

ANTEPROYECTO Y ANALISIS TERMICO DE UNA
VIVIENDA CON USO DE ENERGIA SOLAR PARA LA PUNA

Graciela Lesino, Roberto Ovejero, Luis Saravia*
Grupo de Energía Solar, Departamento de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta - 4400 Salta, Argentina.

y

Rafael Requena
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Balcarce

Resumen

La vivienda proyectada está destinada a alojar técnicos de la Sub-Estación Experimental de Abra Pampa (INTA), en la puna jujeña, a 3500 m de altura. El clima es frío y seco (70% de días de invierno con mínimas menores de -10°C y aproximadamente 240 mm de precipitación pluvial anual concentrada en el verano) siendo necesario calefaccionar aún en verano. Los niveles de radiación son de los más altos del país.

Dado el aislamiento de la zona se ha optado por sistemas pasivos del tipo muro Trombe-Michel.

Se ha simulado el funcionamiento del muro mediante un modelo computacional determinándose rendimiento, distribución de temperaturas y amplitud de fluctuación de las mismas según distintos regímenes de funcionamiento y orientación. A partir del análisis térmico y económico se han determinado las áreas de colección y los grados de aislamiento requeridos.

Abstract

The design of a house for technicians working at a small center of the National Institute of Agrarian Technology, at Abra Pampa, an altitude of 3500 m in the Argentine Puna, is analyzed. The climate is cold and dry (minimum temperature is below -10°C in 70% of winter days and annual rainfall is about 240 mm, concentrated in the summer months); heating is necessary even in summer. Radiation levels are among the highest in Argentine. The zone is isolated and therefore passive systems of the "Trombe-Michel wall" type chosen.

The performance of the wall is simulated with a computational model. The temperature distribution and fluctuations are calculated for different orientations and working schemes. Collection areas and thermal insulation are determined on the basis of thermal and economical analysis.

* Investigador de la CNECH

ANTEPROYECTO Y ANALISIS TERMICO DE UNA
VIVIENDA CON USO DE ENERGIA SOLAR PARA LA PUNA

Graciela Lesino, Roberto Ovejero, Luis Saravia*
Grupo de Energía Solar, Departamento de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta - 4400 Salta, Argentina.

y

Rafael Requena
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Balcarce

Resumen

La vivienda proyectada está destinada a alojar técnicos de la Sub-Estación Experimental de Abra Pampa (INTA), en la puna jujeña, a 3500 m de altura. El clima es frío y seco (70% de días de invierno con mínimas menores de -10°C y aproximadamente 240 mm de precipitación pluvial anual concentrada en el verano) siendo necesario calefaccionar aún en verano. Los niveles de radiación son de los más altos del país.

Dado el aislamiento de la zona se ha optado por sistemas pasivos del tipo muro Trombe-Michel.

Se ha simulado el funcionamiento del muro mediante un modelo computacional determinándose rendimiento, distribución de temperaturas y amplitud de fluctuación de las mismas según distintos regímenes de funcionamiento y orientación. A partir del análisis térmico y económico se han determinado las áreas de colección y los grados de aislamiento requeridos.

Abstract

The design of a house for technicians working at a small center of the National Institute of Agrarian Technology, at Abra Pampa, an altitude of 3500 m in the Argentine Puna, is analyzed. The climate is cold and dry (minimum temperature is below -10°C in 70% of winter days and annual rainfall is about 240 mm, concentrated in the summer months); heating is necessary even in summer. Radiation levels are among the highest in Argentine. The zone is isolated and therefore passive systems of the "Trombe-Michel wall" type chosen.

The performance of the wall is simulated with a computational model. The temperature distribution and fluctuations are calculated for different orientations and working schemes. Collection areas and thermal insulation are determined on the basis of thermal and economical analysis.

* Investigador de la CNECH

En el presente trabajo se analiza la factibilidad de acondicionar térmicamente una vivienda mediante el aprovechamiento de la energía solar. Dicha vivienda será destinada a alojar técnicos de la Sub Estación Experimental de INTA y está ubicada en Abra Pampa en la Puna Jujeña, a 3500 m de altura. Se ha decidido intentar cubrir en lo posible el total de la demanda de calefacción de la vivienda y del calentamiento de agua para uso sanitario. En el primer caso se usará el aporte directo y un sistema pasivo de muros colectores-acumuladores de tipo Trombe-Michel (1) y en el segundo caso un colector con fluido intermedio para evitar problemas de congelamiento. En la sección 1 se analiza la situación geográfica, en la 2 las condiciones climáticas, en la 3 el criterio arquitectónico y constructivo adoptado, en la 4 se estudia el comportamiento de los muros Trombe-Michel, en la 5 se realiza el balance térmico global de la vivienda determinándose el área de colección y grado de aislación diseñándose además un invernáculo y en la sección 6 se enumeran las previsiones realizadas en vista a la corrección de problemas que pudieran surgir tales como insuficiente calefacción en invierno, falta o exceso de la misma en verano. También se sugiere en una etapa posterior, el eventual uso de gas metano producido a partir de desechos animales y vegetales y aprovechamiento de la energía eólica.

1.- Situación Geográfica

Abra Pampa se encuentra a 3484 m de altura en la Provincia de Jujuy, en la zona puneña. Dista 217 km de San Salvador de Jujuy a la que está unida por el Ferrocarril Gral. Belgrano y por la ruta 9 y 75 km de la ciudad fronteriza de La Quiaca. Latitud 22° 40' S. (Gráfico 1 y 2).

La estación se halla a 15 km de distancia de la población misma, en las proximidades del Río Miraflores. Está ubicada en una zona plana, con cadenas de elevaciones 400 y 600 m sobre el nivel de la planicie a aproximadamente 10 km tanto al Este como al Oeste y es abierta en la dirección Norte-Sur.

2.- Condiciones Climáticas

El clima (2) es frío y seco, con temperaturas máximas y mínimas de 20° C y -22° C en invierno y 27° C y -2° C en verano; lo cual hace necesario calefaccionar aún en verano. La temperatura media anual es de 9.7° C. En la figura 1 se hace un análisis de las temperaturas mínimas de invierno y verano. Allí puede observarse que el 33% de los días de invierno tienen su temperatura mínima por debajo de -15° C y el 70% por debajo de -10° C, y que en verano el 37% de los días tienen mínimas menores que 5° C.

Para los cálculos térmicos se ha empleado el método del año promedio. Este consiste en formar un "año tipo" del conjunto de años analizados, de la siguiente manera:

- a) Se realizan promedios mensuales de temperatura año por año y el promedio de todos los años.

- b) Se elige como mes para el año promedio aquel mes cuya temperatura media se aproxima más a la media mensual del total de los años.

De esta manera se consigue promediar a largo plazo pero manteniendo fluctuaciones reales que desaparecerían en un proceso de promedio más detallado. En la citada tabla I se dan los resultados para el trienio.

La amplitud de variación de las temperaturas diarias en el invierno es grande, de aproximadamente 30° C. Como ejemplo en tabla II se dan las temperaturas para un día de invierno (22 de junio de 1973).

Las pérdidas globales anuales o carga térmica de la vivienda pueden calcularse mediante el método de los grados-día.

En la figura 2 se ve los resultados de los grados-día para el año promedio. Se puede observar que este valor no es cero para los meses de verano y que en enero alcanza al 30% del valor del mes de julio.

Las precipitaciones anuales son de aproximadamente 240 mm y están concentradas en los meses de verano. En invierno son prácticamente nulas; por lo tanto se tiene cielos muy despejados lo cual es favorable desde el punto de vista solar ya que en invierno se produce la máxima carga térmica. El granizo es de pequeño tamaño y no es frecuente, consideración necesaria cuando se trabaja con grandes áreas vidriadas como en el caso de los muros Trombe-Michel.

En la tabla III aparece la velocidad media mensual y las frecuencias según la dirección de los vientos. Debe anotarse además que los habitantes de la zona marcan como especialmente molestos los vientos del Sur y Suroeste en el invierno. La zona tiene suelo arenoso (por erosión eólica) y los vientos suelen arrastrar arena lo que puede provocar abrasión de los vidrios. Por ello se ha previsto la colocación de "pircas" o cercos de piedra, por ejemplo, para la protección de los mismos.

Otra característica a tener en cuenta de la zona donde se emplazará la vivienda es que la primera napa freática se encuentra allí habitualmente a solo 1 metro de profundidad. Añadido a que se trata de zona sísmica II, esto ha decidido que se coloque la casa sobre una platea de hormigón. Se debe considerar su temperatura para analizar las pérdidas térmicas ya que no se cuenta con el efecto acumulador y regularizador del suelo.

En la figura 3 se ve la variación anual de la temperatura media de la napa. Para la evaluación de la radiación recibida se ha utilizado datos de La Quiaca (3) que se halla a la misma altura y que tiene un clima similar (ligeramente más húmedo, 320 mm anuales).

Las medias mensuales de radiación diaria recibida sobre superficie horizontal aparecen en la figura 4. A los efectos de llegar a la radiación horaria sobre superficies no horizontales y de distintas orientaciones se ha realizado un programa de cálculo (4). Al realizar estos cálculos deben hacerse hipótesis referentes a parámetros tales como porcentajes de radiación difusa, reflectividad del suelo, condiciones atmosféricas (5), etc., que introducen incertidumbres en las evaluaciones. Por otra parte las medidas de radiación realizadas con piranómetros están sujetas a errores relativamente grandes.

No existe prácticamente información en la literatura sobre los valores de radiación para zonas desérticas a 3500 m de altura. Laue (6) ha realizado medidas en el desierto Mohave a 1000 y 2000 m que se pueden extrapolar a 3000 m, obteniéndose para la relación:

$$\frac{\text{Rad. perpendicular dirección sol a 3000 m zona desértica}}{\text{Rad. perpendicular dirección sol a 0 m en zona desértica}} = 1,25$$

Los porcentajes de radiación difusa son más bajos que en zonas de atmósfera menos diáfanas. En la tabla IV se muestra la radiación sobre superficie horizontal para días claros en La Quiaca comparada con la radiación máxima sobre superficie horizontal teórica al nivel del mar para la misma latitud (7). Algunos de estos valores son un poco altos.

