

METODOLOGIA PARA DETERMINAR LA FRACCION SOLAR MENSUAL Y ANUAL DE AMPLIA GAMA DE SISTEMAS TERMICOS SOLARES

I. BLASCO[#], F. GARCES^{*}

Instituto de Energía Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan
Av. Lib. Gral. San Martín 1109 (O) - 5400 San Juan
Tel.: 064 22 6444 - Fax: 064 21 0299 - E-Mail: iblasco@iee.unsj.edu.ar

RESUMEN

Se presenta una metodología que permite calcular en forma conjunta, para varias localidades, la Fracción Solar (FS) de una amplia gama de Sistemas Térmicos Solares (STS), tales como concentradores, colectores planos basados en líquidos o aire y sistemas pasivos. La contribución más importante de este trabajo, consiste en la elaboración de los criterios relacionales de codificación de los sistemas a evaluar, en estrecha correspondencia con los diferentes modelos matemáticos para cálculo estacionario involucrados, y en la implementación de un software (FTSOL) que permite el cálculo conjunto de 50 (cincuenta) casos diferentes, en rangos comprendidos entre valores mínimos y máximos de demandas e índices de calidad del equipamiento, para 20 (veinte) localidades. La herramienta elaborada facilita el prediseño y una evaluación técnica previa sobre la conveniencia de instalar los diferentes sistemas solares analizados en las localidades consideradas.

INTRODUCCION

La metodología desarrollada [1] se basa en cálculos de tipo estacionario, por considerar que los mismos son adecuados para facilitar una **preselección de un conjunto de STS** que sean técnicamente aptos en diferentes localidades. Esto resulta de particular interés en estudios de planificación de aplicaciones térmicas solares. También es útil como paso previo al uso de métodos de dimensionamiento más precisos, de tipo dinámico, como por ejemplo [2] y [3], ya que permite acotar el universo de análisis de STS que representa soluciones factibles en una región geográfica determinada. En esta metodología se utiliza el método de cálculo de la "Fracción Solar" (FS). Los algoritmos utilizados en el cálculo de la FS en los diversos tipos de STS, parten de una misma base [4 a 8]. Las diferencias se plantean fundamentalmente a causa de cuatro razones: a) El tipo de medio utilizado (concentración, líquido, aire); b) La geometría y/o principio físico de funcionamiento (perfil radial, perfil parabólico, termo-circulación natural o forzada); c) El tipo de tecnología aplicada (colectores planos, polar y cilíndrico); d) El tipo de uso a satisfacer (calentamiento de agua de caldera, agua doméstica, cocción, etc.).

La mayoría de los STS se pueden categorizar basados en la combinación de estos cuatro conceptos, y en las variaciones de los algoritmos de cálculo respectivos, resultando posible de este modo abarcar una amplia gama de los mismos con una sola base de cálculo. Para ello se definen en este trabajo **coeficientes de proporcionalidad de pérdidas (X) y de ganancias (Y) de calor**, característicos según la geometría y/o tipo de tecnología, utilizando la misma ecuación final de integración de cálculos parciales. Con el objeto de determinar un rango amplio de posibilidades de respuestas tecnológicas adecuadas para las localidades analizadas, se adopta el criterio de utilizar valores mínimos y máximos de demandas e índices que caracterizan la calidad del equipamiento aplicado. El software de soporte de la metodología está realizado en lenguaje Turbo Pascal (versión 6.0), para ser usado en PC. Permite el cálculo conjunto de 50 (cincuenta) sistemas diferentes, para 20 (veinte) localidades. A continuación, se describe la metodología, la estructura, y el uso de la herramienta de prediseño por PC (FTSOL: Fracción Térmica SOLar) en un ejemplo.

1.- DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA

Una vez codificados los STS a analizar, se calcula la Carga Térmica Solar (CTS) o aporte solar de cada uno de los STS, y las respectivas Cargas Térmicas de Referencia (CTR) o

[#] Becaria de Perfeccionamiento CONICET

^{*} Director de Beca. Investigador del CONICET

necesidad a satisfacer considerada. El cociente entre ambas cargas determina la Fracción Térmica Solar (FTS). A continuación se explicitan los algoritmos de cálculo, los criterios de codificación y relacionales utilizados.

