

Ministerio de Energía y Minas

Dirección General Sectorial de Energía

Dirección de Electricidad, Carbon y Otras Energías

División de Nuevas Energías

**DISTRIBUCION TERRITORIAL
DEL POTENCIAL SOLAR
EN VENEZUELA**

Comunicación presentada ante la III Jornadas Nacionales
de Hidrología, Meteorología y Climatología

Ing. Jorge I. Lafontant G.

Noviembre, 1987

“El Sol Visto por Los Guaraos”

El sol es un incendio
que hay en las nubes
y que nunca se puede
apagar.

Un insecto que los
guaraos denominan:
Jokoji-a-rani, que
no es otro que la
cigarra, tomó en su
pico un poco de fuego;
voló altísimo y dejó
aquel fuego pegado de
una nube.

El fuego incendió la
nube y se formó el sol
que nunca más ha vuelto
a apagarse.

Cuando la cigarra canta
mucho, el sol calienta más;
y cuando deja de cantar,
el sol apenas calienta.

Por las noches el sol no
alumbra ni calienta porque
Jokoji-a-rani, “mamá del sol”,
está callada.

INTRODUCCION.-

Dentro de los objetivos fundamentales de la Política Energética Integral de Venezuela, cuya elaboración e implementación coordina la Dirección General Sectorial de Energía del Ministerio de Energía y Minas, está el "Lograr una mayor diversificación de la energía en el mercado nacional" en la búsqueda de heterogeneizar la oferta energética, tal como se plantea en el documento "Política Energética Integral de Venezuela, Horizonte 2000". En este sentido, las Fuentes Alternas y Renovables de Energía (FARE), pueden completar dicha oferta contribuyendo a hacer el suministro más equilibrado, flexible y descentralizado y contribuir al desarrollo en ciertas regiones del país.

Por otra parte, este documento dentro de sus Principios Básicos acentúa: dar preferencia a la utilización de los recursos energéticos "auctóctonos" en función de las estrategias planteadas de desarrollo regional (7).

Estos Objetivos y Principios básicos de la Política Energética Integral plantean la importancia de conocer las bondades de las FARE y ante todo tener completamente evaluados y cuantificados dichos recursos energéticos para su eventual aplicación.

Pero la realización de este objetivo se ve obstaculizado en gran medida por la excesiva dependencia de los hidrocarburos en la oferta energética, en relación con la disponibilidad total de recursos.

Este Factor Crítico ha contribuido en gran medida, al bajo interés en el desarrollo de las FARE y consecuentemente en la evaluación y cuantificación total de las mismas.

En el caso particular de la Energía Solar, ésta ha sido evaluada solo a nivel de potencial, sin cuantificar en su totalidad su potencial aprovechable.

Tomando en cuenta estas consideraciones precedentes, y en el marco de las actividades específicas de la División de Nuevas Energías del Ministerio de Energía y Minas, el objetivo principal del presente trabajo es cuantificar en su totalidad el potencial energético solar nacional, cumpliendo con una de las ESTRATEGIAS del documento de política energética para fomentar el uso de las fuentes alternas renovables de energía. Dichas estrategias rezan así (7):

--"Realizar el inventario nacional de estas fuentes y determinar el potencial utilizable, a fin de desarrollarlas e incorporarlas a la oferta energética nacional, dándole prioridad a las áreas rurales o apartadas, áreas fronterizas e islas del Caribe".

--"Incorporar las energías nuevas y renovables en las encuestas, informaciones, censos y además estadísticas.

Los objetivos específicos del presente trabajo son:

1.- Crear un banco de datos (BANSOL) con los datos promedio de

radiación solar existentes en el país, medidos por los organismos pertinentes relacionados con la meteorología.

- 2.- Tener acceso digital por medios computacionales a la información energética sobre el recurso solar en cualquier región o localidad del País.
- 3.- Tener una estimación confiable de los valores concernientes a la radiación solar para un punto determinado en el país, partiendo de la latitud y longitud geográficas.
- 4.- Cuantificar en forma puntual y/o regional el recurso energético solar.
- 5.- Evaluar en base a las tecnologías de utilización de la energía solar, el aporte de esta fuente energética en el país (Reservas Aprovechables de Energía Solar).