En la figura 5 se presentan los valores de radiación sobre superficies verticales N, NE y E y sobre superficies orientadas al N formando ángulos de 90° y 70° con la horizontal. Los cálculos corresponden a los días 15 de cada mes. Los valores para las superficies NW y W son los mismos que para las NE y E. En las figuras 6a y 6b aparece la variación de la radiación incidente sobre las mismas superficies mencionadas para las distintas horas del día y dos épocas del año. En este caso los valores para el NW y W son simétricos respecto del mediodía solar de los valores para orientaciones NE y E.

La distribución temporal del aporte solar interesa en el caso de los muros Trombe-Michel, que introducen un desfase por conducción entre la absorción de la radiación y su pasaje al interior de la vivienda y en el caso de la radiación directa para que los aportes térmicos se hagan en las horas adecuadas para las distintas zonas de la vivienda.

La presión normal es de 670 mb o sea 510 mm de Hg.

3.- Criterio arquitectónico-constructivo

El punto 3° puede desarrollarse de acuerdo a la siguiente secuencia para su mejor comprensión.

- 3.1 Funcional
- 3.2 Formal
- 3.3 Estructural

3.1 Se ha considerado que el grupo familiar que habitará la vivienda pertenece a un nivel socio-cultural habituado a un régimen de vida que incluya en la vivienda las funciones típicas del trabajo doméstico, depósito y almacenaje de equipos, herramientas y vehículos, higiene, reposo y la alimentación de sus ocupantes, la vida de relación familiar con actividades de distracción y sociales. Para ello la vivienda deberá contar con espacios destinados a preparación, lavado y cocción de alimentos; lavado y secado de ropa, vajilla e implementos del hogar, despensa para alimentos y artículos

de limpieza; cochera para vehículos; almacenaje de combustibles y semillas; siembra, cuidado y cosecha de algunos productos hortícolas, plantación y cuidado externo de especies vegetales, así como mantenimiento de plantas interiores. Todas las actividades mencionadas corresponden a la función trabajo doméstico, que sería desarrollada por el grupo familiar. También se ha considerado la inclusión de actividades laborales extradomésticas, estudio, tareas educacionales para los hijos que habitarán la vivienda y las de tipo técnico profesional de los padres limitadas a trabajo intelectual pero sin atención de servicio al medio.

Para el reposo del grupo familiar deberá disponer la vivienda de un número de habitaciones que brinde recintos para una familia tipo. Si ocasionalmente, sea por visita de miembros familiares o por dificultades de transporte, se requiere disponer de lugares de reposo extra, la vivienda deberá contar con posibilidades de alojamiento circunstancial para dos personas más.

Para su alimentación el sector comidas diarias preverá un número de 4 a 6 personas habituales y máximo, ya que de crecer dicho número, el espacio destinado a actividades sociales deberá absorber los comensales ocasionales. En este último aspecto, atendiendo a la organización social contemporánea, el criterio de recepción parte del principio informal, sin mayores reglas de etiqueta y con participación de la totalidad como servidores activos.

Se estima que la vida de relación familiar debe practicarse permanentemente y en acción continuada en toda la vivienda, pero una de las áreas importantes debe estar destinada a la conversación, juegos, lectura, audición y ejecución de música. Esta área dinámica de la actividad familiar diaria se verá incrementada en otras oportunidades por la presencia de visitas, por lo que su dimensión debe ser lo más amplia posible.

La práctica de actividades de distracción incluirá además de los juegos y música mencionados, otros aspectos como manualidades y oficios que deberán tenerse en cuenta como funciones de la vivienda.

Algunos sectores exteriores deberán destinarse a huerta familiar para la obtención de productos comestibles cuyas variedades permitirán redefinir las posibilidades que en dicho sentido brinde la Puna a nivel familiar. Como complemento podría disponerse de sectores para cuidado de especies de granja.

Las actividades funcionales se desarrollarán en recintos cuyos tamaños dependerán de la intensidad de uso que se haga de los mismos, de la interconexión estructural, ya sea interna como externa, de la relación con el medio, no solo desde el punto de vista físico sino psicológico-social. Dentro del aspecto físico se debe tener en cuenta el emplazamiento de la vivienda en un clima inhóspito, distante 15 km de un asentamiento humano y con un vínculo de comunicación que en ocasiones aísla el medio familiar. En este sentido se ha juzgado de significancia adoptar patrones espaciales generosos, sin que los mismos puedan producir en sus ocu-

pantes sensaciones de vacío o soledad, inhabituales en quienes culturalmente conserven una vivencia urbana o semiurbana. (tabla VII).

3.2 La elección del sistema mencionado de utilización de energía solar para la calefacción así como para la instrumentación de los servicios de calentamiento de agua juega un papel preponderante en la geometría de la construcción.

Claro que a estas consideraciones, debemos sumarle otras muy importantes, como ser los materiales componentes, quiénes erigirán la construcción, el sistema de sostén, las condiciones del suelo y subsuelo, entre otros que se refieren a los aspectos físicos. También deben tenerse en cuenta los relacionados con la expresión, semántica e impresión de lo que se construya. De entrada se debe juzgar cual será el grado de comportamiento de los ocupantes, ya que la reacción del medio es inicialmente nula, pues no pertenece a un lugar habitado y sus ocupantes vivirán aislados de una comunidad.

El empleo de un sistema pasivo de energía solar, que no requiere mantenimiento ni operaciones complejas por sus ocupantes, la utilización de un diseño rústico que posibilite el empleo de mano de obra no especializada para neutralizar rangos de imperfección en medidas, ajustes y mecanización de sus componentes, la incorporación de materiales usuales o típicos de la zona rescatando un uso tradicional de elementos integradores del paisaje definen las premisas geométricas del presente caso.

Al utilizar energía solar para calefaccionar los diferentes ambientes de la construcción, y determinada aquella por un sistema pasivo empleando muros colectores Trombe-Michel, quedan definidos dos frentes de la construcción que a su vez condicionan el distanciamiento de los otros dos restantes para que el balance térmico resulte compatible con el volumen habitable, las condiciones climáticas de su latitud, vientos perjudiciales, asoleamiento y demás aspectos que determinan la morfología de la vivienda tanto para la alternativa I como para la II (gráficos 3 y 4).

Igualmente, el sistema constructivo reduce las formas a paralelepípedos sencillos de ortogonalismo tridimensional, compatible a su vez con los materiales disponibles en la zona. Quizás se podría argüir que tanto el adobe, como piedra, materiales ambos de uso tradicional, permiten adoptar para el diseño una forma plástica-escultórica blanda y sin aristas rectilíneas. En este caso, dicho criterio sería aplicable para el caso de ámbitos no cubiertos que no requieren de un techado laminar rectangular, como en el caso de las chapas galvanizadas comunes o madera estructural de sostén.

El tamaño de la forma final resulta de mayores dimensiones que las habituales de un territorio urbano, limitado generalmente por el tamaño de los lotes. En estos casos, sin entrar en consideraciones de definir una calidad de vida, al emplazar una construcción entre otras, el conjunto edificado integra un medio ambiente condicionador de cada vivienda en sí. (gráfico 2).

3.3 El propósito de resolver en el futuro un grupo habitacional tanto permanente, como semipermanente para el personal destacado en el lugar, cuyas viviendas, oficinas, laboratorios y servicios de apoyo deben mejorar sus calidades de ocupación actual originará vínculos entre las construcciones proyectadas y el medio que le servirá de receptáculo.

Este prototipo de vivienda contiene entonces dos propósitos: un objetivo inmediato para lograr un grupo habitacional que posibilite la radicación de técnicos que estudiarán la situación de la Puna Argentina desde el punto de vista agronómico y otro ulterior de alcance mucho más amplio, ya que la importancia del diseño encarado brindará información fehaciente para formular un programa habitacional con aporte de solución a problemas geopolíticos, por vecindad fronteriza y espacios vacíos inhóspitos que en la actualidad caracterizan toda la región.

La obtención de espacios descubiertos circundantes a la vivienda pretende ensayar un micromedio ambiente que proteja a los ocupantes de la misma de vientos molestos, a cuyo abrigo además puedan crecer plantas con tendidos de sombra, especies hortícolas para consumo familiar y un sector verde de jardinería. Con ello se conseguiría aumentar el tamaño "vivable hogareño", aunque reconociendo que exigirá el gasto energético humano correspondiente. Se incorporaría una dinámica, dentro del condicionamiento de la elevada altitud, que deberá ser estudiada. Si, además, se agregan otras fuentes de energía no convencionales como biogas o eólica, sería necesario e integrable un incremento de superficie "urbanizada" por vivienda para atender estas nuevas relaciones (gráfico 5).

Si por una parte la mayor superficie cubierta brinda más masa pasiva para acumular y recircular aire calefaccionado, el espacio interior generoso contribuye a su uso de manera más fluida y por mayor número de horas, de estrechez menos agresiva, con flexibilidad de su ordenamiento (y desordenamiento) interior. En cuanto a los trabajos de limpieza y acomodamiento periódico, la experiencia profesional ha demostrado ser más fácil mantener higienizado y "aparentemente" ordenado un recinto amplio, que uno de reducidas dimensiones que expresa un "amontonamiento" de equipos domésticos, de adornos y personas. Se pretende que el ingreso a la vivienda brinde a su usuario la sensación de bienestar, sin encierro, con deseos de permanencia por el mayor número de horas posible, coadyuvando de esta manera a que las actividades domésticas, dentro del "tempo puneño", ocupen un amplio período de horas cada día.

4.- Muros Trombe-Michel

Existen medidas de prototipos experimentales (8) sobre muros construídos en ca sas solares en Chauvency - le - Chateau (1967) y Odeillo (1974), Francia (9). Para Abra Pampa hay diferencias considerables con los modelos anteriores tanto en latitud como en las temperaturas exteriores por lo cual fue necesario realizar un modelo computacional que permitiera estimar su comportamiento en disting

tas épocas del año para diferentes orientaciones. El modelo matemático utilizado (figura 7), en el que los cálculos se hacen por unidad de área de muro colector, tiene en cuenta las transferencias conductiva, convectiva y radiativa. Los coeficientes de transmisión con asterisco representan términos mixtos de convección y radiación. Se ha tenido en cuenta la acumulación de energía tanto en el muro como en el total de la casa. Para el coeficiente de transmisión directa por ventiletes (8) se ha calculado el gasto volumétrico de aire mediante un coeficiente proporcional a

$$\frac{|T_5 - T_2|^{1/2}}{T_5}$$

La temperatura T_5 es un promedio de la temperatura del aire en la parte inferior y en la superior del muro.