1.1.- CALCULO DE LAS FTS MENSUAL Y ANUAL

La **FTS Mensual**: Define la contribución solar porcentual mensual, y se calcula como el cociente entre la Carga Térmica Solar (Q_s [KWh]) y la de Referencia demandada (Q_{nec} [KWh]) para un tipo de consumo (uso) (i) y un mes dado (j). Ver Fórmula (1). La **FTS Anual**: Es el cociente entre las Cargas Térmicas Solares anuales (Q_{sa}) y de Referencia anual (Q_{neca} [KWh]) obtenidas mediante la sumatoria de las cargas mensuales. Ver Fórmula (2)

$$FS_{ij} = Q_{s_{ij}} \div Q_{nec_{ij}} \quad (1)$$

$$FSa_i = Q_{sa_i} \div Q_{neca_i} \quad (2)$$

1.2.- CALCULO DE LAS CTS MENSUAL Y ANUAL

Se determina el aporte solar mensual de cada sistema considerado. Dado que la oferta solar aprovechable varía en función del tiempo, la posición de los colectores y las características de los sistemas, el cálculo debe contemplar el cálculo de la **Radiación sobre Plano Inclinado**. Para ello se contemplan cuatro inclinaciones de colección: $\beta = 0^\circ$, $\beta = 90^\circ$, $\beta = 1$ esta última en mínimo y en máximo, caracterizando el mínimo como la Latitud del lugar considerado, y el máximo como la Latitud más 10° ; conforme a la Tabla 9 del Apéndice A. El método de cálculo utilizado es el de Liu-Jordan.[4] [7] En el ejemplo descripto, se considera un Albedo de 0.2 y como días medios del mes, contando a partir del 1° de Enero (=1), los días N°: 18, 46, 75, 105, 135, 162, 198, 228, 258, 289, 319, 345.

1.2.1.- CALCULO DE LA CTS MENSUAL

La **CTS Mensual** se determina en base a los métodos de cálculo aconsejados en [5] [6] [7] y [8]; a partir de los cuales se confeccionaron las ecuaciones que se enuncian a continuación. La ecuación principal, integradora de los diferentes cálculos parciales correspondientes a cada STS es la número (3), donde el factor X indica la proporcionalidad de pérdidas y el factor Y la de ganancias, los que varían en función de las características de los sistemas. El parámetro Fc [-] es un factor de corrección, que permite ampliar el campo de aplicación de la fórmula. La Carga Térmica Solar mensual Q_s [KWh] es directamente proporcional al área de colección Ac [m²] y al número de días Nm [d] del mes j . Se obtiene a partir de datos climáticos promedio diarios, como la diferencia entre la ganancia solar SY , (donde S [MJ/m²] es la intensidad de radiación) y las pérdidas producidas por el salto térmico entre la temperatura deseada o de referencia Tr y la temperatura ambiente o exterior Ta [°C].

$$Q_{s_j} = Fc_i Ac_i Nm_j [S_j Y_j - (Tr_i - Ta_j) X_j] \quad (3)$$

1.2.2.- DEDUCCION DE (3)

Esta fórmula se obtiene realizando una combinación de las aconsejadas para el cálculo de la carga térmica de *colectores planos* en [5], ver Fórmula (4) y [7], ver Fórmula (5); y de *colectores concentradores* en [7], ver Fórmula (6)

$$Q_{s_{it}} = Fr_i Ac_i [\alpha_i S_i - (Tr_i - Ta_i) Ul_i] \quad (4) \quad Q_{s_{it}} = Ac_i [Fr_i (\tau \alpha_i) S_i - (Tr_i - Ta_i) Fr Ul_i] \quad (5)$$

$$Q_{s_{it}} = Ac_i [\phi_i \gamma_i \tau_i \alpha_i Fr_i S_i - (Tr_i - Ta_i) (Fr_i Ul_i \div C)] \quad (6)$$

Donde Fr [-] es el factor de remoción de calor del sistema, α [-] es el coeficiente de absorción de calor de la superficie colectora, y Ul [KW/m² °C] es la conductancia total de pérdidas térmicas, que caracterizan el comportamiento térmico del STS (i) analizado en el periodo t [h]; $\tau \alpha$ [-] es el producto de los coeficientes de transmisividad y absorción o absorptancia característicos de la superficie colectora del STS analizado; ϕ [-] es el coeficiente de reflectancia especular, γ [-] es el factor de intercepción solar, y C [-] el coeficiente de concentración del colector analizado.

Dado que los datos climáticos con que se cuenta están disponibles en valores diarios promedio mensual, las Fórmulas (5) y (6) se multiplican por el número de días N_m del mes j , y como la conductancia total de pérdidas térmicas U_l corresponde a unidades por hora, se multiplica por la cantidad de horas diarias solares útiles promedio mensual, para obtener la Carga Térmica mensual. Algunos sistemas presentan rendimientos menores ó mayores al que se obtiene con esta fórmula, por lo tanto debe afectarse por un factor de corrección F_c . Además para obtener valores más precisos, tal como aconseja [5], el factor de remoción de calor se afecta con el cociente $(Fr' \div Fr)$, donde Fr' [-] es el factor de eficiencia del colector, y el producto $(\tau\alpha)$ se toma proporcional al correspondiente a un ángulo de incidencia solar normal al colector designándolo $(\tau\alpha)_n$. Con estas modificaciones las fórmulas anteriores se transforman en:

Fórmula (5):

$$Q_{S_{ij}} = F_c A_c N_m_j [Fr_i (\tau\alpha)_i (Fr' \div Fr)_i S_j - (Tr_i - Ta_i) Fr U_{li} (Fr' \div Fr)_i H_{s_j}] \quad (7)$$

Fórmula (6):

$$Q_{S_{ij}} = F_c A_c N_m_j [\phi_i \gamma_i \tau_i \alpha_i Fr_i S_j - (Tr_i - Ta_i) (Fr_i U_{li} \div C) H_{s_j}] \quad (8)$$

De donde se deducen los correspondientes coeficientes de proporcionalidad, que permiten adoptar la expresión (3) como ecuación general de cálculo de la amplia gama de STS que se pretende prediseñar. Los factores numéricos que se incluyen corresponden a conversiones de unidades, siendo respectivamente 0.001: de Wh a KWh, 3600: de KJ a KWh; y 0.96[-] el factor de corrección del producto $(\tau\alpha)_n$.

• **Coefficientes de Proporcionalidad para Colectores Planos: [5] [7]**

$$X_{ij} = 0.001 (Fr' \div Fr)_i Fr U_{li} H_{s_j} \quad (9) \quad Y_i = (Fr' \div Fr)_i Fr (\tau\alpha)_i 0.96 \div 3600 \quad (10)$$

• **Coefficientes de Proporcionalidad para Concentradores: [5]**

$$X_{ij} = 0.001 (U_{li} \div C_i) Fr_i H_{s_j} \quad (11) \quad Y_i = (\phi_i \gamma_i \tau_i \alpha_i Fr_i) \div 3600 \quad (12)$$

. Siendo para Cilíndrico-parabólico (CCPAR): Donde aa [m] es el ancho de la abertura de colección, ar [m] es el ancho del eje receptor, y L [m] es la longitud total del colector.

$$C_i = (aa_i - ar_i) \div ar_i \quad (13) \quad Ac_i = L_i (aa_i - ar_i) \quad (14)$$

. y para Parabólico-polar (CPPOL): Donde Aa [m²] es el área total del colector, ra [m] el radio del colector, Ar [m²] el área del receptor, y rr [m] el radio del receptor.

$$C_i = Ac_i \div Ar_i \quad (15) \quad Ac_i = Aa_i - Ar_i \quad (16)$$

$$Aa_i = \pi (ra_i)^2 \quad (17) \quad Ar_i = \pi (rr_i)^2 \quad (18)$$

1.2.3.- CALCULO DE LA CTS ANUAL

Integra las cargas térmicas mensuales obtenidas en el punto anterior.

$$Q_{sa_i} = \sum_{j=1}^{12} Q_{S_{ij}} \quad (19)$$

1.3.- CALCULO DE LAS CTR MENSUAL Y ANUAL

La **CTR mensual** indica el consumo mensual por necesidad a contemplar. Se diferencian: a) Cálculo de Q_{nec} [KWh] como función independiente de las variables climáticas, donde Hu [h/d] es la cantidad de horas diarias de uso del SC, y Ch [KW] es el consumo horario. Ver Fórmula (20)

b) Cálculo de Q_{nec} como función dependiente de las variables climáticas: Relacionadas con sistemas para calefacción de ambientes [5] [6] [7] [8]. Donde GDM [°C] son los "Grados-Día" mensuales de desconfort térmico, A [m²] es el área correspondiente a paredes (p) y vidriados (v), δ a [Kg/m³] la densidad del aire, Ca [W/Kg °C] la capacidad calorífica del aire, Ri [1/h] el número de renovaciones horarias de aire, V [m³] el volúmen de aire del espacio considerado, y Qi [KWh] las pérdidas térmicas por infiltración. Ver Fórmulas (21) a (25)

$$Q_{nec_{ij}} = Hu_j Ch_i Nm_j \quad (20)$$

$$Q_{p_{ij}} = 0.024 U_p A_p GDM_j \quad (21)$$

$$Q_{v_{ij}} = 0.024 U_v A_v GDM_j \quad (22)$$

$$Q_{i_{ij}} = 0.024 \delta a C_a V_i R_i GDM_j \quad (23)$$

$$GDM_j = (18 - Ta_j) Nm_j \quad (24)$$

$$Q_{nec_{ij}} = Q_{p_{ij}} + Q_{v_{ij}} + Q_{i_{ij}} \quad (25)$$

La **CTR Anual** integra las cargas térmicas de referencia mensuales.

$$Q_{nec_{a_i}} = \sum_{j=1}^{12} Q_{nec_{ij}} \quad (26)$$

1.4.- CRITERIOS DE CODIFICACION DE STS

La codificación de los STS se realiza mediante letras, hasta 10 (diez) pueden ser definidas. En el actual trabajo se utilizaron códigos con un máximo de 9 (nueve) letras, con los siguientes criterios:

• **Medio utilizado:** La primer letra determina el medio utilizado, permite por un lado seleccionar parte del algoritmo de cálculo, y por otro en combinación con el siguiente criterio, parte de los datos a utilizar:

C : Concentración. L : Líquido. A : Aire

• **Geometría y Principio Físico:** La segunda letra determina en el caso de los concentradores el tipo de geometría de los mismos, y en el caso de los colectores planos el principio físico. Permite por un lado seleccionar parte del algoritmo de cálculo, y por otro en combinación con el criterio anterior, parte de los datos a utilizar:

. C : Perfil radial. . P : Perfil parabólico.
. N : Termocirculación Natural. . F : Termocirculación Forzada

• **Tipo de Tecnología:** Las tres letras siguientes determinan el tipo de tecnología utilizada. Permite seleccionar parte del algoritmo de cálculo y definir la calidad de los equipos a traves de la caracterización de datos a utilizar:

. POL : Colector Polar . HOR : Horno
. PAR : Colector Cilindrico . PAS : Sistema Pasivo
. PAN : Panel Plano . INV : Invernadero
. DES : Destilador . DUC : Ducto
. POZ : Poza

• **Tipo de Uso ó Consumo a satisfacer:** Los cinco lugares restantes se destinan a especificar el tipo de uso que satisface. Permite seleccionar datos a utilizar; y además relacionar con los sistemas convencionales respectivos, en el módulo de análisis microeconómico:

1. CAC-- : Calentamiento de Agua de Caldera	9. CPI-- : Cocción de Productos Industriales
2. ACD-- : Calentam. de Agua para uso Doméstico	10. CAH1- : Calefacción con ganancia directa y/o acumulación para Amb. Habitables
3. AP-- : Desalinización de Agua	11. CAH2- : Calefacción con efecto invernadero para Ambientes Habitables
4. CD1-- : Cocción Doméstica (con cocina)	12. CAA-- : Calefacción con efecto invernadero para Ambientes Agrícolas
5. CD2-- : Cocción Doméstica (con horno)	
6. DPA-- : Deshidratación de Productos Agrícolas	
7. DP-- : Deshidratación de Productos no Agrícolas	
8. GV-- : Generación de Vapor	

2.- PROGRAMA "FTSOL"

La estructura del programa es de tipo modular, y la interrelación entre los módulos se esquematiza en la Figura 1.

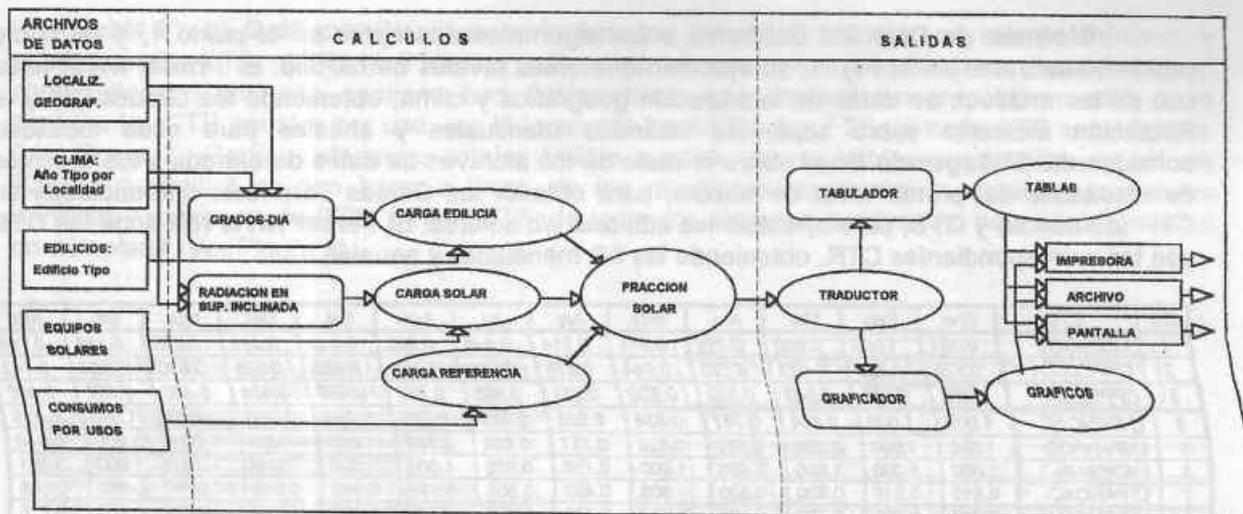


Figura. 1. Diagrama de Interrelación de módulos y flujo de datos del Programa "FTSOL"

Datos de Entrada: a) Listado codificado de los sistemas a evaluar (Tabla 1); b) Datos de localización geográfica de las estaciones meteorológicas consideradas; c) Datos climáticos: "Año Tipo" por estación meteorológica y por parámetro considerado; d) Listado de las necesidades a satisfacer, cantidad de horas diarias de uso y consumo horario de cada una de ellas; e) Datos de las características de los equipos solares considerados.