Como puntos del presente texto, en el capítulo No. 1 se expone un marco teórico sobre la radiación solar y algunos conceptos fundamentales para la comprensión de este proyecto; en el Capítulo No.2, se hace referencia a la situación geográfica de Venezuela y el tipo de clima imperante en el Territorio Nacional para finalmente definir la calidad del tipo de radiación solar incidente en el territorio nacional

En el Capítulo No.3, se ilustra la forma en que se hace el tratamiento de los datos de radiación solar y quienes lo ejecutan en

el País. En el Capitulo No.4, se habla del potencial solar de Venezuela, partiendo de información foránea a nivel mundial y regional; en el capítulo no. 5, se mencionan las tecnologías de aplicación de la energía solar y el estado del arte en Venezuela, las tecnologías de aplicación que han sido consideradas en el país para su implementación así como sus factores de conversión para evaluar la cantidad de energía solar aprovechable.

En el capítulo No. 6, se describe la metodología utilizada en el presente trabajo para evaluar y cuantificar el potencial energético solar en Venezuela. En el Capitulo No.7 se muestran los resultados obtenidos del modelo desarrollado, mostrando los pasos del programa con un ejemplo específico.

En el Capitulo No.8 se realiza la verificación gráfica del modelo desarrollado y finalmente en el Capitulo No.9, se muestran las obligadas conclusiones del presente proyecto.

Es necesario mencionar que dada la poca disponibilidad de tiempo, el trabajo desarrollado no tiene la extensión que hubiese deseado; pero el mismo servirá de base de futuros trabajos a los seguidores y creyentes en estas fuentes "No Exportables de Energía".

6.- CUANTIFICACION DEL RECURSO ENERGETICO SOLAR EN VENEZUELA.

Utilizando los mapas de valores promedios mensuales de radiación solar global diaria, producidos por la FAV, el siguiente punto tiene como finalidad explicar la metodología utilizada para el tratamiento estadístico de los mapas solares, producir una base de datos a partir de dichos datos estadísticos procesados, generar un programa o modelo para obtener la información solar en cualquier punto o coordenada del País y finalmente obtener el potencial aprovechable del recurso solar en función de la tecnología y de su aplicación.

La metodología utilizada en este proyecto fue la siguiente:

6.1.- Recolección de los mapas de promedios mensuales de radiación solar global diaria producidos por la FAV y dividir los mapas en "Cuadriculas Geograficas".

Los datos medidos y procesados por la FAV, han sido llevados a mapas de isoclinas de radiación solar lograndose una información bastante acertada en cuanto a la localización regional del recurso por mecanismos de inter y extrapolación utilizando tambien, el mapa de distribución climatológica de Koeppen para su elaboración. Dichos mapas se anexan en el Apéndice A.

Como primer proceso en el tratamiento de estos mapas

isolinicos, se dividió o partió cada mapa en cuadrículas geográficas definidas en sus extremos por valores enteros de latitud y longitud geograficas de la forma siguiente:

Limites de cuadrícula :

Latitud: $1a < Cuadrícula < 1a+1$

Longitud: $1o < Cuadrícula < 1o+1$

En la figura No. 6.1, se muestra un ejemplo de como se procedio a dividir el Pais en cuadrículas geográficas y este proceso es repetido para cada mapa mensual.

6.2.- Tratamiento estadístico gráfico de los datos en las cuadrículas geográficas.

Por cada cuadrícula se realizaron una serie de tratamiento estadísticos de tipo gráfico por métodos tales como "triangulación" y/o, área que ocupa entre dos isoclinas consecutivas y su porcentaje con respecto al area de la cuadrícula, para definir el porcentaje de contribucion entre estas isoclinas al valor total. De estos datos se pudo obtener el valor medio ponderado de radiación solar global diaria en cada cuadrícula de los mapas. Notese por ejemplo en la misma figura, como en la cuadrícula marcada oscuro, los valores porcentuales de contribución al valor total son:

- entre 375 - 400 el % es25%
- entre 400 - 425 el % es45%
- entre 425 - 450 el % es30%