Desde el punto de vista del cálculo el sistema a resolver está compuesto de un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales, ya que la variación espacial se tiene en cuenta dividiendo al muro en 6 láminas, y un sistema de ecuaciones algebraicas (no lineales debido a los términos de radiación T^4 y al término de convección directa) al que se aplica un proceso iterativo. Varias subrutinas permiten elegir distintos esquemas de apertura y cierre de los ventiletes.

Un cálculo previo estima la radiación incidente sobre la superficie oscura según el ángulo de incidencia que depende de la latitud, la fecha y la hora del día. En algunos días de verano los muros norte sólo reciben radiación difusa. En este caso se usa un coeficiente global para la transmisión.

En la figura 8 se muestran los perfiles de temperatura del muro a distintas horas y en la figura 9 el calor entregado a la casa en total en cada hora para muros de 30 y 45 cm de espesor, observándose la diferencia introducida por el aumento de grosor y finalmente la figura 10 muestra la variación de los rendimientos con la época del año, la orientación y la temperatura mínima exterior. Los rendimientos resultan menores en las épocas en las que la radiación también es menor (N-verano, W-invierno) lo que aumenta la diferencia del aporte absoluto.

Todos los cálculos han sido realizados para valores de las propiedades térmicas correspondientes a muros de piedra, que son similares a los de hormigón.

5.- Análisis económico y térmico global

En toda la literatura referente a casa solares se hace hincapié en que antes de entrar a considerar el aporte solar es necesario disminuir al mínimo las pérdidas térmicas de la vivienda. Antes de analizar cómo hacer el aporte, minimizarlo dentro de lo económicamente conveniente.

Partiendo de la base de que es necesario colocar aislación en paredes, techo y piso se ha realizado el siguiente análisis; (Los precios usados correspon-

den a los del comercio de Salta a la fecha. Idem para el precio del dólar).

a) Sobrecosto estimado del muro Trombe-Michel sobre uno convencional U\$S 50/m² (incluye doble vidrio, estructura de madera para soportarlos, sobrecosto de construcción por los ventiletes, registros).

b) Ahorro de combustible en kg en los meses de invierno por unidad de área:

$$\text{Ahorro} = \frac{20.000 \times 0,3 \times 90}{0,75 \times 40.000} = 18 \text{ kg/m}^2 \text{ invierno}$$

Capacidad calorífica del combustible = 40.000 KJ/kg = 10.000 Kcal/kg

Rendimiento de la combustión = 0,75

Radiación incidente en invierno = 20.000 KJ/m² dfa = 5.000 Kcal/m² dfa

Rendimiento promedio del muro = 0,3

Número de días de invierno = 90

c) Ahorro = U\$S 0,18 x 18 = U\$S 3,25 por invierno y por m² de muro.

Precio del kg de combustible = U\$S 0,18

(En el presente cálculo no se ha tenido en cuenta el aumento del combustible en dólares).

La amortización del sistema pasivo se realiza en aproximadamente 15 años.

Con respecto a los espesores convenientes desde el punto de vista económico para la aislación, corresponde hacer las consideraciones siguientes:

(Para el aislante (poliestireno expandido) se toma una conductividad de 0,045 W/m² ° C aconsejado para tener en cuenta su envejecimiento).

Para los 3.500 ° dfa anuales, el ahorro al pasar de 5 a 10 cm de aislante es:

$$\begin{aligned} \text{d) Ahorro} &= 3.500 \times 3.600 \times 24 \times (0,9 - 9,45) \cdot 10^{-3} = 1,36 \cdot 10^5 \text{ KJ/año m}^2 = \\ &= 3,4 \times 10^4 \frac{\text{Kcal}}{\text{año m}^2} \end{aligned}$$

$$\text{e) Ahorro} = \frac{1,36 \times 10^5}{40.000} = 3,4 \text{ kg combustible/año m}^2$$

$$\text{f) Ahorro} = \text{U\$S } 0,18 \times 3,4 = \text{U\$S } 0,61 / \text{año m}^2$$

Costo incremento aislación/m² = U\$S 4,6

que se amortiza aproximadamente en 7,5 años.

Conviene compararlo también con la alternativa de colocar un muro Trombe-Michel.

Un m^2 de muro Trombe N ahorra por aporte en un invierno US\$ 3,25 en combustible y US\$ 0,61 por no tener pérdidas, o sea US\$ 3,86, siendo su costo de US\$ 50/ m^2 .

La relación ahorro anual/costo resulta de 0,08 para el muro y 0,13 para la aislación.

Pasar de 10 a 15 cm de aislante ahorra sólo 1/3 de lo que se ahorra pasando de 5 a 10.

Sobre la base de este análisis se ha decidido colocar 10 cm de aislación en paredes, 12 cm en el techo y 5 cm en el piso que por estar en contacto con el suelo, tiene menores pérdidas.

Los coeficientes de transmisión globales elegidos resultan:

techo (chapa + 12,5 cm de aislación) = $0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} = 0,3 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h} \cdot \text{C}$

pared (30 cm piedra + 10 cm de aislación) = $0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} = 0,34 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h} \cdot \text{C}$

piso (12 cm platea de hormigón + 5 cm aislación + 1 m tierra a la napa freática) = $0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} = 0,43 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h} \cdot \text{C}$

Para el análisis térmico de las posibles plantas se han tomado los siguientes coeficientes para el cálculo de otras pérdidas:

Ventana doble vidrio = $2,7 \text{ Kcal/hm}^2 \cdot \text{C}$

Renovaciones de aire = 1 por hora durante el día

0,5 por hora durante la noche

Se ha dividido el día en 2 períodos:

Día - 9 hs. de duración

9° C en invierno

21° C en verano

Noche - 15 hs. de duración

-10° C en invierno

11° C en verano

Suelo: temperatura: 9° C en invierno

18,5° C en verano

temperatura interior: invierno 18° C

verano: día: 21° C

noche: 18° C

temperatura media: del día de invierno = 2,8° C

del día de verano = 14,7° C

Para el garage se proponen temperaturas de 15° C durante el día y 9° C durante la noche, en invierno.

En la tabla V aparece los valores de cálculo y los resultados de los balances para los dos diseños considerados. En la tabla VI las características del invernáculo. Este último cumple una triple función: permite cierta flexibilidad en los aportes térmicos ya que su ganancia es fácilmente regulable; suministra humedad al ambiente lo cual es muy necesario dada la extrema sequedad del aire de altura agudizada aún por el incremento térmico y proporciona un sistema simbiótico de plantas, tierra y personas visualmente agradable.

6.- Previsiones

En caso de que exista un déficit de calor en el invierno es posible colocar frente a las paredes colectoras una vereda reflectante para aumentar la ganancia. También se preve que parte de las paredes W puedan ser transformadas en colectores aún sin ventiletes, retirando la aislación y colocando el doble vidrio.

En general si existen problemas a nivel de la zona del estar se espera que el invernáculo sirva de regulador, aumentándose o disminuyéndose su aporte hacia el interior.

En una etapa posterior se encarará la factibilidad del uso de metano producido a partir de desechos vegetales y animales.

También se analizará la posibilidad de aprovechar la energía eólica.

REFERENCIAS

- 1) Brevet Anvar Trombe-Michel.
- 2) Datos meteorológicos - Subestación Experimental de Abra Pampa - INTA.
- 3) Alanis E., Fabris A., Gaspar R., Saravia L., Souto J. - Procesamiento y análisis de datos de radiación de la Provincia de Salta - Presentado a la 2ª Reunión de Trabajo de ASADES, Salta 1976.
- 4) De Paul I., Frigerio E., Saravia L. - Simulación numérica de un secadero de tabaco - Presentado a la 4ª Reunión de Trabajo de ASADES, La Plata, 1978.
- 5) Page, J.K. - Geographical variation on the climatic factors influencing solar building design - Fourth course on Solar Energy Conversion, 6-24 Sept 1977 - Trieste.
- 6) A.B.Meinel y M.P.Meinel - Applied Solar Energy: an Introduction.
- 7) K.Y.Kondratyev - Radiation in the Atmosphere. Academic Press, N.Y. 1969.
- 8) Balcomb J.D., Hedstrom J.C., Mc Farland R.D. - Passive solar heating of buildings. Workshop on Solar Energy Applications Associated Universities, Inc, Junio 27 - Julio 31, 1977.
- 9) Trombe R., Robert J.F., Cabanat M., Sesolis B. - Caractéristique de performance des insolateurs équipant les maisons à chauffage solaire du CNRS.

- Gráfico 1 - Situación geográfica de Abra Pampa.
- Gráfico 2 - Ubicación de la vivienda dentro de la Sub-Estación.
- Gráfico 3 - Alternativa de planta I.
- Gráfico 4 - Alternativa de planta II.
- Gráfico 5 - Influencia de los vientos.

- Figura 1 - Porcentaje de días con temperaturas mínimas en el intervalo.
- Figura 2 - Grados-día para el año promedio en cada mes.
- Figura 3 - Temperatura media del suelo a 1 m. de profundidad.
- Figura 4 - Valores medios mensuales de radiación sobre superficie horizontal.
- Figura 5 - Valores de radiación sobre superficies de distinta inclinación y orientación.
- Figura 6 - a - Radiación horaria incidente sobre superficies de distintas inclinaciones y orientaciones en Verano.
- b - Radiación horaria incidente sobre superficies de distintas inclinaciones y orientaciones en Invierno.

Figura 7 - Modelo matemático utilizado en el cálculo

- T_i - temperatura en el nodo
- U_i - coeficiente térmico (* incluye radiación)
- T_1 - temperatura exterior
- T_2 - temperatura interior

- Figura 8 - Temperaturas en el borde interior y exterior del Muro Trombe (30 y 45 cm de espesor).
- Figura 9 - Cantidad de calor horaria entregada al interior en muros de 30 y 45 cm de espesor.
- Figura 10- Rendimiento del muro Trombe según la orientación, la época del año y la temperatura mínima exterior.