CS	STS	Descripción
.1	CCPARGV---	Concentrador cilíndrico parabólico para generación de vapor. Concentra la radiación solar en un eje lineal, por donde pasa un tubo con un fluido.
.2	CPPOLCD1--	Concentrador parabólico polar para cocción doméstica (Cocina solar). Concentra la radiación solar en un punto, donde se coloca un recipiente.
.3	CPPOLCPI--	Concentrador parabólico-polar para cocción de productos industriales. Concentra la radiación solar en un punto, donde se coloca un recipiente.
.4	LNPANCAC--	Colector plano de agua con termocirculación natural, mediante paneles, para calentamiento de agua de caldera.
.5	LNPANACD--	Colector plano de agua con termocirculación natural, mediante paneles, para provisión de agua caliente doméstica (Calefón solar).
.6	LNDESAP---	Colector plano de agua con termocirculación natural, mediante destilador, para desalinización de agua (Destilador solar).
.7	LFPANCAC--	Colector plano de agua con termocirculación forzada, mediante paneles, para calentamiento de agua de caldera.
.8	LFPANCAH1-	Colector plano de agua con termocirculación forzada, mediante paneles, para calefacción de ambientes habitables (Sistema Activo).
.9	LFPOZCAC--	Colector plano de agua con termocirculación forzada, mediante poza, para calentamiento de agua de caldera (Poza solar).
.10	LFPOZCAH1-	Colector plano de agua con termocirculación forzada, mediante poza, para calefacción de ambientes habitables (Sistema Activo).
.11	ANHORCD2--	Colector plano de aire con termocirculación natural, mediante horno, para cocción doméstica (Horno solar).
.12	ANPASCAH1-	Colector plano de aire con termocirculación natural, para calefacción pasiva de ambientes habitables (Sistema Pasivo).
.13	ANPANCAH1-	Colector plano de aire con termocirculación natural, mediante panel, para calefacción de ambientes habitables.
.14	ANINVCAH2-	Colector plano de aire con termocirculación natural, mediante invernadero, para calefacción de ambientes habitables (Invernadero).
.15	ANINVCAA--	Colector plano de aire con termocirculación natural, mediante invernadero, para calefacción de ambientes agrícolas (Invernáculo).
.16	AFPANDPA--	Colector plano de aire con termocirculación forzada, mediante paneles, para deshidratación de productos agrícolas (Secadero solar).
.17	AFPANDP---	Colector plano de aire con termocirculación forzada, mediante paneles, para deshidratación de productos no agrícolas (Secadero solar).
.18	AFPANCAH1-	Colector plano de aire con termocirculación forzada, mediante paneles, para calefacción de ambientes habitables.
.19	AFDUCCA1-	Colector plano de aire con termocirculación forzada, mediante ductos, para calefacción de ambientes habitables.
.20	AFDUCDPA--	Colector plano de aire con termocirculación forzada, mediante ductos, para deshidratación de productos agrícolas (Secadero solar).
.21	AFDUCDP---	Colector plano de aire con termocirculación forzada, mediante ductos, para deshidratación de productos no agrícolas (Secadero solar).

Tabla 1. Sistemas Codificados. Realizando las combinaciones lógicas de los criterios de caracterización se pueden definir todos los STS que se desean evaluar. La Tabla incluye algunas combinaciones posibles.

Bloques de Cálculo: Conforme a los algoritmos descritos en el punto 1, y tal como puede visualizarse en la Fig. 1, se ejecutan diferentes niveles de cálculo. El **Primer Nivel** hace uso de los archivos de datos de localización geográfica y clima, obteniendo los Grados-Día y la Radiación incidente sobre superficie inclinada mensuales y anuales para cada localidad considerada. El **Segundo Nivel** utiliza el resto de los archivos de datos de entrada y los archivos de resultados del primer nivel de cálculo, para obtener las Cargas Térmicas, diferenciadas en CTR (demanda) y CTS, para aplicaciones edilicias y/o solares. El **Tercer Nivel** relaciona las CTS con las correspondientes CTR, obteniendo las FS mensuales y anuales.