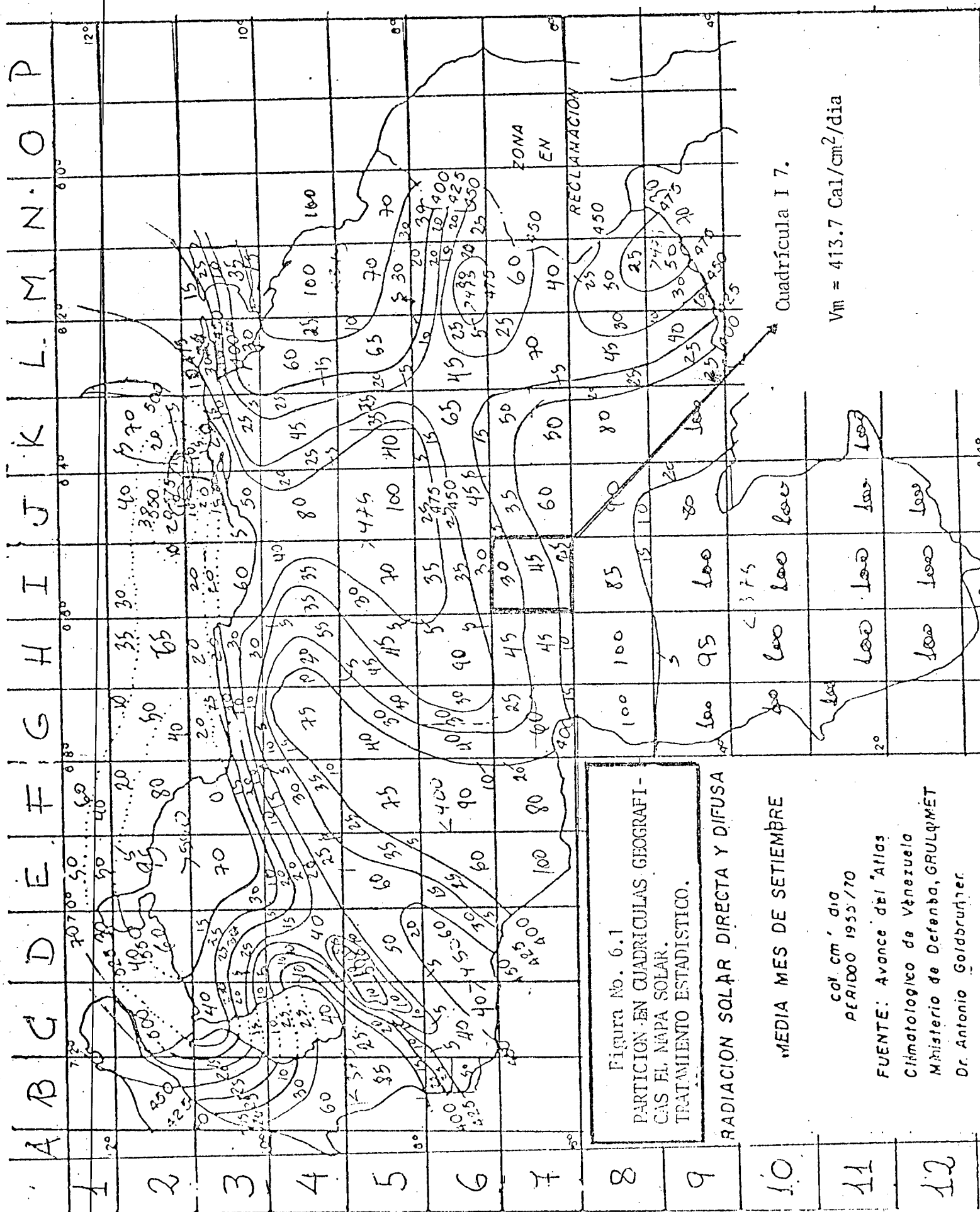


Figura No. 6.1
 PARTICION EN CUADRICULAS GEOGRAFICAS EL MAPA SOLAR.
 TRATAMIENTO ESTADISTICO.

RADIACION SOLAR DIRECTA Y DIFUSA

MEDIA MES DE SETIEMBRE

Cal. cm² dia
 PERIODO 1955/70

FUENTE: Avance del Atlas
 Climatologico de Venezuela
 Ministerio de Defensa, GRULOMET
 Dr. Antonio Goldbrunner.

$V_m = 413.7 \text{ Cal/cm}^2/\text{dia}$

Cuadrícula I 7.

Con esta información y el valor medio entre las dos isolneas se obtiene el valor medio ponderado. Esto es:

$$V_m = 0.25*(375+400/2)+0.45*(400+425/2)+0.30*(425+450/2) = 413.7$$

$$V_{m17} = 413.7 \text{ Cal/cm}^2/\text{dia}$$

Este proceso se realizo para cada cuadrícula y para cada mes. (total 1440 cuadrículas).

