

## **Determinación de la Fracción Solar F Mediante Registros Mensuales de Radiación Solar en la Ciudad de Oberá -Misiones Utilizando el Método F-Chart.**

Oliveira Mario<sup>a</sup>, Cabral Roberto J. <sup>a</sup>, Barbieri Fernando Ariel <sup>a</sup>, Martin Pedro Sebastián <sup>a</sup>  
Tavares Matías <sup>a</sup>,

<sup>a</sup> *Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ingeniería. Misiones, Argentina.*

e-mails: ingenioi@gmail.com, cabralroberto@gmail.com, barbierifernando18@gmail.com,  
sebasmartin31@gmail.com, Tavarezmatias2310@gmail.com

### **Resumen**

El presente artículo pretende reflejar la metodología de cálculo para cuantificar el recurso solar en una instalación hospitalaria de la ciudad de Oberá -Misiones. Dicha metodología forma parte del trabajo de fin de carrera de la cátedra Proyecto Electromecánico 2 titulado “Instalación Solar Térmica para la Producción de Agua Caliente Sanitaria de uso Hospitalario”. Por ello, en el presente estudio utilizando el método F-CHART se buscó determinar la energía aportada por el sistema a lo largo del año y obtener datos relevantes para el proyecto de instalación como lo son: la fracción solar, la superficie total de colectores y el volumen de agua caliente sanitaria requeridos por la instalación de acuerdo a su uso. Para calcular la energía que puede aportar la instalación durante todo el año, se tomó como variables independientes la ubicación geográfica y cuál será el uso que se dará al agua caliente sanitaria aportada por el sistema. Los resultados obtenidos al relacionar dichas variables con el método fueron una cobertura del 59 por ciento anual proveniente del sistema.

**Palabras Claves** - Sistema solar-térmico, Carga térmica, Fracción solar,

### **Introducción**

En este trabajo se considera la aplicación de la energía solar térmica como una gran opción dentro del marco de las renovables, la cual presenta grandes ventajas respecto a las fuentes de generación tradicionales y tiene grandes expectativas de crecimiento en un tiempo cercano para varias aplicaciones domésticas e industriales.

No solo contribuye a un modelo sostenible de abastecimiento energético, sino que pretende reducir el impacto ambiental que supone el uso de energía y favorece la independencia energética.

Las instalaciones solares térmicas no generan contaminante alguno asociado a su operación, su producción de la energía es muy cercana al lugar de consumo y no presentan gran complejidad.

\* Tavarezmatias2310@gmail.com

La energía solar térmica utiliza directamente la energía que se recibe del Sol para calentar un fluido caloportador. Esta energía es almacenada y transferida a otro fluido de trabajo, utilizándose en los puntos de consumo. Con el aprovechamiento de la energía procedente del Sol conseguimos reducir el consumo de otras fuentes de energía primaria, como los combustibles fósiles o la energía eléctrica. Este sistema, de forma general, requiere el acoplamiento de tres subsistemas principales:

- Subsistema de captación: batería de captadores solares.
- Subsistema de intercambio y acumulación: uno o varios depósitos acumuladores de energía.
- Subsistema de energía convencional auxiliar.

Dentro de los sistemas de aprovechamiento solar térmico podemos encontrar los destinados a satisfacer las siguientes necesidades:

- Producción de A.C.S.
- Calefacción
- Calentamiento de agua para piscinas
- Calentamiento en aplicaciones industriales
- Producción de frío mediante ciclo de absorción

Para dimensionar correctamente las partes de sistema antes mencionado como así también sacar conclusiones respecto de la demanda de agua caliente sanitaria utilizaremos una metodología de cálculo que nos permita cuantificar la demanda de energía vs el aporte de nuestro sistema solar térmico.

### ***Metodología***

El método a utilizar será el de las curvas f o F-Chart, desarrollado por Klein-Beckman-Duffie, el cual se basa en la parametrización de resultados de simulaciones dinámicas de un modelo de acumulación centralizada. Es recomendado en bibliografía técnica como “Martínez P. (2006). Energía Solar Térmica” y las normativas de la temática, entre ellas el “Código Técnico de la Edificación. (2006) Boletín Oficial de España” y el “Pliego de condiciones técnicas para instalación solar térmica de baja temperatura. (2009). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) de España”.