Tabla I - Año promedio.

Tabla II - Temperaturas de un día típico de invierno.

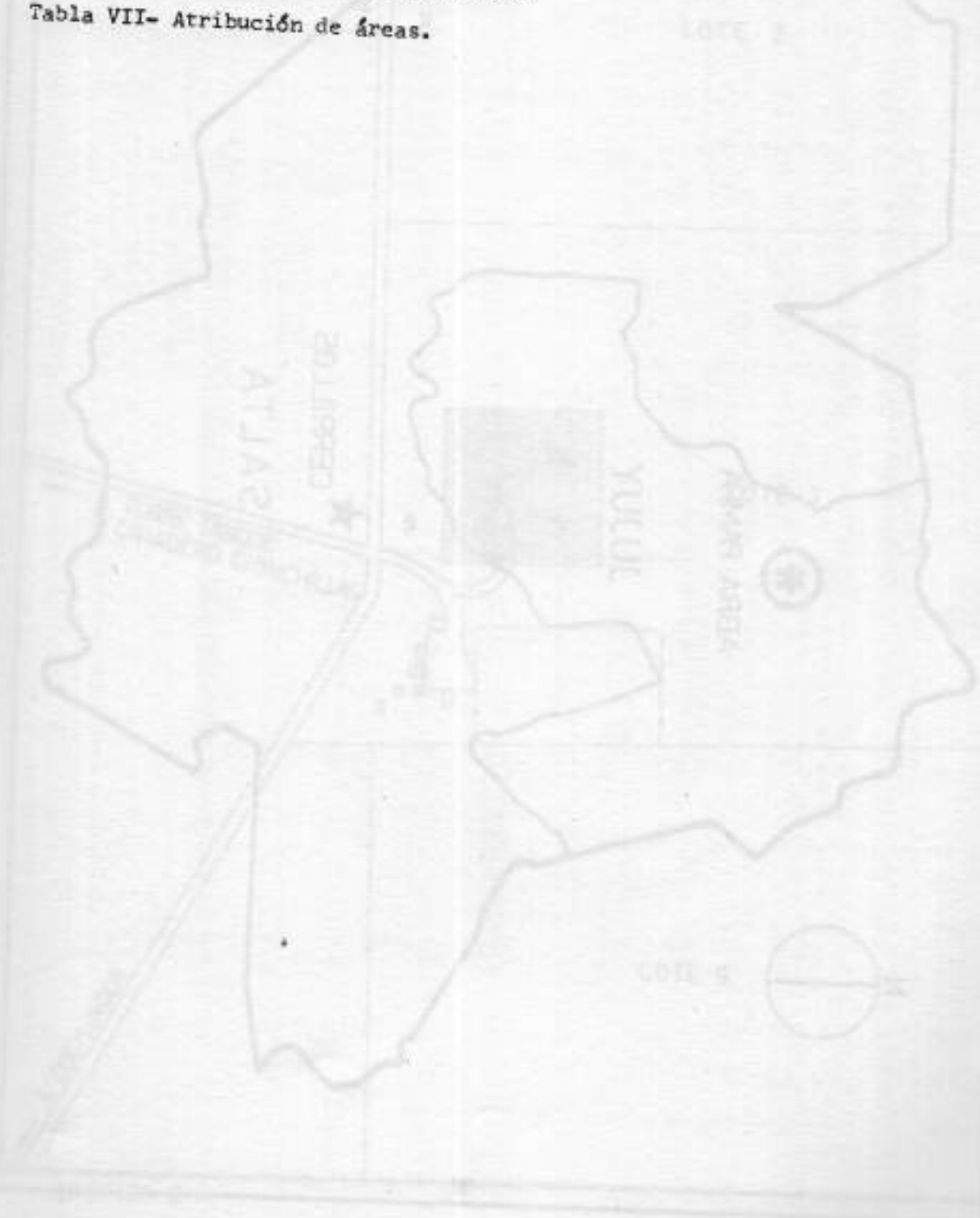
Tabla III - Velocidades medias y frecuencia del viento según la dirección y el mes.

Tabla IV - Relación entre la radiación en zona desértica a nivel del mar y a 3.000 m de altura.

Tabla V - Balance térmico de las alternativas I, II y del invernáculo en invierno y verano.

Tabla VI - Descripción del invernáculo.

Tabla VII- Atribución de áreas.



