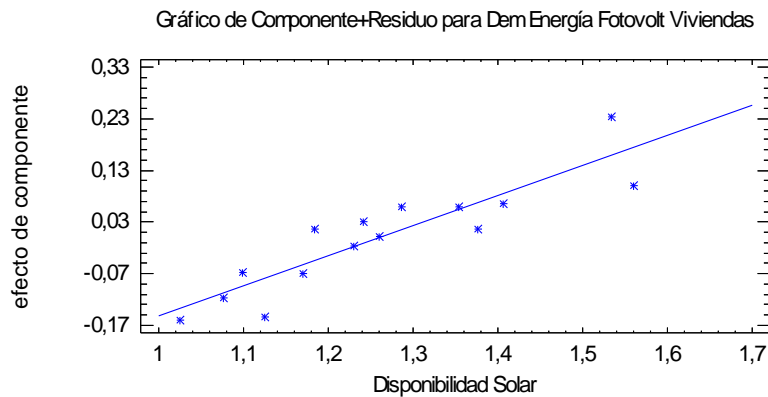


Fig. 3.10 Demanda de Energía Fotovoltaica para las viviendas respecto a la Disponibilidad de Energía Solar.

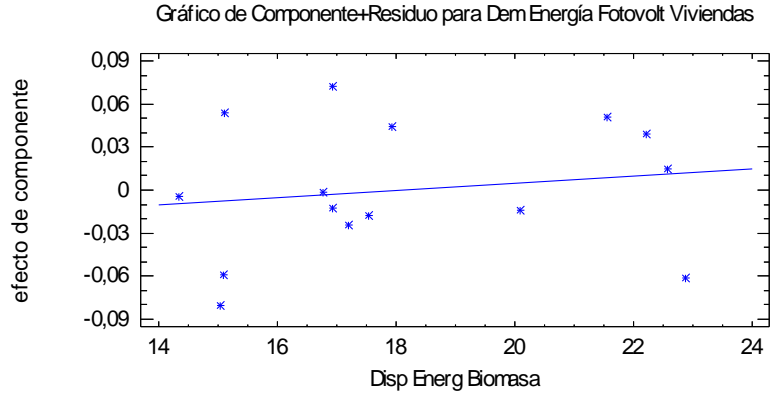


Fig. 3.11 Demanda de Energía Fotovoltaica para las viviendas respecto a la Disponibilidad de Energía de la Biomasa.

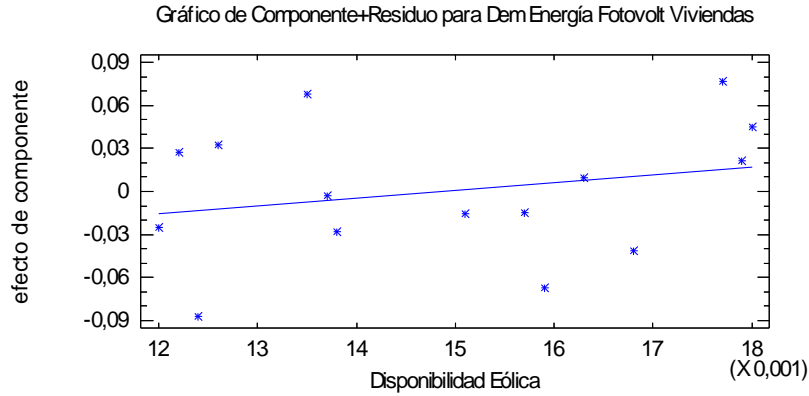


Fig. 3.12 Demanda de Energía Fotovoltaica para las viviendas respecto a la Disponibilidad de Energía Solar.

Cálculo del coeficiente C_{34} de la variable x_{34} .

El coeficiente C_{34} para la variable de la función objetivo x_{34} es 0,64417. Es decir, que este es el coeficiente que determina la previsión de demanda de esa comunidad y se

coloca en la función objetivo.