Es por un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, como es nuestro caso. El sistema F-Chart, permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas y de su rendimiento medio en un largo periodo de tiempo.

Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, y es perfectamente válido para determinar el rendimiento factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos.

Para estudiar este parámetro indicativo se determina la fracción Aportación/Consumo (fracción solar), la cual se pretende que oscile lo más próxima a la unidad, lo que se consigue en los meses de verano, produciéndose un déficit energético en los meses invernales, el que deberá ser cubierto por el sistema de apoyo.

La ecuación utilizada en el método es la siguiente:

$$f = 1,029.D_1 - 0,065.D_2 - 0,245.D_1^2 + 0,0018.D_2^2 + 0,0215.D_1^3 \quad (1)$$

D1: Relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la demanda energética en un mes.

D2: Relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la demanda energética durante un mes.

### **1. Valoración de la radiación incidente en la superficie inclinada**

a) Para calcular la energía que puede ser aprovechada por los captadores en una ubicación geográfica determinada se debe conocer primero aquella que incide sobre una unidad de superficie horizontal (1m<sup>2</sup>) en un día medio de cada mes, conocida como *irradiación horizontal H*. Estos valores de H son obtenidos por medición directa en estaciones meteorológicas y volcados en registros, de los cuales surgen las “Cartas de irradiación solar global”.

En “Grossi Gallegos H, Righini R. (2007). Atlas de energía solar de la República Argentina” se encuentran los valores de irradiación media mensual sobre una superficie horizontal H de cada región del país. Los correspondientes a nuestro proyecto de la Plata serán utilizados en el proceso de cálculo.

b) Debido a que las superficies captadoras deben interceptar la irradiación tan perpendicularmente como sea posible durante el día, deberán inclinarse un cierto ángulo respecto del plano horizontal y a su vez estar orientadas hacia el norte. Es necesario entonces definir un factor de proporcionalidad que permita estimar la irradiación sobre ese plano inclinado, el cual se determina para una orientación e inclinación dada, y que podemos encontrar en tablas.

Recurrimos a la siguiente expresión:

$$H_T = K.H \quad (2)$$

Siendo:

HT: irradiación incidente sobre 1m<sup>2</sup> de superficie inclinada en un día medio mensual. [KJ.dia/m<sup>2</sup>]

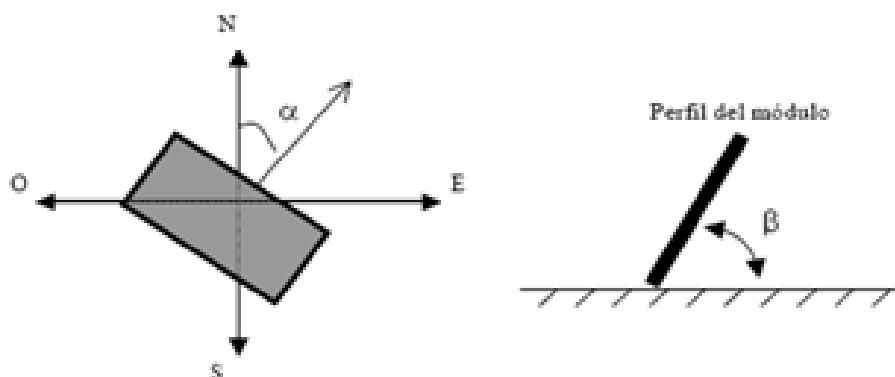
K: coeficiente de corrección.

H: Irradiación media diaria sobre 1 m<sup>2</sup> de superficie horizontal en un día medio mensual [KJ.dia/m<sup>2</sup>]

c) Debemos ahora seleccionar una inclinación y orientación óptima de los colectores. Para eso se tienen en cuenta las pérdidas máximas admisibles de los mismos, que son calculadas en función de los dos ángulos principales, representados en la figura 1:

Ángulo de inclinación ( $\beta$ ): es aquel que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es  $0^\circ$  para horizontales y  $90^\circ$  para verticales.