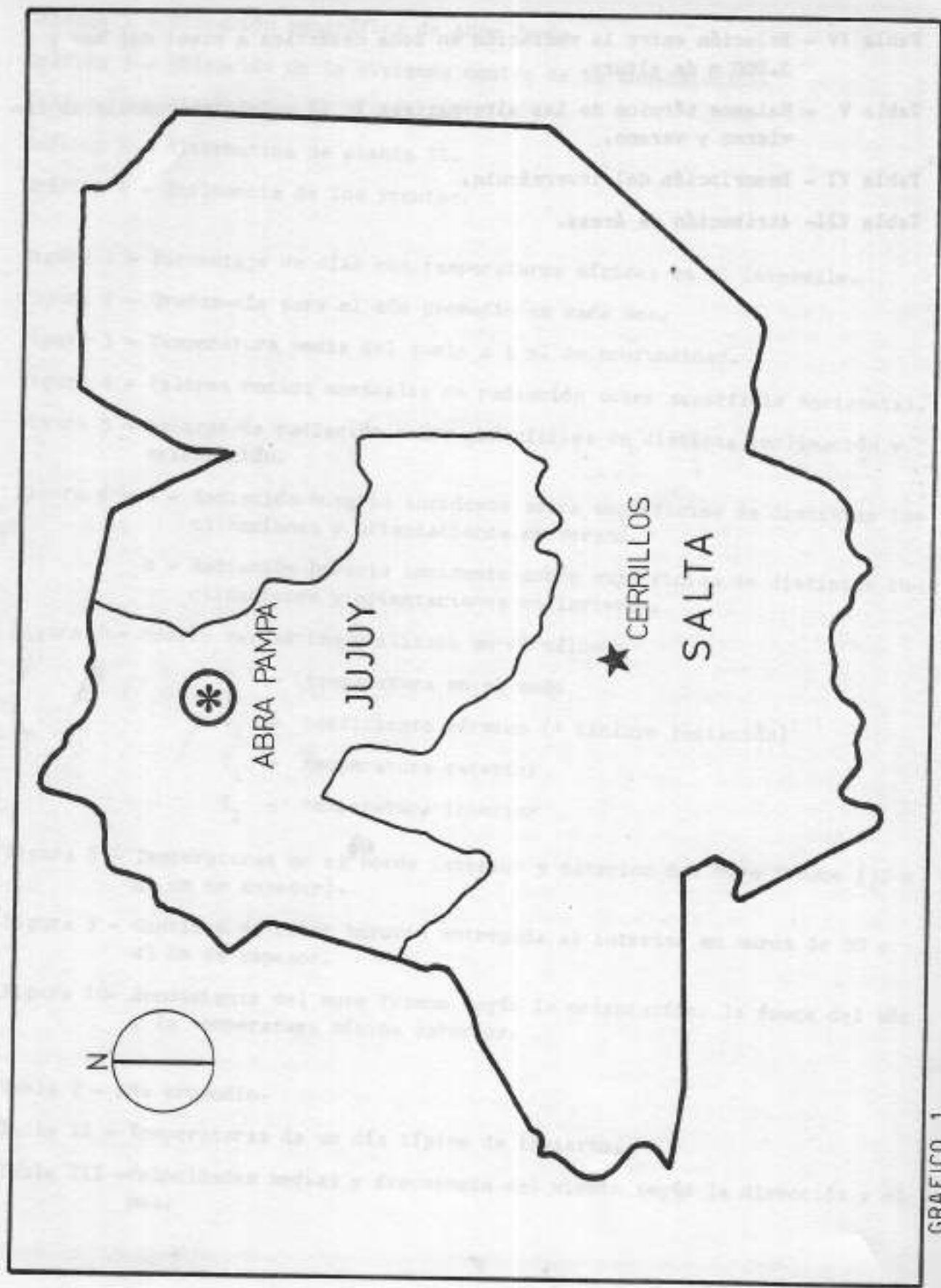


GRAFICO 1

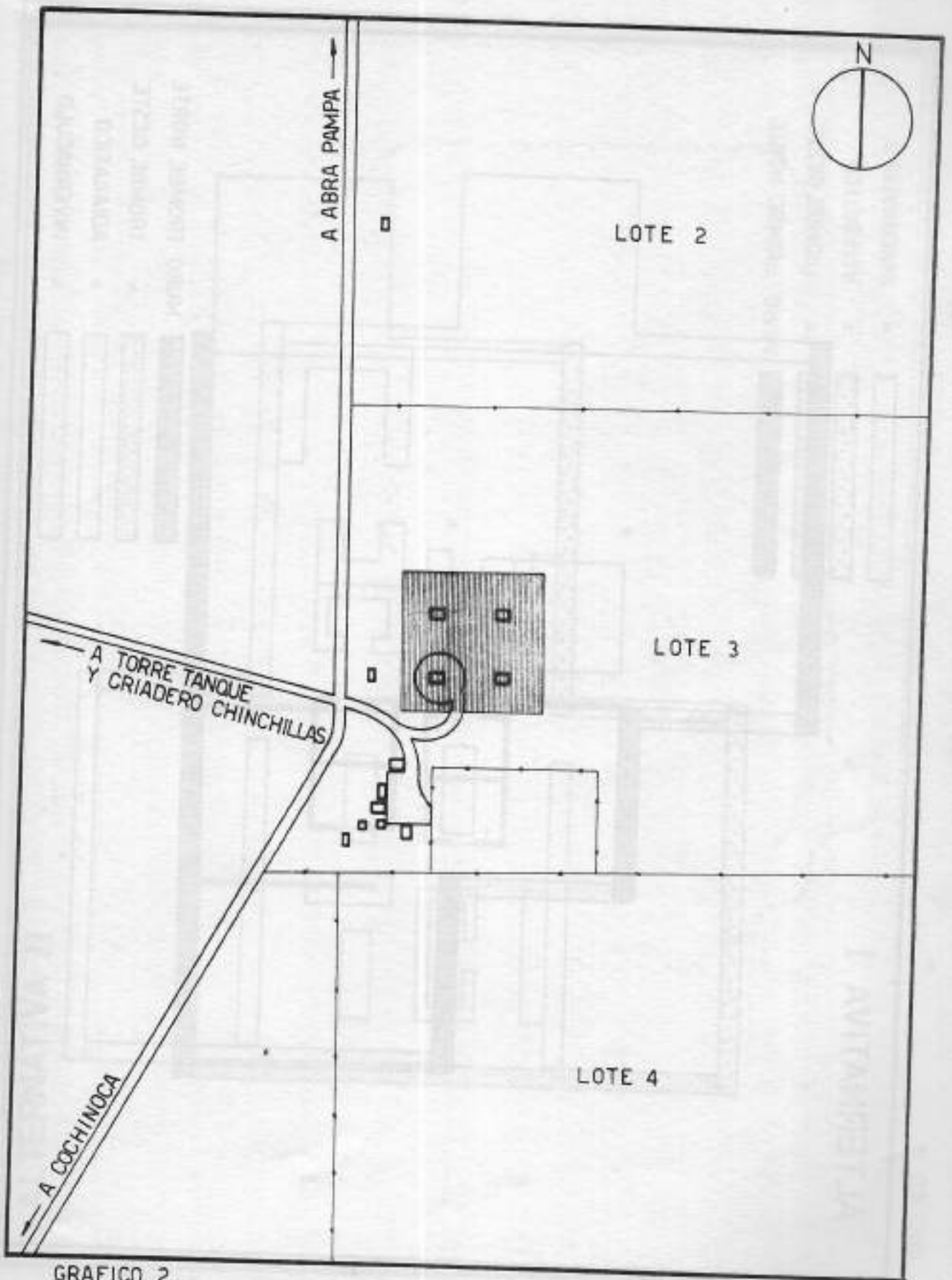
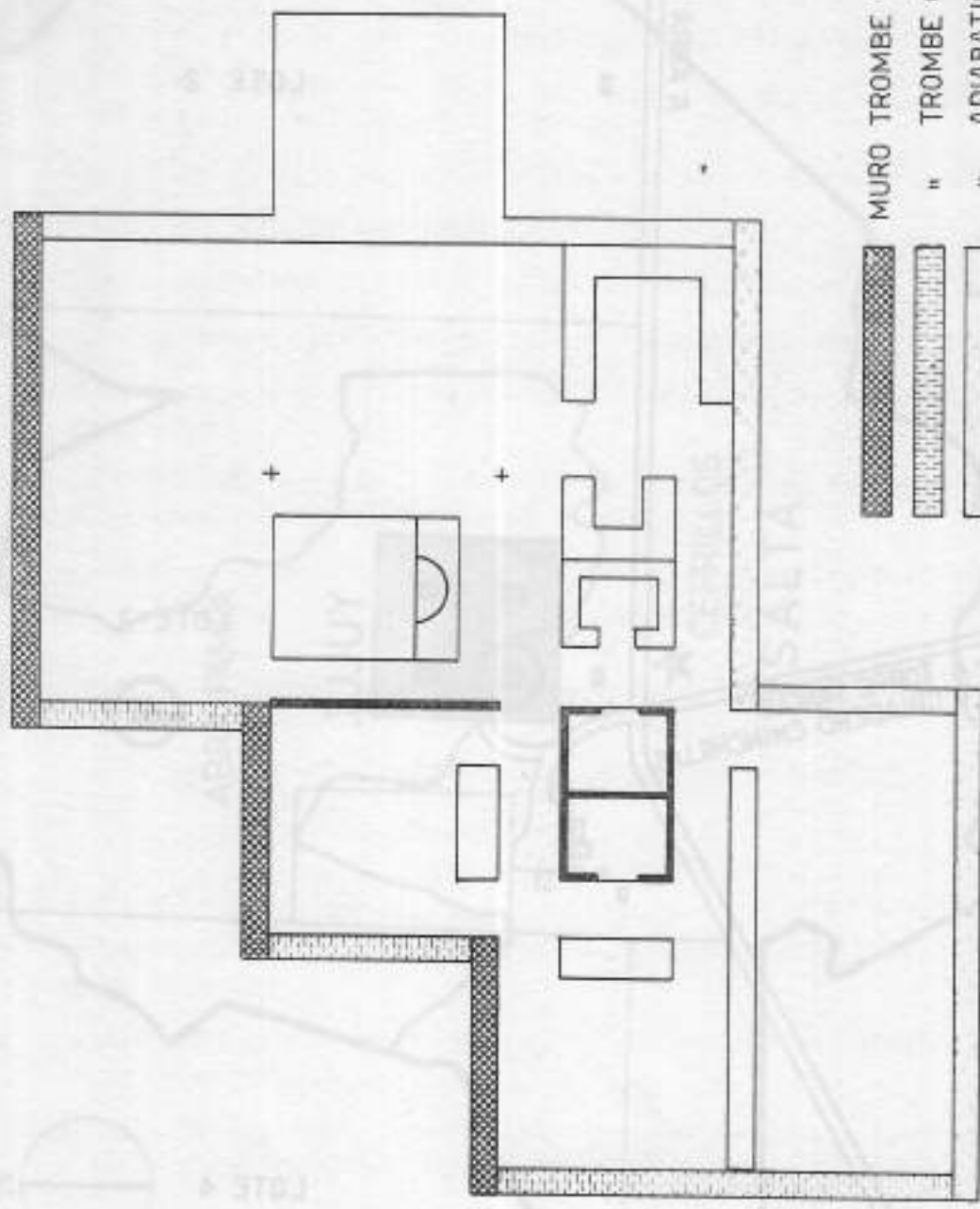