CS	STS	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
1	CCPARGV	0.751	1.000	0.600	0.726	0.615	0.514	0.646	0.692	0.913	0.881	0.876	0.885	0.756
2	CPPOLCD1	0.728	0.935	0.623	0.720	0.644	0.575	0.671	0.700	0.856	0.828	0.820	0.824	0.742
3	CPPOLCPI	0.398	0.515	0.340	0.393	0.350	0.311	0.365	0.381	0.459	0.454	0.450	0.452	0.406
4	LNPANAC	1.000	1.000	0.804	0.787	0.634	0.528	0.629	0.722	0.964	1.000	1.000	1.000	0.838
5	LNPANACD	1.000	1.000	1.000	0.992	0.829	0.717	0.824	0.923	1.000	1.000	1.000	1.000	0.940
6	LNDESAP	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.796	0.975	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.981
7	LFPANAC	0.815	0.916	0.630	0.620	0.509	0.433	0.507	0.575	0.752	0.810	0.864	0.895	0.698
8	LFPANCAH1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.874	0.510	0.535	0.837	1.000	1.000	0.000	0.000	0.726
9	LFPOZCAC	1.000	1.000	0.951	0.794	0.558	0.432	0.520	0.688	1.000	1.000	1.000	1.000	0.827
10	LFPOZCAH1	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.556	0.607	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.803
11	ANHORCD2	1.000	1.000	1.000	0.793	0.472	0.300	0.417	0.646	1.000	1.000	1.000	1.000	0.801
12	ANPASCAH1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.620	0.398	0.397	0.527	0.876	1.000	0.000	0.000	0.559
13	ANPANCAH1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.701	0.416	0.427	0.662	1.000	1.000	0.000	0.000	0.620
14	ANINVCAH2	0.000	0.000	0.000	1.000	0.661	0.363	0.381	0.673	1.000	1.000	0.000	0.000	0.593
15	ANINVCAA	0.000	0.000	0.000	1.000	0.586	0.322	0.337	0.597	1.000	1.000	0.000	0.000	0.547
16	AFPANDPA	1.000	1.000	0.859	0.849	0.716	0.625	0.715	0.795	1.000	1.000	1.000	1.000	0.879
17	AFPANDP	0.866	0.964	0.689	0.681	0.574	0.501	0.573	0.637	0.807	0.862	0.914	0.943	0.750
18	AFPANCAH1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.809	0.483	0.495	0.764	1.000	1.000	0.000	0.000	0.687
19	AFDUCCA1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.697	0.386	0.405	0.710	1.000	1.000	0.000	0.000	0.616
20	AFDUCDPA	0.973	1.000	0.651	0.551	0.401	0.321	0.377	0.848	0.712	0.865	1.000	1.000	0.693
21	AFDUCDP	0.975	1.000	0.652	0.552	0.402	0.322	0.378	0.485	0.713	0.877	1.000	1.000	0.694

Tabla 2. FTS Mensual y Anual en valores Mínimos, para la localidad 5, de los 21 (veintiun) STS analizados.

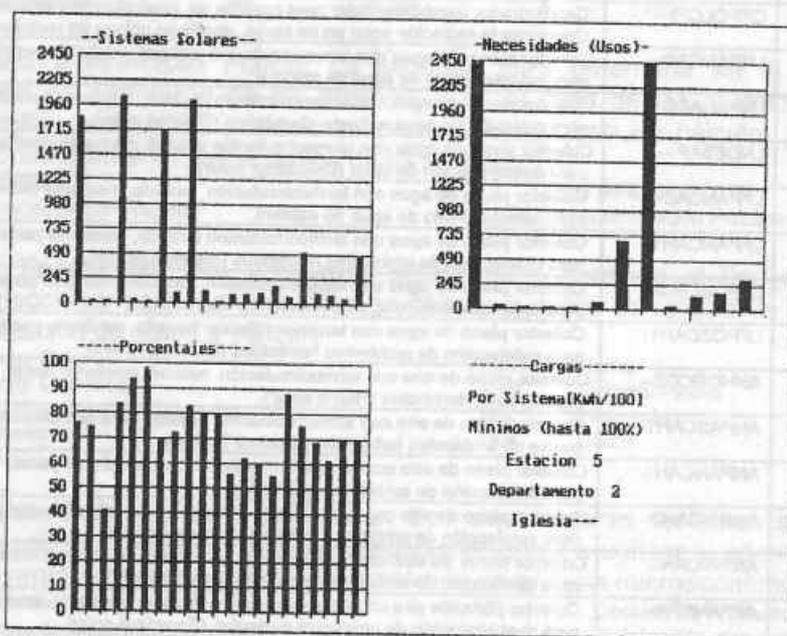


Figura 2. Gráficas de CTR, CTS, y FTS, en valores Mínimos para la localidad 5, obtenidas con "FTSOL".

Salidas de Resultados: Los resultados pueden visualizarse en forma de tablas y/o de gráficos, ya que se implementaron sendos subprogramas para tales fines. Los archivos que se obtienen son a) **Tablas:** Matrices de CTR mensuales y anual, de valores mínimos y máximos, por demanda considerada, para cada estación meteorológica de las localidades contempladas; Matrices de CTS mensuales y anual, de valores mínimos y máximos, por sistema solar considerado, para cada localidad contemplada; Matrices de FS mensuales y anual, de valores mínimos y máximos, por STS, para cada estación meteorológica de las localidades contempladas

(Ver Tabla 2). b) **Gráficos:** Plantillas en barras con los datos anuales, en valores mínimos y máximos, de CTS, CTR, y FTS, de todos los sistemas analizados, para cada localidad contemplada. Cada una contiene tres ilustraciones, que representan respectivamente, a la derecha las CTR anuales por uso, y a la izquierda las CTS y las FTS de cada STS considerado. (Ver Figura 2); Gráficos obtenidos con las salidas a archivos compatibles con planillas de cálculo (QPRO o similar) en tipo barra o línea, de los resultados mensuales y anuales, en valores mínimos y máximos, de CTS, CTR, y FTS, de todos los sistemas analizados, para cada localidad contemplada (Ver Figura 3).