3.1.5. Determinación del coeficiente de la variable demanda de energía Fotovoltaica para el alumbrado público, x_{35} .

Tabla 3.5 Variable Dependiente: Demanda de Energía Solar para Alumbrado Público.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
CONSTANTE	-0,0536704	0,021667	-2,47706	0,0307
Disp. Energética Biomasa.	-0,0000766085	0,000534019	-0,143457	0,8885
Disp. Energética Eólica.	0,136405	0,69875	0,195213	0,8488
Disp. Energética Solar.	0,0566423	0,0092085	6,15109	0,0001

La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Demanda de Energía Solar para Alumbrado Público y 3 variables independientes (Ídem al anterior). La ecuación del modelo ajustado es:

$$DeESAlumbPúb = -0,0536704 - 0,0000766085 * DEB + 0,136405 * DEE + 0,0566423 * DES \quad (1.5)$$

DeESAlumbPúb: es la Demanda de Energía Solar para el Alumbrado Público.

*El resto (DEB, DEE, DES) Ídem a la anterior.

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 80,1459% de la variabilidad en Demanda de Energía Solar para el Alumbrado Público.

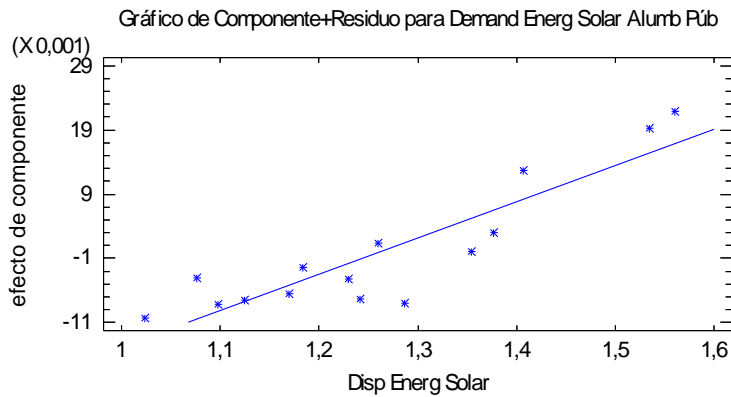


Fig. 3.13 Demanda de Energía Fotovoltaica para el Alumbrado Público respecto a la Disponibilidad de Energía Solar.

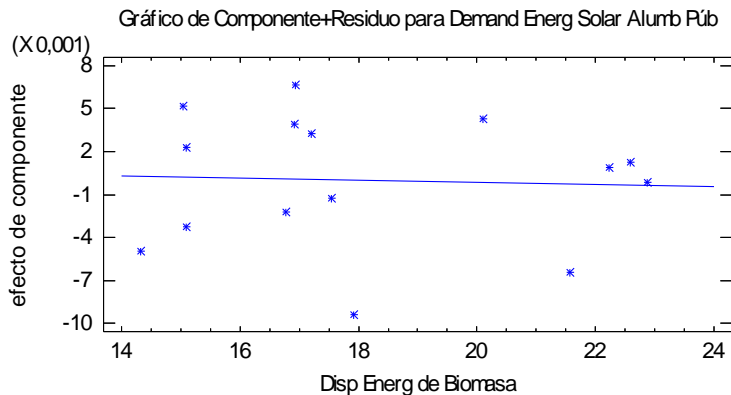


Fig. 3.14 Demanda de Energía Fotovoltaica para el bombeo de agua respecto a la Disponibilidad de Biomasa.

Cálculo del coeficiente C_{35} de la variable x_{35} .

El coeficiente C_{35} para la variable de la función objetivo x_{35} es 0,022207. Es decir, que este es el coeficiente que determina la previsión de demanda de esa comunidad y se coloca en la función objetivo.

3.2. Aplicación de los coeficientes en la metodología de planificación energética.

Los coeficientes determinados con los modelos de regresión lineal múltiple se ven expresados en la función objetivo de la metodología de planificación energética. Una vez allí, el modelo se optimizará aumentando las posibilidades energéticas en cada sector de la comunidad:

$$Z= 18,42 x_{11} + 13,08 x_{12} + 0,0087 x_{23} + 0,64 x_{34} + 0,022 x_{35}$$

$$16,55 x_{11} + 4,41 x_{12} \leq 21,6$$

$$0,0029 X_{23} \leq 0,020$$

$$0,192 x_{34} + 0,54 x_{35} \leq 1,3$$

$$x_{11} + x_{12} \geq 20,96$$

$$x_{23} \geq 0.014$$

$$x_{34} + x_{35} \geq 0,73 \text{ tep}$$

3.2.1. Optimización de la metodología utilizando los coeficientes.

Para maximizar la cantidad de energía que demanda la comunidad se utilizó el programa computacional WinQSB (Linear Programming) con el método Simplex.