6.3.- Creación de la base de datos "BASOL" utilizando el ordenador IBM PC-XT, y el Software multiple SYMPHONY, versión 1.1. (10)

Este paquete , SYMPHONY versión 1.1, brinda una gran ayuda a la elaboración de esta base de datos BASOL, ya que puede dar acceso la información requerida, puede imprimirla, graficarla y a la vez puede ser utilizado su lenguaje interno de programación y generar así un modelo que sirva para realizar todas estas actividades. (10) (11)

Como paso inicial, este paquete se utilizo para introducir la contribución porcentual hallados por cada cuadrícula y el paquete, programado para ello, realizo los calculos pertinentes para obtener los datos medios ponderados de radiación solar global para cada una. Los datos obtenidos en este calculo se anexan en el Apéndice B. (El código colocado en la primera columna de la tabla corresponde a la nomenclatura dada a cada fila y columna de los mapas para definir la localización de

cada cuadrícula). Este programa ayudo a la laboriosa tarea de hacer el calculo de la media ponderada por cuadrícula.

6.4.- Generación del programa "MACROSOL" con el software SYMPHONY, (version 1.1)

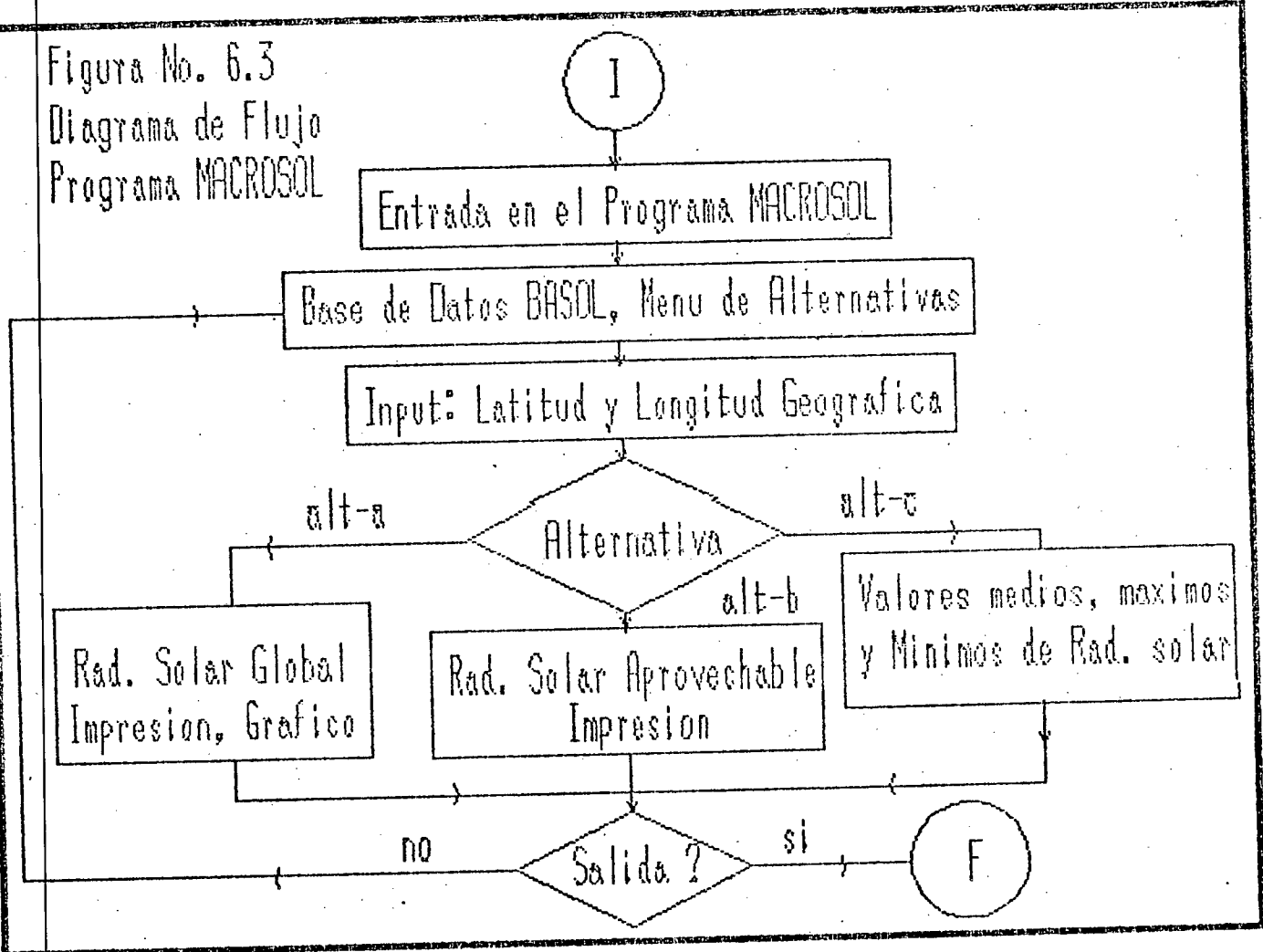
El paquete, como se indicó en el punto 6.3, presenta la ventaja de ser programable utilizando el lenguaje propio llamado "MACRO", el cual sirvió para producir un programa que realice la cantidad de pasos que se requieren hacer cada vez que se necesite procesar la información. (11)