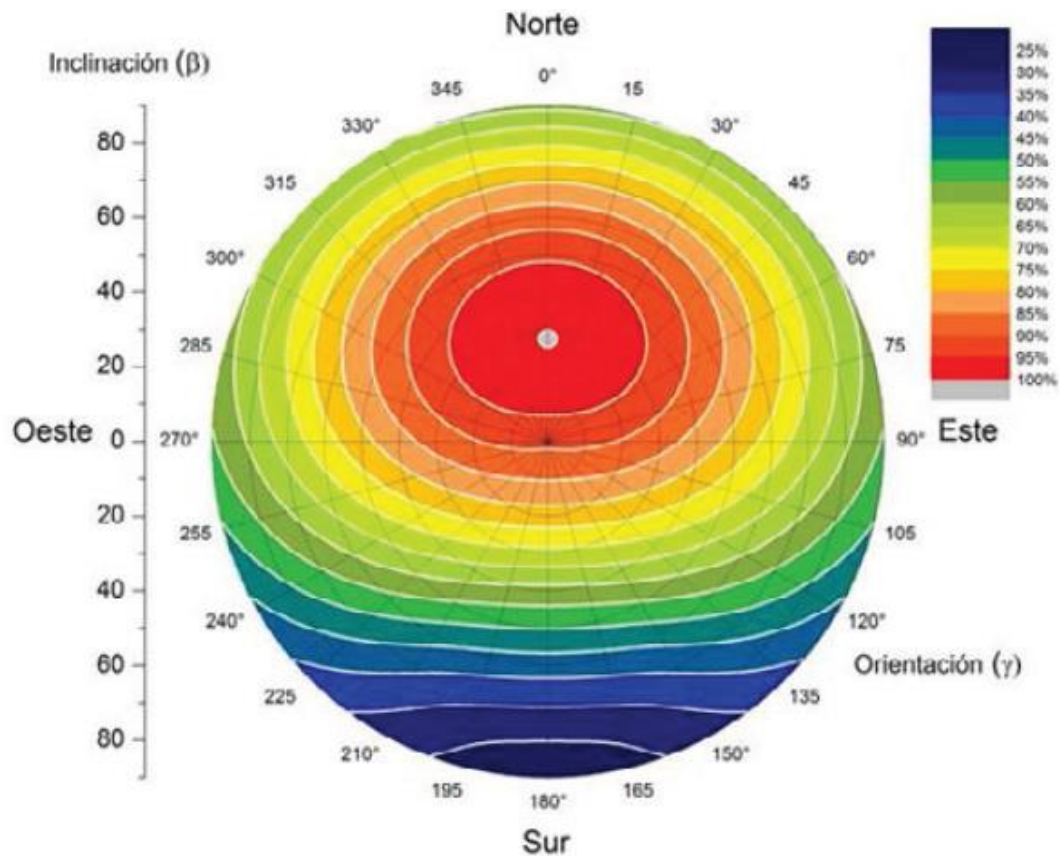
Ángulo de acimut ( $\alpha$ ): definido entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Los valores típicos son  $0^\circ$  para módulos orientados al norte,  $-90^\circ$  para los orientados al oeste y  $+90^\circ$  los orientados al este.



**Fig. 1. Ángulos de acimut e inclinación.** Diseño de instalación solar de agua caliente sanitaria para una vivienda multifamiliar (2019). UTN – La Plata.

En el “Manual de introducción a la energía solar térmica. (2019). Secretaría de Energía de la República Argentina” se establece que para colectores ubicados en el hemisferio sur se considera como orientación óptima la dirección Norte. Con respecto a la inclinación, como regla general para maximizar la energía anual, se debe adoptar un ángulo igual al valor de latitud del lugar. El fin principal de estas dos cuestiones es reducir al mínimo posible las pérdidas de los colectores. Es posible conocer entonces tanto las pérdidas anuales como las pérdidas mensuales de energía por desviaciones de la orientación e inclinación óptimas a través de los “discos de irradiación solar”.

El disco es una herramienta gráfica que muestra el porcentaje de energía que se pierde a medida que varía el ángulo de inclinación y el acimut con respecto al máximo anual, dado por un punto gris en la imagen. Los círculos representan la inclinación beta y las rectas la orientación alfa del captador (Figura 2).



**Fig. 2. Discos de radiación solar.** Grossi Gallegos H, Righini R. Atlas de energía solar de la República Argentina. (2007).