GRAFICO 2

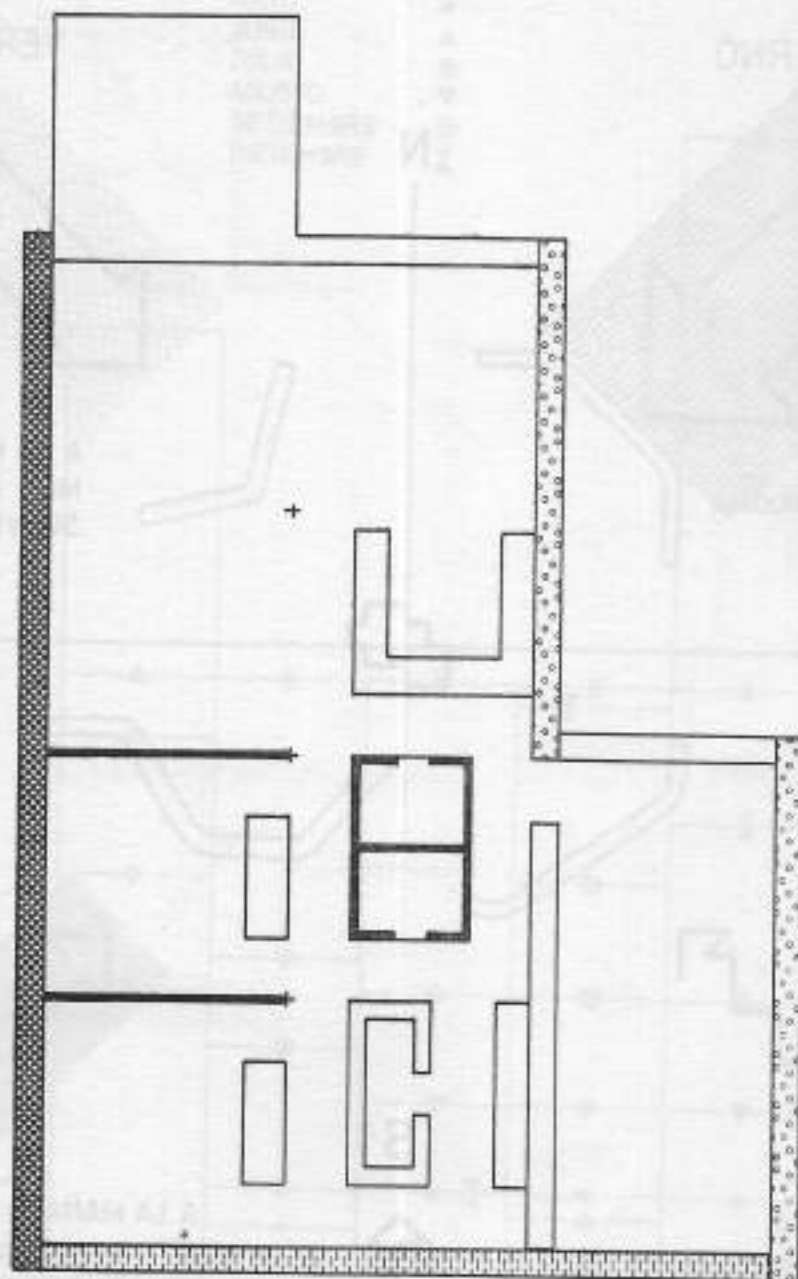
ALTERNATIVA I



- MURO TROMBE NORTE
- " TROMBE OESTE
- " ADIABATICO
- " INVERNACULO

GRAFICO 3

ALTERNATIVA II



- MURO TROMBE NORTE
- TROMBE OESTE
- ADIABATICO
- INVERNACULO

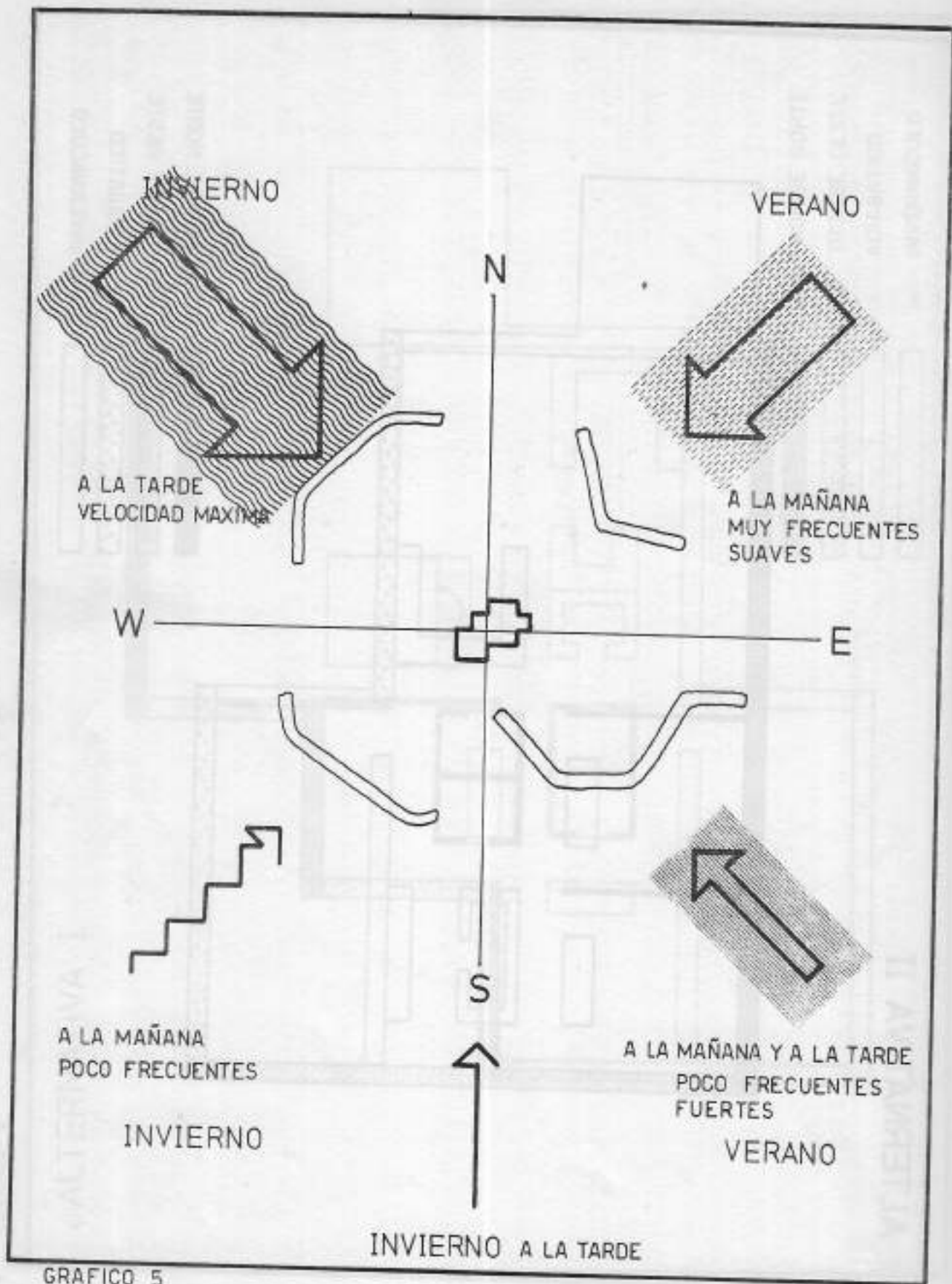


GRAFICO 5

PORCENTAJE DE DIAS
EN EL MES

%

ENERO
FEBRERO
ABRIL
MAYO
JUNIO
JULIO