Este programa realizado se tituló MACROSOL. Sirve para acceder la información de BASOL y luego produce cualquiera de las posibilidades que requiera el usuario. La tabla No.6.1 muestra el Menú del programa ejecutado. Esta técnica de programación es bastante novedosa y se piensa que es de gran importancia para laborar en proyectos de amplia información como lo es este trabajo en particular.

La entrada requerida para el programa generado son solamente los valores de latitud y longitud geografica de la región o localidad donde se desee conocer los datos medios ponderados mensuales de radiacion solar global diaria.

Como esquema de trabajo, la figura No. 6.3, muestra el diagrama de flujo del modelo.

Figura No. 6.3
Diagrama de Flujo
Programa MACROSOL



7.- RESULTADOS OBTENIDOS

Pese al trabajo de inserción de datos, el programa funciona perfectamente, resulta sumamente sencillo y fácil de utilizar por cualquier usuario interesado en saber los datos de radiación solar en un determinado sitio y la cantidad de energía aprovechable según la conversión energética utilizada, dependiendo de su aplicación.

En las siguientes páginas, se muestra una secuencia de los pasos y resultados que ofrecen las alternativas ALT-A, ALT-B, ALT-C del programa realizado. Se han marcado, en dichas páginas, los aspectos resaltantes y resultados obtenidos del mismo, para su mejor comprensión. Para ejemplarizar el modelo, se tomaron como datos de entrada los concernientes a la ubicación geográfica de Castilletes, Edo. Zulia, Península de la Goajira.

Salida de la Alternativa ALT-A

DISTRIBUCION TERRITORIAL DEL POTENCIAL SOLAR EN VENEZUELA

LOCALIZACION : CASTILLETES, EDO. ZULIA

COORDENADAS:

LATITUD : 11.833 Grados Dec.
LONGITUD : 71.4 Grados Dec.