Al maximizar la función objetivo, es decir, llevar la máxima cantidad de energía de manera óptima a la comunidad objeto de estudio una vez determinados los coeficientes resultó que es de 21,3 tep. Por tanto:

La cantidad energía anual necesaria producida por la biomasa debe ser:

- Cocción de alimentos con Cocinas Eficientes (x_{12}) debe ser de: 5,5 tep/año
- Cocción de alimentos con Cocinas No Eficientes (x_{13}) debe ser de: 15,8 tep/año.

*Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Análisis y Discusión de los Resultados*

La cantidad de energía anual necesaria producida por el sol para la satisfacción de las necesidades debe ser:

- Para el consumo residencial debe ser de: 0,78 tep/año
- Para el consumo de alumbrado público: 0,040 tep/año

Aquí el modelo demuestra que se necesitan más disponibilidad de energía para satisfacer ambas demandas ya que la disponibilidad solo es de 1,3 tep. Esto equivale a instalar más paneles fotovoltaicos lo que encarecería el proyecto o aportar de lo que sobra de la energía eólica.

- La cantidad de energía que necesaria para el bombeo de agua para abastecer la comunidad en el período de un año es de: 0, 0127 tep/año.

CONCLUSIONES

1. Se determinó, a través de modelos estadísticos (regresión lineal múltiple), los coeficientes de las variables de decisión de la metodología de planificación energética.
2. El coeficiente de la variable Demanda de Energía con Cocinas No Eficientes (C_{11}) es de 18,41949.
3. El coeficiente de la variable Demanda de Energía con Cocinas Eficientes (C_{12}) es de 13,08457.
4. El coeficiente de la variable Demanda de Energía Eólica para en Bombeo de Agua (C_{23}) es de 0,008738.
5. El coeficiente de la variable Demanda de Energía Fotovoltaica en las Viviendas (C_{34}) es de 0,64417.
6. El coeficiente de la variable Demanda de Energía Fotovoltaica para el Alumbrado Público (C_{35}) es de 0,022207.
7. Se optimizó satisfactoriamente la cantidad de energía anual de la comunidad.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar los modelos estadísticos para determinar los coeficientes de las variables de las metodologías de planificación energéticas a comunidades rurales no electrificadas.
2. Continuar el estudio de los modelos o metodologías de planificación energética en aras de su perfeccionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Annual Energy Review. Bruselas: Comunidad Económica Europea, sep., 1997.
2. Renewable Energy World. Jul.-Ago., 2004; y nov.-dic., 2004
3. B. van Campen, D. Guidi, y G. Best, "Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles," en *Documento de Trabajo sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales* Roma: FAO, 2000.
4. Borreto et al. 2002. Colectivo de autores. Gestión Energética Empresarial. Centros de estudio de energía y medio ambiente. Universidad de Cienfuegos, Cuba. Bajo la redacción de Aníbal E Borroto Nordelo. Editorial Universidad de Cienfuegos, 2002.
5. Borroto Nordelo, Aníbal, López Batista, Eduardo. Maestría en eficiencia energética. Universidad de Cienfuegos, 2002.
6. Centro de recursos ambientales purriketal (dima.bizkaia) accesible." La *Energía*.www.unescoeh.org/ext/manual/html/energia.html.23.4.07.
7. Consorcio OPET Comunidad Andina, "Sondeo preliminar del mercado de las tecnologías energéticas limpias en Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú," Comisión Europea 1999.
8. Consumer es eroski. Hacia una crisis energética. Tomado de: www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/05/16/142009.php. 11 de Octubre de 2006.
9. Curbelo A., Garea B., Valdes A. Generación de electricidad a partir de bagazo en Cuba, Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa,

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Referencias Bibliográficas

Montevideo, Uruguay, 1995.