AGOSTO
SEPTIEMBRE
DICIEMBRE

□
△
x
o
△
□
▽
⊙
x

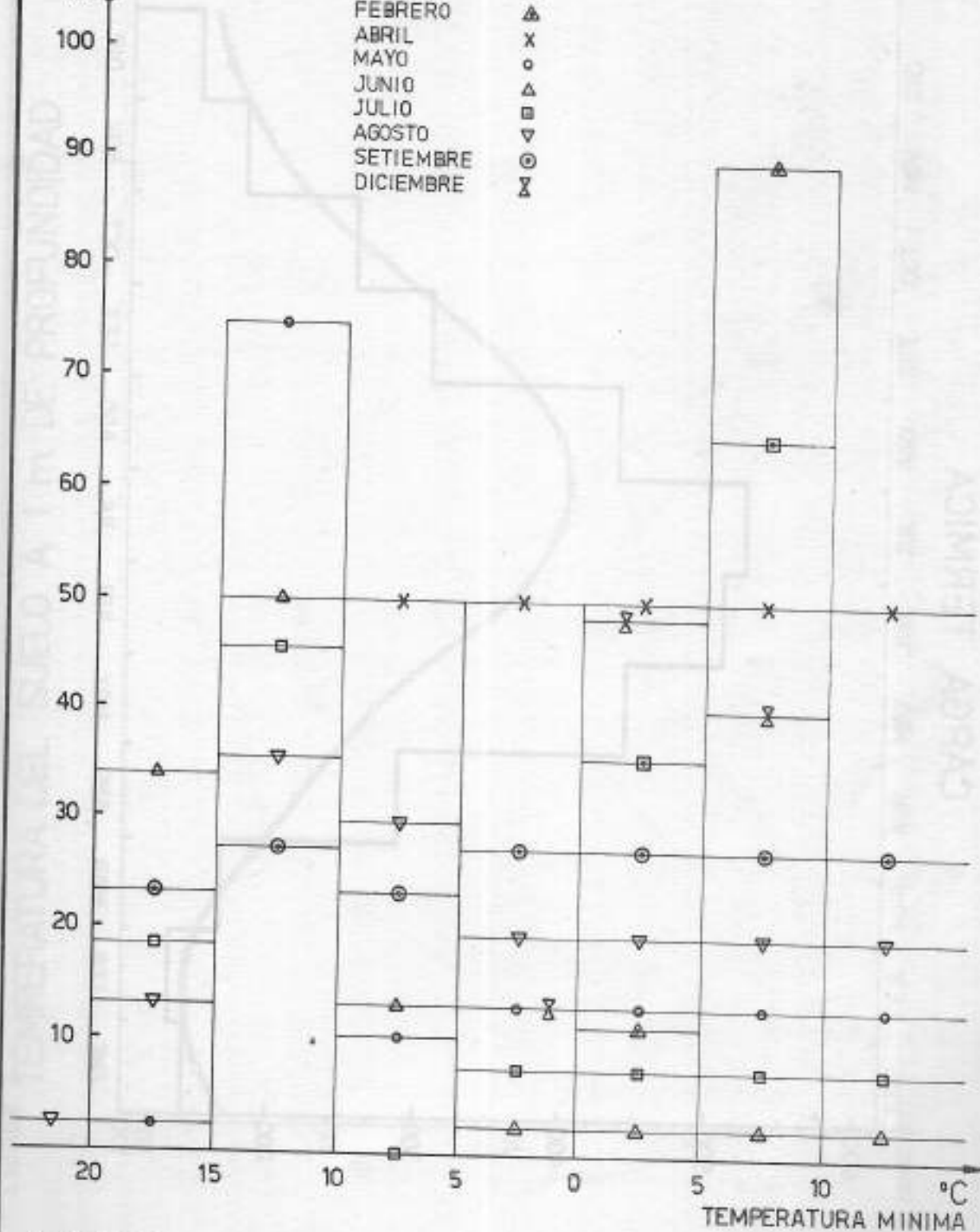


FIGURA 1

CARGA TERMICA

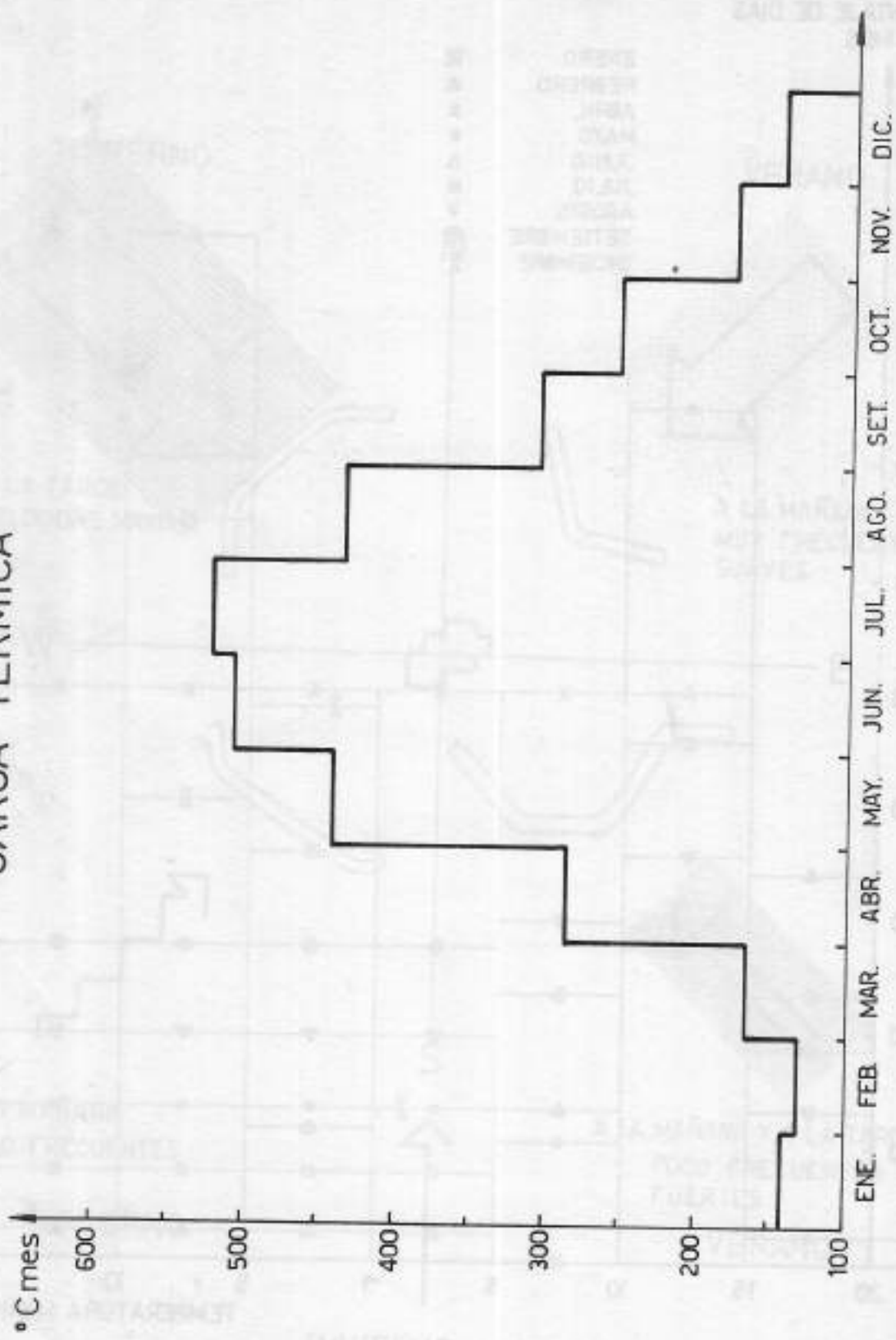


FIGURA 2

TEMPERATURA DEL SUELO A 1 m DE PROFUNDIDAD

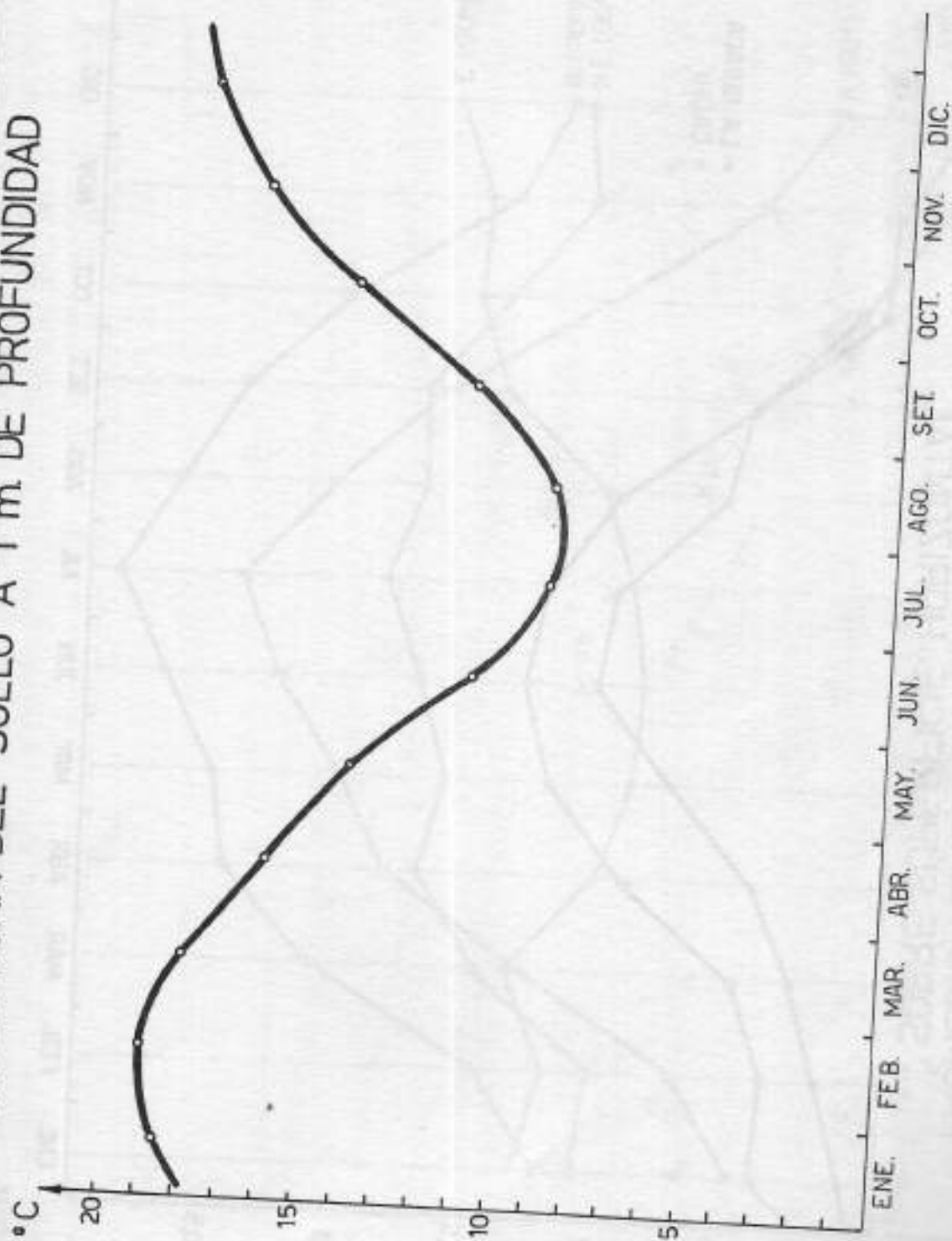


FIGURA 3

PROMEDIO MENSUAL DE RADIACION GLOBAL
 SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL