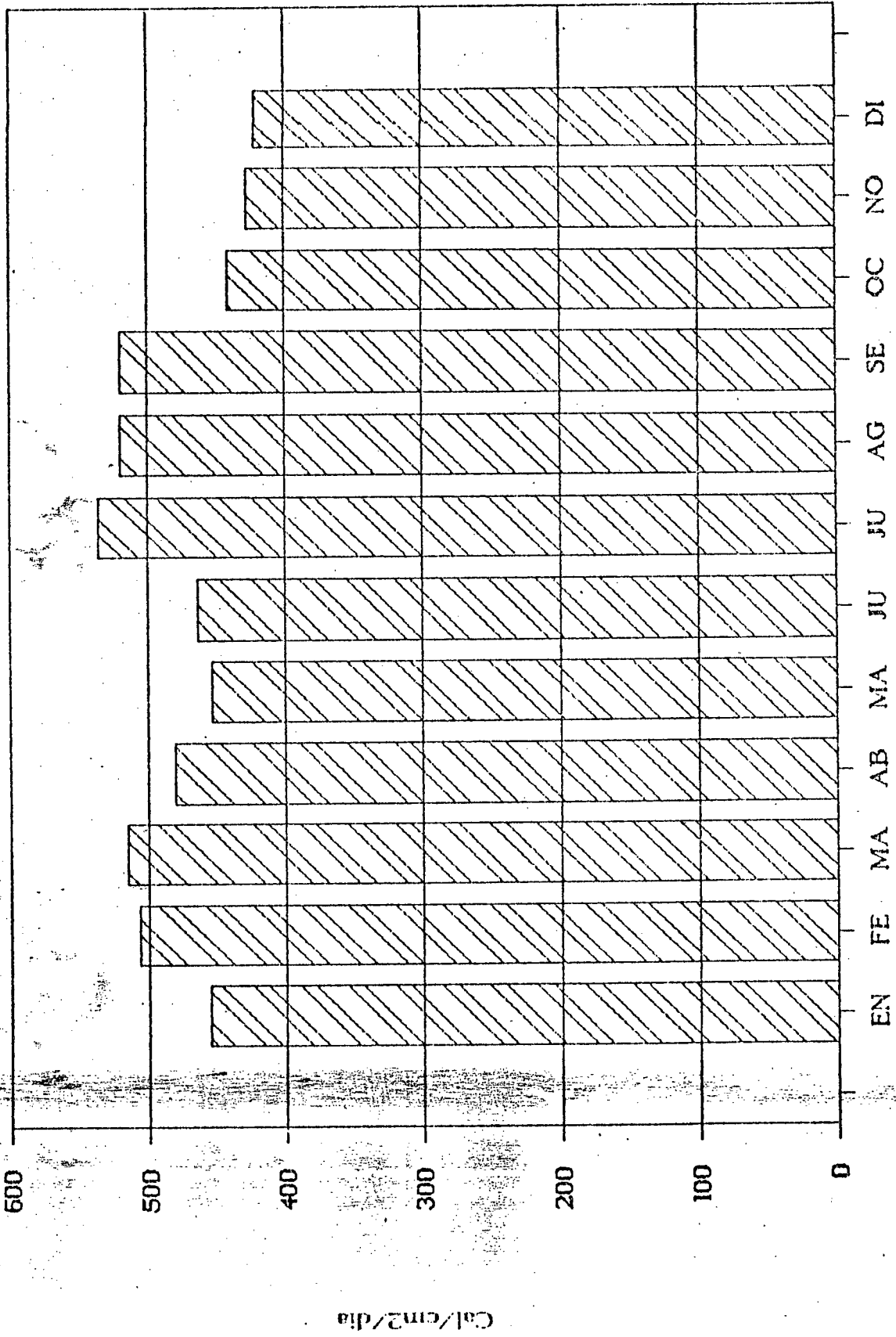
VALORES MEDIOS MENSUALES DE RADIACION SOLAR GLOBAL DIARIA
EN DIFERENTES UNIDADES

Mes	Cal/cm2/dia	Kw-h/m2/dia	Bbl/Km2/dia
Enero	455.00	5.28	2964.19
Febrero	506.25	5.88	3298.07
Marzo	515.00	5.98	3355.07
Abril	480.00	5.57	3127.06
Mayo	453.75	5.27	2956.05
Junio	463.75	5.39	3021.19
Julio	535.00	6.21	3485.36
Agosto	520.00	6.04	3387.64
Septiembre	520.00	6.04	3387.64
Octubre	441.25	5.12	2874.61
Noviembre	427.50	4.97	2785.03
Diciembre	421.25	4.89	2744.32
Promedio	478.23	5.55	3115.52

Gráfica que presenta la Alternativa ALT-A

RADIACION SOLAR GLOBAL

Castillete, Edo Zulia



Mes

Salida de la Alternativa ALT-B

DISTRIBUCION TERRITORIAL DEL POTENCIAL SOLAR EN VENEZUELA

Localización : CASTILLETES, EDO. ZULIA

Coordenadas : Latitud : 11.833 Grados Dec.
 Longitud : 71.4 Grados Dec.

RADIACION SOLAR GLOBAL DIARIA APROVECHABLE

Mes	RAD. GLOBAL Cal/cm2/dia	CAL. AGUA lt./m2/dia	DESTI. SOL lt./m2/dia	FOTOVOLT. Horas-pico
Enero	455.00	45.50	2.50	5.28
Febrero	506.25	50.63	2.90	5.87
Marzo	515.00	51.50	2.97	5.97
Abril	480.00	48.00	2.69	5.57
Mayo	453.75	45.38	2.49	5.26
Junio	463.75	46.38	2.57	5.38
Julio	535.00	53.50	3.14	6.21
Agosto	520.00	52.00	3.01	6.03
Septiembre	520.00	52.00	3.01	6.03
Octubre	441.25	44.13	2.39	5.12
Noviembre	427.50	42.75	2.29	4.96
Diciembre	421.25	42.13	2.24	4.89
Promedio	478.23	47.82	2.68	5.55