<http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s00.htm#Contents>

10. Chalacan G., Masapanta J., Metodología para la planificación energética a comunidades rurales aisladas de la provincia Granma-Cuba. Trabajo de Diploma en opción al título de ingeniero electromotriz. Universidad de Granma. 2010-2011.
11. Cherni J. A., "Seminario: Energización de zonas aisladas en latinoamérica," Universidad Nacional de Colombia, Medellín 2002.
12. Desarrollo de regiones rurales, energía y democracia. Tomado de: <http://solucionessolares.blogspot.com/2008/05/desarrollo-rural-en-comunidad-andina.html>. 9 de Noviembre de 2010.
13. D.I. Rodríguez, R. Cordon, y V.I Melián, "Un programa computacional para resolver problemas de Programación Lineal y Lineal Entera," 2.0 ed: Grupo de Algebra Computacional, Facultad de Matemática y Computación, Universidad de Oriente, 2005.
14. E. Turrini, *El camino del sol, un desafío para la humanidad del tercer milenio, una esperanza para los países de sur.*: Cubasolar, 2006.
15. EcoSol Solar, "Hoja de calculo fuentes renovables de energía," 1.1 ed Ciudad de la Habana, 2004.
16. Electrificación solar fotovoltaica de instalaciones de salud en zonas rurales montañosas remotas y de difícil acceso del país.
<http://www.cubasolar.cu/proyectos/saludfotov.html>

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Referencias Bibliográficas

17. F. Marcos, "Estudio de la aplicación de un modelo de planificación energética a la región Castellano-Leonesa," Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid 1984.
18. FLAVIN C, LENSSEN N. Nuevas orientaciones de la industria eléctrica. Informe de World Wacth Institute. Cáp. 4. 1994.
19. G. N. Ayes, Revolución energética, un desafío para el desarrollo, Científico-Técnica ed., 2008.
20. G.Lesino, C.Cadena, et al. (2004). Proyecto:Energización de Centros Comunitarios Rurales. Una experiencia de desarrollo y transferencia tecnológicos.
21. González L. La electrificación rural en Cuba. Experiencias y perspectivas de desarrollo, Conferencia Latinoamericana de Electrificación Rural, Costa Rica, April 2001, <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energizacion/pagina02.htm>
22. Global Wind Energy Council News. 2009
http://www.windea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009_e.pdf
23. "Gráfico de Calentamiento Solar," en *Encarta*, Microsoft Corporation, Ed., 2009.
24. H. A. Taha, 1998. "Investigación de operaciones. Una introducción". PRENTICE HALL, 6' edición. México.
25. H. Arriaza (2005). METODOLOGIA PARA LA INCLUSION DE VARIABLES SOCIALES EN LA FORMULACION, EJECUCION Y

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Referencias Bibliográficas

ADMINISTRACION DE PROYECTOS DE ENERGIA RURAL, Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI) y Universidad de Calgary.

26. Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Instituto Nacional de Tecnología y Normalización (INTN), Grupo de Trabajo en Energías Renovables.
27. López de la Manzanara, J. 1983.1 Curso de Planificación Energética. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
28. L. García, "Desarrollo de un modelo multicriterio-multiobjetivo de oferta de energías renovables: aplicación a la comunidad de madrid.,"Departamento de Ingeniería Forestal., Universidad Politécnica de Madrid, Madrid 2004.
29. Moreno C, Leiva G., Matos L. Estado actual y desarrollo de la energía eólica en Cuba, Ecosolar, revista científica de las Energías Renovables, No 2, Octubre-Diciembre 2002. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar.htm>
30. M. López Cachero. I Curso de Planificación Energética. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.1983.
31. MADRUGA, E. Una experiencia cubana: la electrificación solar a las casas consultorios del médico de la familia en zonas montañosas y rurales remotas. *Energía y Tú*, 1997, nº 0, p. 25. Tomado de: <http://www.ub.es/geocrit/sn-18.htm>, Noviembre 2010.
32. M. López Cachero. I Curso de Planificación Energética. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.1983.