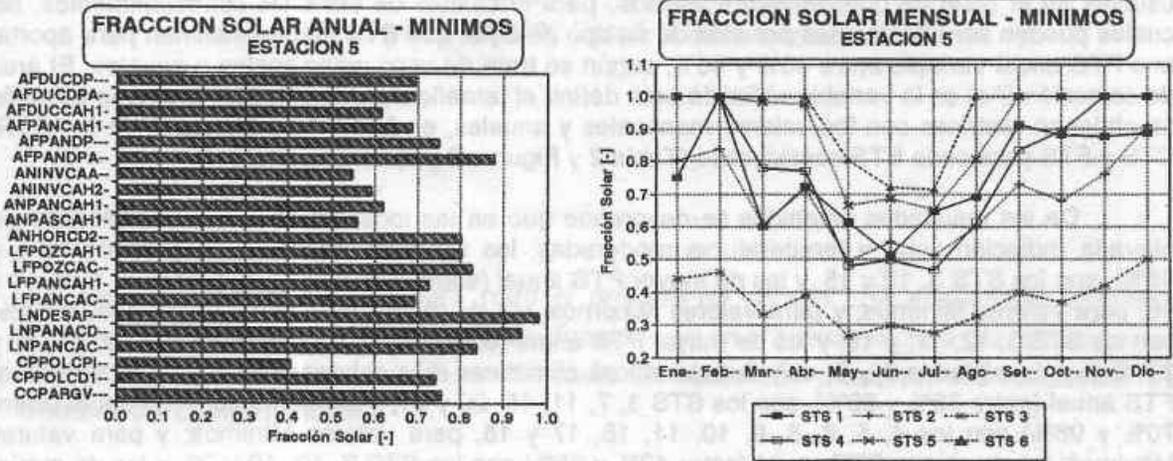


Figura 3. Gráficas de FTS, en valores mínimos para la localidad 5, obtenidas con QUATROPRO.

2.1.- USO DEL PROGRAMA

El programa está realizado en lenguaje TURBO-PASCAL Versión 6.0. Se lo utiliza actualmente para trabajos internos por parte del Equipo de Desarrollo, y es factible de transformarlo en un producto comercial. Se ha puesto especial cuidado durante su elaboración, para alcanzar niveles aceptables en eficiencia, corrección, precisión, exhaustividad, versatilidad, y compatibilidad. Los **Requerimientos mínimos** en Hardware son: PC-AT 80286 o Compatible, con Memoria Base (640 Mb RAM), Disketera de Alta Densidad, Placa Gráfica HGC (Hércules), y en Software: MSDOS 3.30. Los requerimientos **aconsejados** en Hardware son: PC-AT 80386 / 486 o Compatible, Coprocesador Matemático, Memoria Base (640 Mb RAM), Disketera de Alta Densidad, Disco Rígido con 5 Mb libres, Placa Gráfica CGA, EGA o VGA, Impresoras EPSON LX810 o HP Deskjet 500; y en Software: MSDOS 6.0, Cache de Disco en Memoria Extendida o Expandida. Se obtienen tiempos mínimos de operación.

3.- EJEMPLOS RESUELTOS

E	Localidad	Departam.	Lat.	Long.	Alt.
1	San Juan	Pocito	31.39	68.35	615
2	<i>Barreal</i>	<i>Calingasta</i>	<i>31.39</i>	<i>69.29</i>	<i>1720</i>
3	<i>San Agustín</i>	<i>Valle Fértil</i>	<i>30.38</i>	<i>67.27</i>	<i>857</i>
4	El Balde	Jachal	30.56	68.38	927
5	Rodeo	Iglesia	30.12	69.07	1600
6	<i>Las Tumanas</i>	<i>Valle Fértil</i>	<i>30.52</i>	<i>67.19</i>	<i>748</i>
7	Los Patos	Calingasta	30.16	70.06	2850
8	La Toma	Ullum	31.29	68.46	805
9	San Martín	San Martín	31.30	68.20	590
10	<i>Huaco</i>	<i>Jachal</i>	<i>30.09</i>	<i>68.29</i>	<i>983</i>
11	Pachón	Calingasta	31.45	70.28	3600

Tabla 3. Estaciones Meteorológicas de la Prov. de San Juan (Localidades seleccionadas, con letra cursiva).



Figura 4. Localización Geográfica de las Estaciones Meteorológicas consideradas en el ejemplo.