Salida de la Alternativa ALT-C

DISTRIBUCION TERRITORIAL DEL POTENCIAL SOLAR

VALORES PROMEDIOS EN VENEZUELA

(*) MAXIMO VALOR : 532.19 Cal/cm²/dia
(3467.1 Bbl/Km²/dia)
(**) MINIMO VALOR : 339.63 Cal/cm²/dia (*)
(2212.6 Bbl/Km²/dia)
PROMEDIO DE VENEZUELA : 417.19 Cal/cm²/dia (**)
(2717 Bbl/Km²/dia)

~~~~~  
(\*) : localizado entre los 10 - 11 grados de latitud N. y  
69 - 70 grados de longitud oeste  
(\*\*) : localizado entre los 0 - 2 grados de latitud N. y  
67 - 68 grados de longitud O.

## 9.- CONCLUSIONES

- 1.- La base de datos "BASOL" es información confiable verificada para la cuantificación del recurso energético solar en el País.
- 2.- El programa de calculo diseñado "MACROSOL" utilizando el paquete SYMPHONY (versión 1.1), es una herramienta valiosa y práctica para acceder a la información de BASOL, tomando como datos característicos las coordenadas geográficas del sitio deseado y para conocer el potencial total y la energía aprovechable dependiendo de la aplicación o conversión que se desee emplear.
- 3.- El programa MACROSOL y la base de datos BASOL pueden ser utilizados por cualquier usuario que requiera saber la radiación solar global promedio diaria en cualquier punto del país. Su facilidad y poca complejidad lo hacen accesible al público técnico medio.
- 4.- Para aumentar los beneficios de este trabajo se puede incluir el calculo de la radiación solar horaria partiendo de los datos de radiación solar diaria y también calcular el ángulo óptimo de inclinación de los colectores de radiación solar.
- 5.- Con este trabajo se considera que ha quedado evaluado y cuantificado completamente el recurso energético solar de

Venezuela.

6.- Los valores utilizados para calcular la energia solar aprovechable transformada, dan una aproximacion confiable para pre-dimensionar sistemas que trabajen con este recurso energetico.

7.- El modelo desarrollado aporta una herramienta valiosa para cuantificar el potencial energetico total y aprovechable de nuestras otras fuentes energeticas "no exportables": eolica, bioenergia, pequeños aprovechamientos hidricos, con el fin de tener totalmente evaluados los recursos energeticos alternos en el pais y aumentar asi su participacion en la oferta interna de energia, en el marco de los lineamientos establecidos por el MEM para lograr una politica energetica integral.

10/04/1987

## BIBLIOGRAFIA.

- 1.- ASOCIACION VENEZOLANA DE ENERGIA SOLAR (AVES). " El Sol y la Radiación Solar". Ed. ASOVAC, Caracas, Venezuela, 1985
- 2.- DUFFIE, John et.al. " Solar Energy Engineering ", Ed. Pergamon Press, New York, U.S.A., 1983.
- 3.- FUERZA AEREA VENEZOLANA, " Atlas Climatológico de Venezuela, Periodo 1951-1970 ", F.A.V., Maracay, Venezuela, 1980
- 4.- GOLDBRUNNER, Antonio, " Instrumentos Meteorológicos ". Ed. F.A.V., Maracay, Venezuela, 1964.
- 5.- LAFONTANT, Jorge, " Introduccion a las Tecnologias de Aplicación de la Energia Solar ". Ed. M.E.M., Caracas, Venezuela, 1986
- 6.- LAFONTANT, Jorge. " La Energia Solar en Venezuela. Potencial, Estado Actual y Perspectiva.". Ponencia presentada ante el II Congreso Venezolano de Conservación, Merida, Venezuela, 1981
- 7.- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, " Documento Base para la Política Energética Integral de Venezuela, Caracas, Venezuela, 1983
- 8.- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES, " Análisis de Viento y Radiación para Venezuela ". Ed. Series Informes Técnicos, Caracas, Venezuela, 1983
- 9.- ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA (OLADE) " Requerimientos Futuros de Fuentes No Convencionales de Energia en America Latina", Ed. OLADE, Quito, Ecuador, 1980
- 10.- SYMPHONY, " Reference Manual ", Ed. Lotus Development Corp.,