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Referencias Bibliográficas

33. Mapa eólico de Cuba. Tomado de:
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia37/HTML/articulo03.htm>.
20 de Octubre de 2010.
34. Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeamiento Minero Energético UPME, " Línea base geo-referenciada para la formulación del plan de suministro de energía para las zonas no interconectadas de Colombia. Metodología," Colombia, 1999.
35. Modelos de programación entera. Tomado de:
<http://www.slideshare.net/krizx/modelos-de-programacion-entera>. Octubre 2010.
36. Moreno Figueredo, Conrado. La gestión energética y la competitividad empresarial. Tomado de la revista científica-popular trimestral de CUBA SOLAR Energía y Tu. Ed. Cuba Solar, 2005.
37. Nemhauser, G. y Wolsey, L. 1988. "Integer and Combinatorial Optimization". Willey. New York.
38. P. Pinell (2004). Perspectiva de la promoción del desarrollo local municipal: el caso boliviano. Documentos de trabajo. E. país.
39. Parque eólico de Turiguanó. <http://www.cubasolar.cu/proyectos/turiguano.html>
40. Parker, G. y Rardin, R. 1988. "Discrete Optimization". Academic Press. Orlando. Florida.
41. Proyecto: "Energías renovables en función de desarrollo sostenible en comunidades rurales" RESURL III, 2009.

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Referencias Bibliográficas

42. R. Smith, O. Mesa, I. Dyner, P. Jaramillo, G. Poveda, y D. Valencia, "Decisiones con múltiples objetivos e incertidumbre," 2da ed, Universidad Nacional de Colombia y Facultad de Minas, Eds. Medellín, 2000.
43. Romero Lenin. Gestión energética en la pasteurizadora el "Alba". Tomado en: trabajo de diploma. Universidad de Granma 2010.
44. S. Jebaraj y S. Iniyar "A review of energy models," *Renewable y sustainable energy reviews*, vol. 10, pp. 281-311, 2006.
45. S.C.Bhattacharyya and G.R.Timilsina (2009). "Modelling energy demand of developing countries: Are the specific features adequately captured?" *Energy Policy* 38(2010): 1979–1990.
46. Seminario o taller "Centro América – Energía y medio ambiente" (Tegucigalpa, Honduras, mayo, 2001).
47. SEPAL. Estudio económico de América Latina y el Caribe. Petróleo y gas en América Latina un análisis de relaciones internacionales a partir de la política Venezolana (DT). Htm, 2004.
48. Situación de las energías renovables en el mundo. Tomado de: <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/especiales/energia/index.htm#6>. Octubre, 2010.
49. STEWART, James. "Cálculo, Trascendentes Tempranas". 4 ed. Tr. de Andrés Sestier. México, Ed. Thomson, 2002. p. 1151.
50. Stolovich, Luis et al. 1997. El sector energía en América Latina. "El sector

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Referencias Bibliográficas

- energía En América Latina. Análisis descriptivo”. Montevideo. Instituto del Tercer Mundo.
51. Torres, Nelliud. El uso de portales corporativos en la gestión del conocimiento para la empresa. Universidad de Turabo, Turabo, Puerto Rico, 2010.
52. UNIÓN ELÉCTRICA. *Cuba en la XIV Conferencia Latinoamericana de Electrificación Rural: Avances de la electrificación rural en el país y programas perspectivas*. La Habana: Taller Gráfico de la Unión Eléctrica, 1993. 26 p. Tomado de: <http://www.ub.es/geocrit/sn-18.htm>
53. UNIÓN ELÉCTRICA. *Datos de interés de la actividad eléctrica*. La Habana: Unión Eléctrica, Diciembre de 1992. 108 p. Tomado de: <http://www.ub.es/geocrit/sn-18.htm>.
54. UPME - Ministerio de Minas y Energía. Unidad de Planeamiento Minero Energético. (2000). “Establecimiento de un plan estructural, institucional y financiero, que permita el abastecimiento energético de las zonas no interconectadas, con la participación de las comunidades y el sector privado”. Ministerio de Hacienda, DNP, UPME, CREG, PNUD.
55. Valdes A., Cuba’s transition away from fossil fuels. Renewable Energy for development, Stockholm, Junio 2000, <http://www.sei.se/red/red-072000.pdf>
56. World Wind Energy Association World Wind Energy. Report 2009 retrieved 2010 07 21.

ANEXOS.