En una primera Etapa se decidió aplicar la Metodología en localidades de bajos niveles de complejidad, asumiendo como tales, aquellas con menos de 5000 Habitantes, que disten más de 60 Km de centros urbanos de mayor jerarquía, o que posean defectuosos medios de comunicación. Para ello se seleccionaron 5 (cinco) localidades de la Provincia de San Juan, que contaban con registros de algunos parámetros climáticos correspondientes a 12 años (Tabla 3, Figura 4). Los datos de radiación se obtuvieron de la lectura de las cartas de isóneas elaboradas por IAS-FABA.

Se seleccionaron 21 (veintiun) STS posibles de aplicar en estas localidades (Tabla 1), con la misma configuración para todas. Se definieron 12 (doce) tipos de demandas, con consumos usuales en el nivel de complejidad analizado, para el cálculo de las CTR correspondientes, las cuales pueden ser abastecidas por más de un tipo de STS. Los STS se dimensionan para aportar una FTS anual variable entre 40% y 80%, según se trate de usos estacionales o anuales. El área de colección (Ac) es la variable utilizada para definir el tamaño de los equipos. Para cada estación se obtienen Matrices con los valores mensuales y anuales, en Mínimos y Máximos de las CTR, CTS y FTS para cada STS considerado (Tabla 2 y Figuras 2 y 3).

De los resultados obtenidos se desprende que en las localidades 2, 5 y 10, que poseen elevada radiación solar y temperaturas moderadas, los sistemas de menor FTS (entre 38% y 48%), son los STS 3, 12 y 15, y los de mayor FTS anual (entre 70% y 95%) son los 4, 5, 6, 9, 11 y 16, para valores Mínimos; y para valores Máximos, los de menor FTS anual (entre 45% y 58%) son los STS 3, 12, 14, y 19, y los de mayor FTS anual (entre 75% y 92%) son los 4, 6, 9, 11, 16 y 17. En las localidades 3 y 6, con características climáticas más calurosas, los sistemas de menor FTS anual (entre 38% y 68%), son los STS 3, 7, 11, 15, 20 y 21, y los de mayor FTS anual (entre 70% y 98%) son los 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 16, 17 y 18, para valores Mínimos; y para valores Máximos, los de menor FTS anual (entre 42% y 68%) son los STS 3, 12, 19 y 20; y los de mayor FTS anual (entre 70% y 90%) son los 4, 5, 6, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 18 y 21. Todos los STS analizados, acusan una buena performance en las localidades seleccionadas.

4.- CONCLUSIONES

Se ha logrado formular una Metodología universal y versátil, para predicción de la performance de una amplia gama de STS, en forma conjunta, que permite introducir cambios tanto en las hipótesis utilizadas, como en la cantidad, calidad y tipos de sistemas estudiados. La exactitud de los resultados es altamente dependiente de la consistencia de los datos utilizados, por lo cual se tuvo especial cuidado en la selección de los mismos. El diagnóstico que se obtiene, corresponde al análisis técnico del problema planteado, la complementación con un análisis económico, proveerá elementos de juicio adicionales para una toma de decisiones correctas. El software "FTSOL", acusa un tiempo de cálculo mínimo, requiere modesto Hardware, necesita pocos y sencillos datos de entrada, y permite obtener resultados confiables en forma gráfica o de tablas, siendo estas últimas compatibles con planillas de cálculo (QUATROPRO, EXCELL, etc), lo cual facilita realizar análisis adicionales con los resultados obtenidos. El error máximo estimado respecto a métodos de cálculo dinámico [2] es del orden de $\pm 10\%$. En el presente trabajo se muestran resultados comparables entre sí, obtenidos mediante la aplicación de la Metodología, para una misma configuración de 21 (veintiun) STS, que satisfacen 12 (doce) tipos de demandas en valores mínimos y máximos, en 5 (cinco) localidades diferentes de la Provincia de San Juan.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1- Blasco I., "Elaboración de Metodologías de Análisis y Planificación para Evaluar la Contribución Real del Uso de la Energía Solar en el Balance Energético Total y Sectorial. Aplicación a Escalas Piloto". Informe Final Beca de Perfeccionamiento CONICET. (1994)
- 2- TRNSYS, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, WI 53706. (1981)
- 3- L. Palmiter, T.Wheeling, SUNCODE, ECOTOPE Inc. Seattle, USA (1982)
- 4- W.A.Beckman, S.A.Klein and J.A.Duffie, "Solar Heating Design". Wiley, New York (1977)
- 5- J.F.Kreider and F.Kreid, "Solar Energy Handbook". Kingsport Press, USA (1979)
- 6- F.Kreith and J.F.Kreider, "Principles of Solar Engineering". Kingsport Press, USA (1978)
- 7- J.A.Duffie and W.A.Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes". New York (1991)
- 8- D.Balcomb, "Passives Solar Design" (1985)