Como nuestro caso es Oberá misiones, con una latitud  $-30^\circ$  y con gran parte de la terraza disponible del edificio orientada hacia el norte, definimos:

- Ángulo de inclinación  $\beta = 30^\circ$
- Ángulo de orientación  $\alpha = 0^\circ$

d) Conocidas la inclinación y orientación de los colectores de nuestra instalación, podemos valernos entonces de las Tablas de transposición del Anexo II de la “Guía del Recurso Solar. (2019). Secretaría de Energía de la República Argentina”. En ellas encontramos los coeficientes de corrección “K” para una superficie inclinada para cualquier región del país.

Un coeficiente menor a 1 indica que el plano inclinado recibe menos radiación solar que el plano horizontal en ese mes. Si el coeficiente es mayor a 1, indica lo opuesto.

**Tabla 1 - Tablas de transposición del Anexo II de la “Guía del Recurso Solar. (2019). Secretaría de Energía de la República Argentina”.**

## MISIONES

**TABLA 1 - R = H<sub>T</sub>/H** Latitud = 27°22'  
Acimut = ±0°

Localidad : Posadas Aero

Provincia : Misiones

| β° | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  | ANUAL |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 0  | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 0,99  |
| 5  | 0,99 | 1,00 | 1,01 | 1,03 | 1,05 | 1,07 | 1,06 | 1,04 | 1,02 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 1,02  |
| 10 | 0,98 | 1,00 | 1,02 | 1,07 | 1,11 | 1,13 | 1,12 | 1,08 | 1,03 | 1,01 | 0,99 | 0,98 | 1,04  |
| 15 | 0,97 | 0,99 | 1,03 | 1,10 | 1,16 | 1,19 | 1,18 | 1,12 | 1,05 | 1,00 | 0,97 | 0,96 | 1,06  |
| 20 | 0,95 | 0,98 | 1,03 | 1,12 | 1,21 | 1,25 | 1,23 | 1,14 | 1,06 | 1,00 | 0,96 | 0,94 | 1,07  |
| 25 | 0,92 | 0,97 | 1,03 | 1,14 | 1,24 | 1,30 | 1,27 | 1,17 | 1,06 | 0,99 | 0,93 | 0,91 | 1,08  |
| 30 | 0,90 | 0,95 | 1,02 | 1,15 | 1,27 | 1,34 | 1,31 | 1,18 | 1,06 | 0,97 | 0,91 | 0,88 | 1,08  |
| 35 | 0,88 | 0,92 | 1,01 | 1,15 | 1,30 | 1,37 | 1,33 | 1,19 | 1,05 | 0,95 | 0,88 | 0,85 | 1,07  |
| 40 | 0,83 | 0,89 | 0,99 | 1,15 | 1,31 | 1,39 | 1,35 | 1,20 | 1,03 | 0,92 | 0,84 | 0,81 | 1,06  |
| 45 | 0,79 | 0,86 | 0,97 | 1,14 | 1,32 | 1,41 | 1,36 | 1,19 | 1,02 | 0,89 | 0,81 | 0,77 | 1,04  |
| 50 | 0,75 | 0,82 | 0,94 | 1,13 | 1,32 | 1,41 | 1,37 | 1,18 | 0,99 | 0,86 | 0,76 | 0,73 | 1,02  |
| 55 | 0,70 | 0,78 | 0,90 | 1,11 | 1,31 | 1,41 | 1,36 | 1,17 | 0,96 | 0,82 | 0,72 | 0,68 | 0,99  |
| 60 | 0,65 | 0,74 | 0,87 | 1,08 | 1,29 | 1,40 | 1,35 | 1,14 | 0,93 | 0,78 | 0,67 | 0,64 | 0,96  |
| 65 | 0,60 | 0,69 | 0,83 | 1,05 | 1,27 | 1,39 | 1,33 | 1,11 | 0,89 | 0,73 | 0,62 | 0,59 | 0,92  |
| 70 | 0,55 | 0,64 | 0,78 | 1,01 | 1,24 | 1,36 | 1,30 | 1,08 | 0,85 | 0,68 | 0,57 | 0,54 | 0,88  |
| 75 | 0,50 | 0,58 | 0,73 | 0,96 | 1,20 | 1,32 | 1,26 | 1,04 | 0,80 | 0,63 | 0,52 | 0,49 | 0,84  |
| 80 | 0,45 | 0,53 | 0,68 | 0,91 | 1,16 | 1,28 | 1,22 | 0,99 | 0,75 | 0,58 | 0,47 | 0,44 | 0,79  |
| 85 | 0,40 | 0,48 | 0,62 | 0,86 | 1,10 | 1,23 | 1,17 | 0,94 | 0,70 | 0,52 | 0,42 | 0,39 | 0,74  |
| 90 | 0,35 | 0,42 | 0,57 | 0,80 | 1,05 | 1,18 | 1,11 | 0,88 | 0,64 | 0,47 | 0,37 | 0,35 | 0,68  |