Anexo 1. Factores de conversión de las unidades de energía.

Unidad	1 kj	1 kcal	1 kWh	1 tec	1 tep	1 TWaño
1 kj	1	0.24	$2,78 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$0,317 \cdot 10^{-16}$
1 kcal	4,18	1	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$9,7 \cdot 10^{-8}$	$0,128 \cdot 10^{-15}$
1 kWh	3 600	860	1	$0,123 \cdot 10^{-3}$	$0,083 \cdot 10^{-3}$	$0,11 \cdot 10^{-12}$
1 tec	$2,93 \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^6$	$8,14 \cdot 10^3$	1	0,67	$0,93 \cdot 10^{-9}$
1 tep	$4,3 \cdot 10^7$	$10,4 \cdot 10^6$	$12,1 \cdot 10^3$	1,5	1	$1,38 \cdot 10^{-9}$
1 TWaño	$3,15 \cdot 10^{16}$	$0,75 \cdot 10^{16}$	$8760 \cdot 10^9$	$1082 \cdot 10^6$	$725 \cdot 10^6$	1

Fuente: El camino del Sol. Turrini, 2006.

Anexo 2. Estimado de demanda de electricidad con PFV en una vivienda no electrificada.

Equipos	Cant.	Potencia(W)	Fact.Pot.	$t_{uso} \cdot D$	t_c	P(VA)	E(Wh/día)	$t_{uso} \cdot R$
Lampara PL 20 W			0,70		16,0	0,0	0,0	
Lampara PL 15 W	5	5,0	1,00	5,0	16,0	5,0	125,0	13,5
PC	0		0,72	0,0	16,0	0,0	0,0	
Licuadaora	1	340,0	0,80	0,2		425,0	68,0	0,5
Radio Grabadora	1	10,0	1,00	2,0		10,0	20,0	5,4
Ventiladores		45,0	0,90	10,0		50,0	0,0	27,0
Frezeer		75,0	0,90	0,0		83,3	0,0	
TV	1	45,0	0,80	5,0		56,3	225,0	13,5
VHS	1	15,0	0,80	1,0		18,8	15,0	2,7
BOMBA DE AGUA			0,80	3,0		0,0	0,0	0,0
Totales		435,0	0,82	30,00		528,0	453,0	

Fuente: EcoSol Solar, 2004. Copextel.

Anexo 3. Factores de conversión para el uso del recurso leña en comunidades rurales.

Variación típica del consumo de leña per capita para usos domésticos en países en desarrollo. (Las cifras reales dependen del clima, oferta, tradiciones, etc.)	0,5 m ³ a 2,0 m ³
Cantidad de leña usada para producir 1 ton (1.000 kg) de carbón vegetal.	7 a 11 m ³ (sólidos)
Producción probable de leña por cortas en:	
(a) Bosque tropical alto	80 - 100 m ³ /ha
(b) Monte de sabana	20 - 45 m ³ /ha
(c) Plantaciones de eucalipto de buena calidad, de 12-15 años. (El rendimiento de las plantaciones depende totalmente del ritmo de crecimiento alcanzado. Un inventario real será necesario para confirmar pronósticos de producción).	80-200 m ³ /ha
Producción anual de plantaciones de eucalipto bien ordenadas, sobre buenos sitios; rotación 12-20 años. Incremento medio anual (IMA)	14-20 m ³ /ha
Una ton (1.000 kg) de carbón vegetal, al quemar, genera energía equivalente a:	
(a) Fuel Oil.	0,55 ton
(b) Electricidad, si usada para producir calor.	7 ,260 kWh
(e) Carbón bituminoso (duro).	0,83 ton
(d) Madera seca (15% contenido de humedad).	1,65 ton
(e) Madera verde (ej. 60% contenido de humedad).	2,50 ton

Fuente: La Biomasa, FAO.

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Anexos

Anexo 4. Estudio anual de las demandas de energías renovables en 15 comunidades rurales cubanas.