### Ejecución del cálculo

Por último, los datos desarrollados anteriormente se volcarán en una tabla y se podrá conocer entonces *la irradiación incidente sobre el plano inclinado de los captadores en cada mes*, dada por la siguiente expresión:

$$H_{Tmes} = K.H.N = H_T.N \left[ \frac{KWh}{m^2} \right] \quad (3)$$

**Tabla 2 – Irradiación incidente mes a mes.**

| Mes        | K    | H<br>[KWh/m2.día] | Ht<br>[KWh/m2.día] | N [día] | Htmes<br>[KWh/m2] |
|------------|------|-------------------|--------------------|---------|-------------------|
| Enero      | 0,9  | 6,5               | 5,85               | 31      | 181,35            |
| Febrero    | 0,97 | 5,5               | 5,335              | 28      | 149,38            |
| Marzo      | 1,07 | 4,5               | 4,815              | 31      | 149,265           |
| Abril      | 1,24 | 3                 | 3,72               | 30      | 111,6             |
| Mayo       | 1,44 | 2,5               | 3,6                | 31      | 111,6             |
| Junio      | 1,55 | 1,5               | 2,325              | 30      | 69,75             |
| Julio      | 1,48 | 2                 | 2,96               | 31      | 91,76             |
| Agosto     | 1,31 | 2,5               | 3,275              | 31      | 101,525           |
| Septiembre | 1,13 | 3,5               | 3,955              | 30      | 118,65            |
| Octubre    | 1,00 | 5                 | 5,00               | 31      | 155               |
| Noviembre  | 0,92 | 6                 | 5,52               | 30      | 165,6             |
| Diciembre  | 0,89 | 6,5               | 5,785              | 31      | 179,335           |
| TOTAL      |      |                   |                    |         | 1584,815          |

2-

### **Cálculo del parámetro D1**

El Parámetro D1 expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la demanda energética en un mes. Se obtiene con:

$$D_1 = \frac{Ea_{mes}}{De_{mes}} \quad \frac{(energía\ absorbida\ mensual)}{(demanda\ energética\ mensual)} \quad (4)$$

La energía absorbida por el captador viene dada por la expresión:

$$Ea_{mes} = S_c \cdot F_r'(\tau\alpha) \cdot R_1 \cdot N \quad (5)$$

Donde:

- **S<sub>c</sub>** : superficie del captador (m<sup>2</sup>).
- **R<sub>1</sub>** : Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (KJ/m<sup>2</sup>).
- **N** : número de días del mes.
- **F<sub>r</sub>'(τα)** : Factor adimensional dado por la siguiente expresión.

$$F_r'(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \cdot \left[ \frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \left[ \frac{F_r'}{F_r} \right] \quad (6)$$

$\left[ \frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n} \right]$  : Modificación del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).

$\left[ \frac{F_r'}{F_r} \right]$  : Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

### **Cálculo del parámetro D2**

El parámetro D2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la demanda energética durante un mes:

$$D_2 = \frac{Ep_{mes}}{De_{mes}} \quad \frac{(energía\ perdida\ por\ el\ captador)}{(demanda\ energética\ mensual)} \quad (7)$$

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$Ep_{mes} = S_c \cdot F_r' \cdot U_L \cdot (100 - T_a) \cdot \Delta T \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (8)$$

Donde:

**Sc**: superficie del captador (m<sup>2</sup>).

**Fr'.UL** : factor adimensional dado por la expresión.

$$F_r' U_L = F_r U_L \cdot \left[ \frac{F_r'}{F_r} \right] \quad (9)$$

FrUL : coeficiente global de pérdidas del captador, es decir, la pendiente de la curva característica del captador.

$\left[ \frac{F_r'}{F_r} \right]$  : factor de corrección del conjunto captador-intercambiador

- Ta: temperatura media mensual del ambiente (°C).
- ΔT: periodo de tiempo considerado en segundos (s).

- **K1**: factor de corrección por almacenamiento, que se obtiene a partir de:

$$K_1 = \left[ \frac{Kg_{acumulación}}{75.S_c} \right]^{-0.25} \quad (10)$$

Se recomienda la relación:  $50 < (Kg_{acumulación}) / (m^2 \text{ captador}) < 180$

- **K2**: factor de corrección que relaciona la temperatura mínima de ACS, la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por:

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18.T_{AC} + 3,86.T_R - 2,32.T_A}{100 - T_A} \quad (11)$$

TAC: temperatura mínima de ACS.

TR: temperatura del agua de red.

Ta: temperatura media mensual del ambiente.

***Determinación de la fracción solar mensual f***

**Tabla 3 - Cálculo de coeficiente D1**

| Mes | NºDías mes | $H_T$<br>[kWh/(m².día)] | $EI_{mes}$<br>[kWh/(m².mes)] | $Sc$ [m²] | $FR(\tau\alpha)n$ | $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ | $F'R/FR$ | $F'R(\tau\alpha)$ | $EA_{mes}$<br>[kWh/mes] | $DE_{mes}$ ACS<br>[kWh/mes] | $D_1$       |
|-----|------------|-------------------------|------------------------------|-----------|-------------------|-------------------------------|----------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------|
| ENE | 31         | 5,46                    | 169,26                       | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 23569,997               | 20777,607                   | 1,134394191 |
| FEB | 28         | 4,53                    | 126,84                       | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 17662,876               | 18314,8684                  | 0,964400915 |
| MAR | 31         | 4,7                     | 145,7                        | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 20289,191               | 20777,607                   | 0,976493168 |
| ABR | 30         | 4,03                    | 120,9                        | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 16835,712               | 21430,4617                  | 0,785597256 |
| MAY | 31         | 3,55                    | 110,05                       | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 15324,815               | 24012,445                   | 0,638203009 |
| JUN | 30         | 3,7                     | 111                          | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 15457,105               | 25045,2383                  | 0,617167423 |
| JUL | 31         | 3,91                    | 121,21                       | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 16878,88                | 27247,283                   | 0,619470218 |
| AGO | 31         | 3,97                    | 123,07                       | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 17137,891               | 27747,7142                  | 0,617632544 |
| SEP | 30         | 4,92                    | 147,6                        | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 20553,772               | 26368,3384                  | 0,779486822 |
| OCT | 31         | 5,35                    | 165,85                       | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 23095,143               | 25880,0796                  | 0,892390733 |
| NOV | 29         | 5,3                     | 153,7                        | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 21403,217               | 23237,85                    | 0,921049789 |
| DIC | 31         | 6,9                     | 213,9                        | 200       | 0,74              | 0,96                          | 0,97     | 0,696266          | 29786,259               | 22144,8104                  | 1,345067262 |
|     |            |                         |                              |           |                   |                               |          |                   | 237994,86               | 282984,3                    |             |