COMUNIDADES	No.Hab.	Demanda de energía provenientes de la biomasa con cocinas tradicionales(tep/año)										Media Aritm.	Coc.Eficientes
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10		
Comunidad 1	54	19,25914	19,13686	18,33363	17,40345	19,28481	18,01338	18,1497	18,65043	18,2581	19,32322	18,5812701	13,00688907
Comunidad 2	46	16,78592	16,57729	15,68442	16,32947	15,75663	16,90785	17,99425	18,50057	16,61867	18,24835	16,94034178	11,85823925
Comunidad 3	45	18,30603	15,30922	15,19622	14,30099	14,53891	17,57936	18,66871	18,50353	15,99889	16,70864	16,51105095	11,55773567
Comunidad 4	39	15,78081	17,85202	15,59274	17,43403	15,27338	16,83329	17,4963	18,97076	17,57705	15,18539	16,79957787	11,75970451
Comunidad 5	46	16,03597	15,50405	17,63239	17,13575	15,3236	16,84278	16,16816	16,1398	16,52262	17,64858	16,49537079	11,54675955
Comunidad 6	46	16,29412	14,10263	19,34093	19,72513	14,1016	13,32906	19,48086	15,42093	17,53498	15,19009	16,45203239	11,51642268
Comunidad 7	39	16,76713	16,69531	16,58986	17,9697	16,57032	16,93454	17,9692	14,68708	18,44264	17,82112	17,04469067	11,93128347
Comunidad 8	41	18,29326	16,97881	16,27909	15,81639	14,95926	18,27523	15,24102	13,30627	17,48467	17,35289	16,39868957	11,4790827
Comunidad 9	37	15,04245	16,29221	16,51432	12,64248	17,72813	15,3478	13,34607	13,01522	11,48147	12,58191	14,39920639	10,07944447
Comunidad 10	44	15,08246	18,59323	13,64719	13,70709	13,54849	17,04445	17,01245	15,10947	15,61318	14,19969	15,35576818	10,74903772
Comunidad 11	47	18,87229	17,07633	18,5994	19,60519	19,64919	17,98881	16,14281	17,48649	19,50843	18,74873	18,36776645	12,85743651
Comunidad 12	41	15,1913	15,74077	16,28382	16,91449	16,39445	15,87861	15,66614	16,96115	16,5997	15,61881	16,12492392	11,28744675
Comunidad 13	50	15,89454	19,41691	20,02489	16,11022	17,18982	18,90579	18,91314	20,1602	20,47182	17,83308	18,49204042	12,9444283
Comunidad 14	46	18,83562	19,38547	18,9632	18,48763	19,97519	19,66949	18,33568	19,31195	17,80018	18,07357	18,88379764	13,21865835
Comunidad 15	48	16,94592	15,26935	18,8767	17,64942	20,92217	16,95891	17,23757	20,90136	15,93948	18,95365	17,96545178	12,57581625
Med.Total											16,98746526		

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Anexos

Demanda de Energía Fotovoltaica para Viviendas (tep/año)											
Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Media Aritmet.	Alumbrad.Púb.
0,694802	0,666249	0,665243	0,701529	0,667731	0,697963	0,675097	0,706197	0,663388	0,6429448	0,678114383	0,189254294
0,618442	0,653407	0,65603	0,696237	0,726875	0,680172	0,620183	0,703701	0,637418	0,6582688	0,665073521	0,188749975
0,651948	0,52549	0,605804	0,588049	0,557835	0,511181	0,561424	0,527841	0,610795	0,5100874	0,565045596	0,189338709
0,512449	0,465941	0,586305	0,530946	0,667721	0,522748	0,526736	0,591667	0,544007	0,6447396	0,559325902	0,184286471
0,631046	0,670555	0,610914	0,663152	0,649945	0,629531	0,611556	0,632738	0,65117	0,6506074	0,640121563	0,1829926
0,62512	0,601272	0,605586	0,621535	0,644314	0,622858	0,609158	0,638882	0,650797	0,6638032	0,628332685	0,186049104
0,620555	0,672883	0,518415	0,467263	0,414221	0,680646	0,624252	0,407032	0,423208	0,5956099	0,542408438	0,187374996
0,641413	0,653643	0,693589	0,665622	0,675602	0,612642	0,704548	0,7233	0,706811	0,6330737	0,671024281	0,183614599
0,661749	0,678455	0,723697	0,622423	0,683397	0,633581	0,695469	0,635852	0,615669	0,7193168	0,666961015	0,190357833
0,619333	0,711928	0,682117	0,610179	0,694163	0,65699	0,601006	0,685561	0,726326	0,65852	0,66461239	0,189588312
0,713328	0,716397	0,704703	0,656428	0,700917	0,712578	0,713311	0,601018	0,625471	0,7113747	0,685552612	0,188255777
0,665909	0,683456	0,725425	0,653224	0,663964	0,707499	0,714894	0,635512	0,700211	0,7251423	0,687523514	0,180676367
0,722994	0,645829	0,634344	0,666006	0,707056	0,637614	0,725364	0,643223	0,702192	0,6310259	0,671564678	0,184134436
0,652639	0,655646	0,607742	0,680993	0,634238	0,621105	0,712906	0,661403	0,709695	0,6312849	0,65676508	0,187165179
0,708781	0,716578	0,669767	0,628951	0,602055	0,643238	0,723726	0,728786	0,62353	0,6144429	0,665985515	0,180387964
										Media Total	0,643227412