**Tabla 4 - Cálculo de coeficiente D2**

| NºDías mes | Coeficiente global de   |                          | $\Delta t$<br>[horas/mes] | Factor corrección |         | Temperatura    |               |               | Corrección para ACS | Energía perdida por el captador |       |
|------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|---------|----------------|---------------|---------------|---------------------|---------------------------------|-------|
|            | $F_R U_L$<br>[W/(m².K)] | $F_R' U_L$<br>[W/(m².K)] |                           | $K_1$             | Sup(m2) | $T_{amb}$ (°C) | $T_{AF}$ (°C) | $T_{AC}$ (°C) |                     | $Ep_{mes}$ [kWh/mes]            | $D_2$ |
| 31         | 3,425                   | 0,0033                   | 744                       | 1,01              | 200     | 27             | 21,062178     | 60            | 1,38                | 50120,8                         | 2,41  |
| 28         | 3,425                   | 0,0033                   | 672                       | 1,01              | 200     | 26             |               | 22            | 1,45                | 47931,2                         | 2,62  |
| 31         | 3,425                   | 0,0033                   | 744                       | 1,01              | 200     | 25             | 21,062178     | 60            | 1,41                | 52422,0                         | 2,52  |
| 30         | 3,425                   | 0,0033                   | 720                       | 1,01              | 200     | 22             |               | 18,5          | 1,32                | 49324,7                         | 2,30  |
| 31         | 3,425                   | 0,0033                   | 744                       | 1,01              | 200     | 18             |               | 15            | 1,20                | 48871,0                         | 2,04  |
| 30         | 3,425                   | 0,0033                   | 720                       | 1,01              | 200     | 17             |               | 11,5          | 1,05                | 41923,8                         | 1,67  |
| 31         | 3,425                   | 0,0033                   | 744                       | 1,01              | 200     | 16             | 8,9378222     | 60            | 0,95                | 39566,9                         | 1,45  |
| 31         | 3,425                   | 0,0033                   | 744                       | 1,01              | 200     | 18             |               | 8             | 0,87                | 35470,4                         | 1,28  |
| 30         | 3,425                   | 0,0033                   | 720                       | 1,01              | 200     | 19             | 8,9378222     | 60            | 0,90                | 34950,1                         | 1,33  |
| 31         | 3,425                   | 0,0033                   | 744                       | 1,01              | 200     | 22             |               | 11,5          | 0,97                | 37568,2                         | 1,45  |
| 29         | 3,425                   | 0,0033                   | 696                       | 1,01              | 200     | 24             |               | 15            | 1,11                | 39259,8                         | 1,69  |
| 31         | 3,425                   | 0,0033                   | 744                       | 1,01              | 200     | 26             |               | 18,5          | 1,26                | 46366,4                         | 2,09  |
| 523775,1   |                         |                          |                           |                   |         |                |               |               |                     |                                 |       |

## Resultados

### Valoración de la cobertura solar mensual

Conocida  $f$ , aplicando la ecuación inicial del método F-Chart se puede calcular la producción energética útil mensual de la instalación solar al multiplicar  $f$  por la demanda mensual de energía, expresada en la tabla siguiente.

$$Q_u = f \cdot Q_a \quad (13)$$

Siendo:

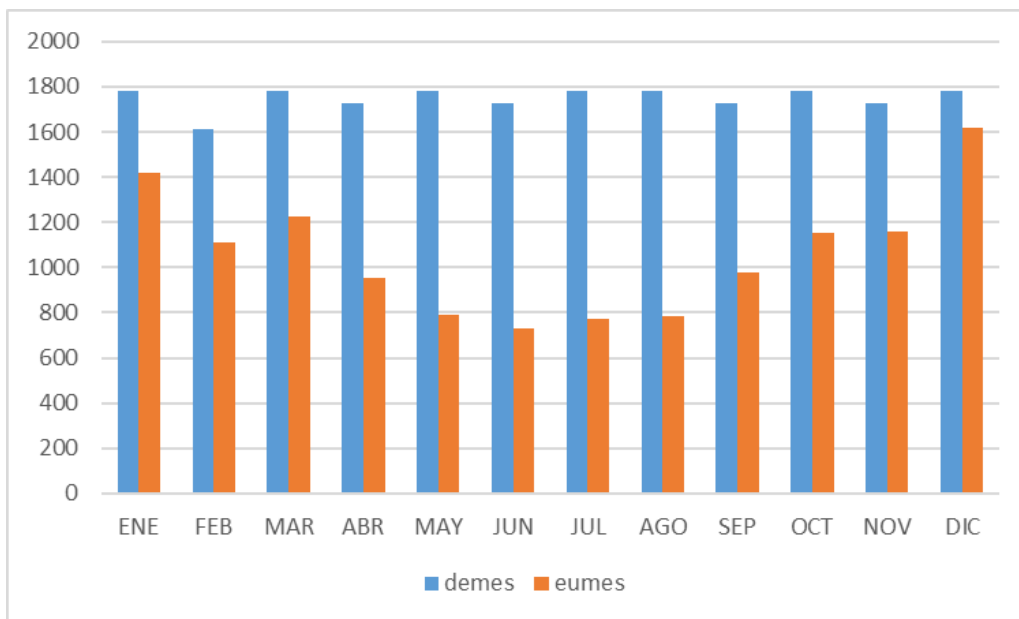
- $Q_u$ : energía útil captada en el mes [KWh]
- $Q_a$ : demanda energética de ACS mensual [KWh]

**Tabla 5 - Producción energética útil mensual de la instalación solar**

| Mes | Fracción Energética mensual |           |             | Energía útil mensual captada (kWh/mes) |           | F          |
|-----|-----------------------------|-----------|-------------|----------------------------------------|-----------|------------|
|     | D1                          | D2        | f           | demes                                  | eumes     |            |
| ENE | 1,134394191                 | 2,4343993 | 0,735830312 | 1782,5775                              | 1311,6746 |            |
| FEB | 0,964400915                 | 2,6681347 | 0,623171575 | 1610,07                                | 1003,3499 |            |
| MAR | 0,976493168                 | 2,7002097 | 0,628824015 | 1782,5775                              | 1120,9275 |            |
| ABR | 0,785597256                 | 2,5717975 | 0,512337342 | 1725,075                               | 883,82034 |            |
| MAY | 0,638203009                 | 2,3323199 | 0,420701092 | 1782,5775                              | 749,9323  |            |
| JUN | 0,617167423                 | 2,0962847 | 0,418451425 | 1725,075                               | 721,86009 |            |
| JUL | 0,619470218                 | 1,7984134 | 0,437453511 | 1782,5775                              | 779,79479 |            |
| AGO | 0,617632544                 | 1,6100502 | 0,447162135 | 1782,5775                              | 797,10116 |            |
| SEP | 0,779486822                 | 1,5028157 | 0,569794952 | 1725,075                               | 982,93903 |            |
| OCT | 0,892390733                 | 1,5805592 | 0,640201226 | 1782,5775                              | 1141,2083 |            |
| NOV | 0,921049789                 | 1,7496902 | 0,648498574 | 1725,075                               | 1118,7087 |            |
| DIC | 1,345067262                 | 2,0989777 | 0,864635809 | 1782,5775                              | 1541,2803 |            |
|     |                             |           |             | 20988,413                              | 12152,597 | 0,57901459 |

### Valoración de la fracción solar anual $F$

Mediante igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. Se podrá determinar la cobertura anual del sistema:



**Fig. 3. Gráfico de producción vs demanda de energía solar térmica**

## **Conclusión**

La demanda de ACS fluctúa en las distintas épocas del año, siendo menor en verano que en invierno. La producción de ACS mediante energía solar varía en función de la radiación incidente, coincidiendo por tanto la época de mayor demanda energética con la de menor producción, por lo que se ha determinado el ángulo óptimo de los colectores con el fin de captar la máxima radiación incidente sobre ellos, incrementando la producción en invierno. A pesar de esto, es necesario un aporte auxiliar de energía para cubrir la demanda, no necesitándose dicho aporte en los meses centrales del año.

El método de cálculo *F*-chart, con el cual se determina la cobertura solar a partir de datos mensuales medios meteorológicos, es un proceso eficaz para obtener una idea del número de colectores necesarios para alcanzar un aporte solar estipulado según el CTE en cualquier tipo de edificación, ya que se consiguen resultados muy similares a los obtenidos con una simulación real. Independientemente del método de estudio utilizado en este proyecto, la instalación solar diseñada es capaz de proporcionar más de un 59% de aporte solar en un año, por lo tanto se demuestra que el uso de energía convencional para calentar el agua se ve disminuido.

## **Referencias**

- [1] Grossi Gallegos H, Righini R. Atlas de energía solar de la República Argentina (2007).
- [2] Introducción a la energía solar térmica. Secretaría de Energía de la República Argentina (2019).
- [3] Guía del recurso solar. Secretaría de Energía de la República Argentina. (2019).
- [4] Diseño de instalación solar de agua caliente sanitaria para una vivienda multifamiliar (2019). UTN – La Plata