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico
Anexos

Demanda de Energía Eólica para el Bombeo de Agua										
Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Media Aritmet.
0,015294	0,00977	0,009039	0,016092	0,015763	0,011192	0,012021	0,009245	0,015966	0,00950719	0,01238897
0,011211	0,009422	0,01197	0,012001	0,00968	0,009149	0,008239	0,009853	0,008796	0,01148594	0,010180732
0,012508	0,010192	0,011028	0,008873	0,01235	0,00917	0,01296	0,012088	0,008638	0,00949231	0,010729869
0,002275	0,000612	0,004435	0,003722	0,001614	9,67E-05	0,003586	0,00436	0,003103	0,00542349	0,002922776
0,010505	0,011448	0,01077	0,009131	0,012401	0,011747	0,008229	0,008466	0,011072	0,01250094	0,010627039
0,009886	0,011065	0,011507	0,009588	0,010936	0,009396	0,01146	0,011877	0,008487	0,00945501	0,010365633
0,000179	0,004026	0,001294	0,006937	0,004329	0,000578	0,005404	0,002261	0,002227	0,00172112	0,00289558
0,004396	0,004634	0,004946	0,003123	0,002938	0,000105	0,001483	0,003847	0,004838	0,00385994	0,003416922
0,004	0,005521	0,007471	0,009538	0,00424	0,006117	0,008185	0,005038	0,005643	0,00558743	0,006134122
0,01234	0,010218	0,01274	0,011528	0,012435	0,009768	0,008411	0,008531	0,011598	0,00844476	0,010601344
0,00808	0,012588	0,012226	0,012839	0,008159	0,009527	0,011786	0,008688	0,010541	0,01058924	0,010502313
0,006361	0,00377	0,006079	0,001569	0,002656	0,000602	0,00321	0,000377	0,005545	0,00092875	0,003109791
0,010746	0,008997	0,012715	0,014094	0,008089	0,008499	0,010057	0,010692	0,009288	0,01168903	0,010486699
0,0097	0,00917	0,010452	0,00837	0,00926	0,010472	0,009526	0,010571	0,012223	0,01225293	0,010199601
0,012408	0,010239	0,010807	0,012674	0,010439	0,008035	0,010135	0,012273	0,012797	0,01079315	0,011059987
									Media Total	0,008374758

Anexo 5. Certificación de la traducción del resumen

Latacunga a 14 de julio del 2011

CERTIFICACION

A petición verbal de los interesados, Carlos Rodrigo Zambrano Segovia y Enrique Rolando Maiquiza Tituaña, egresados de la carrera de Ing. Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, certifico.

Que mencionados estudiantes realizaron correctamente la traducción al idioma ingles del resumen de la tesis titulada “Determinación de los coeficientes para las variables de decisión de una metodología de planificación energética a comunidades rurales aisladas en la provincia Granma-Cuba. Estudio de caso “Las Peladas”.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados a hacer uso del presente como creyeren conveniente

Atentamente.

Lic. Miriam Pallango

C.I.

DOCENTE DEL COLEGIO Dr. CAMILO GALLEGOS DOMINGUEZ