$\times 10^4 \text{ KJ}$
 $\text{m}^2 \text{ día}$

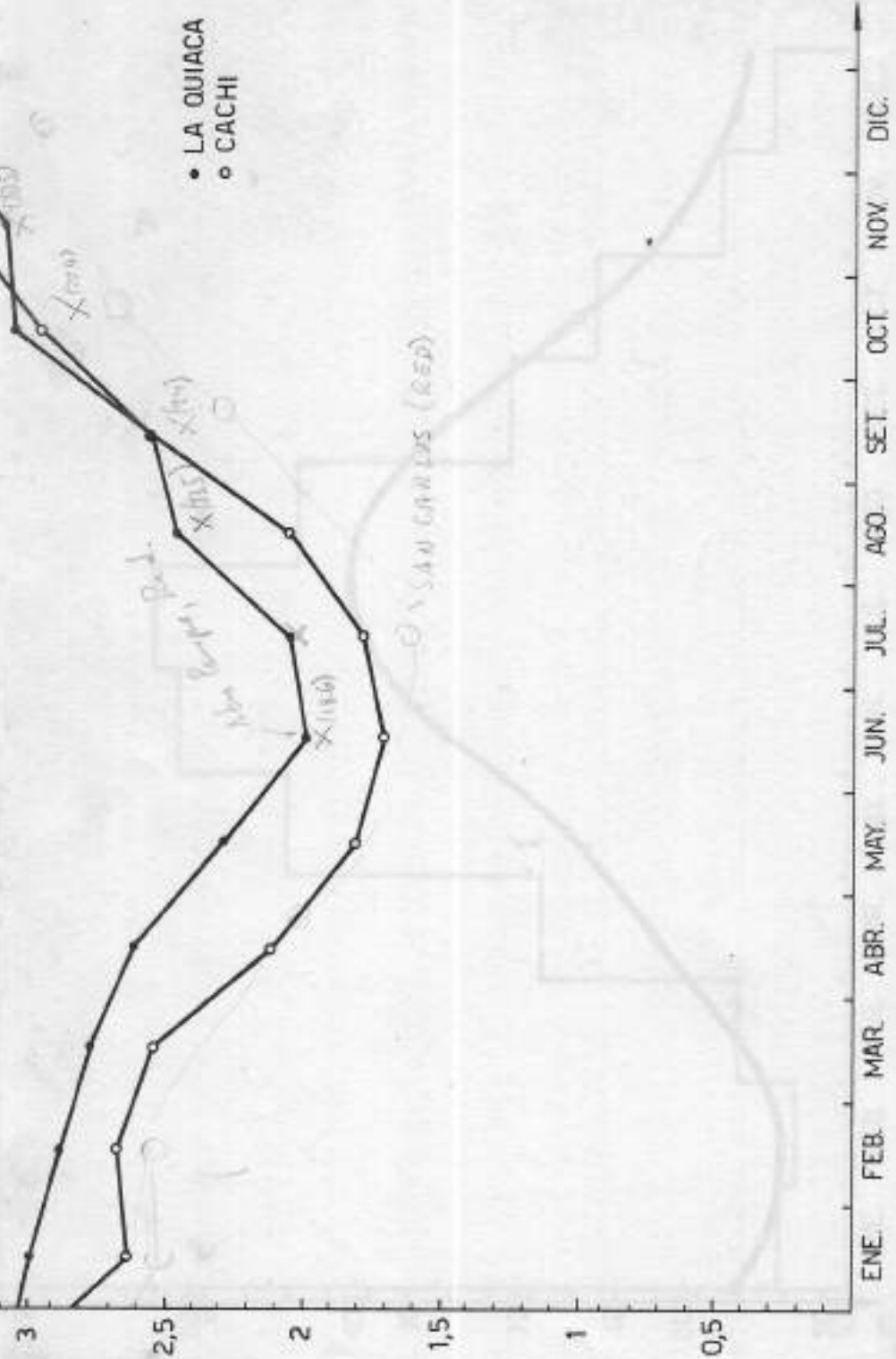


FIGURA 4

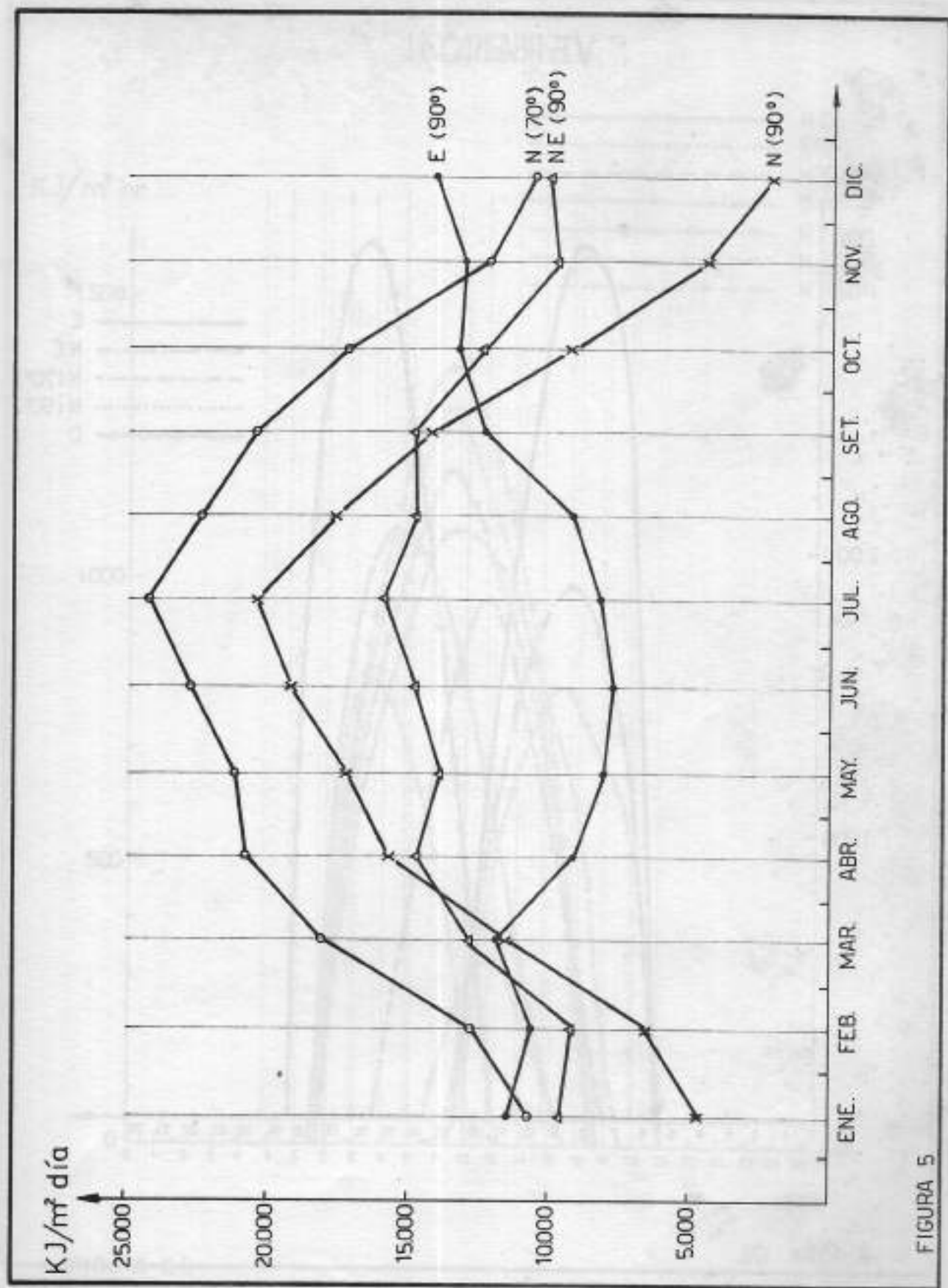


FIGURA 5

VERANO

KJ/m² hr.

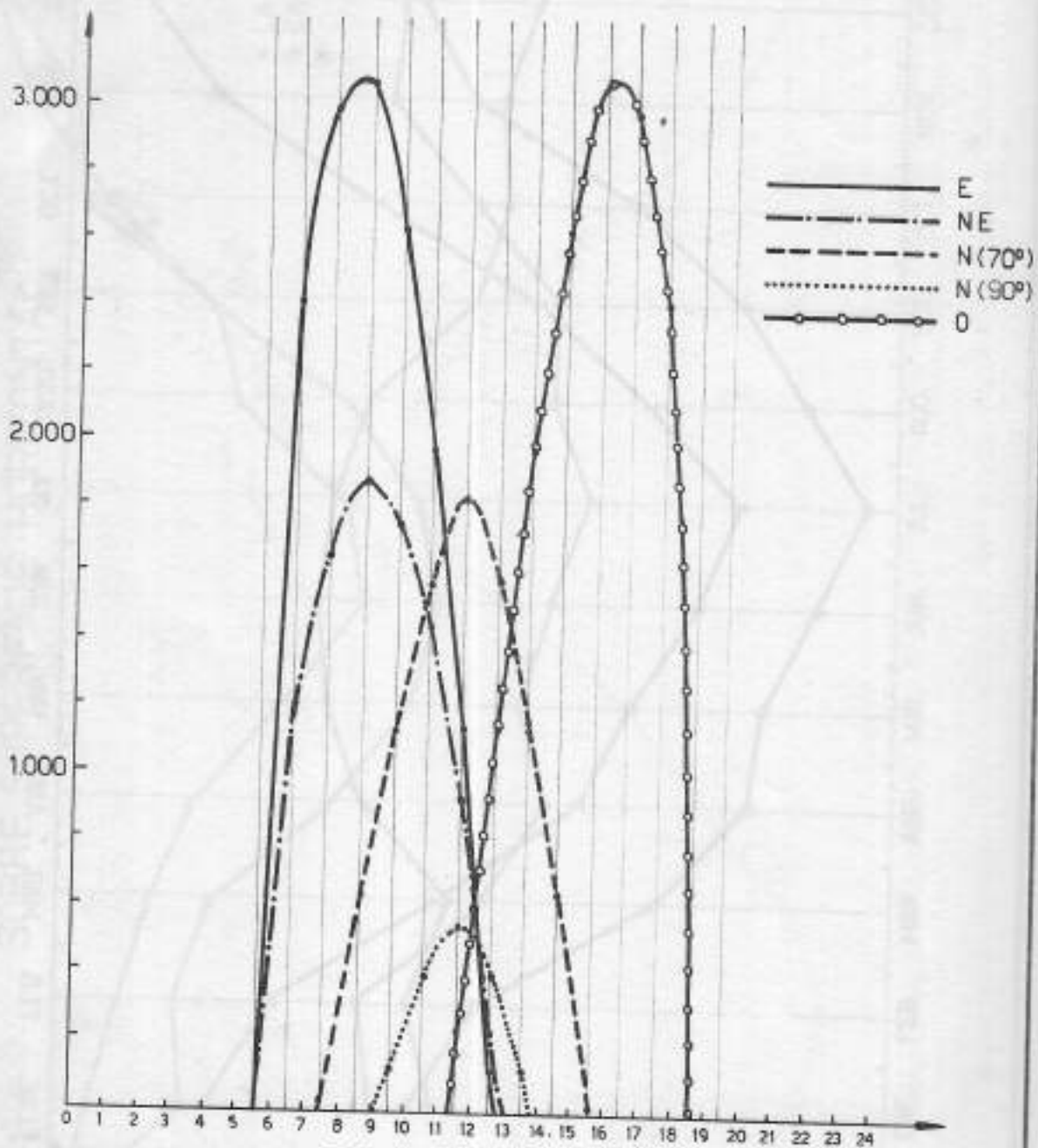


FIGURA 6a

INVIERNO

KJ/m² hr

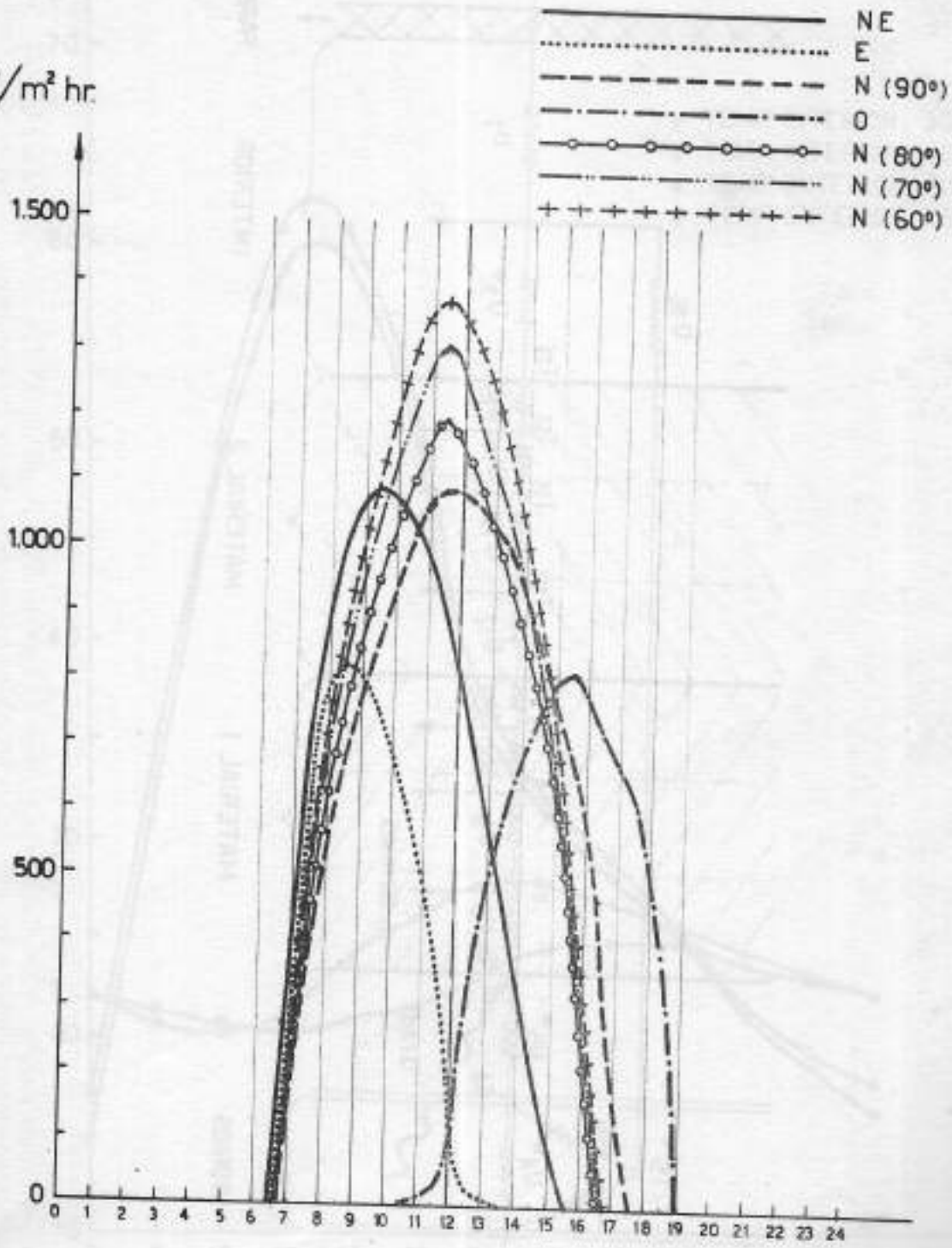


FIGURA 6 b

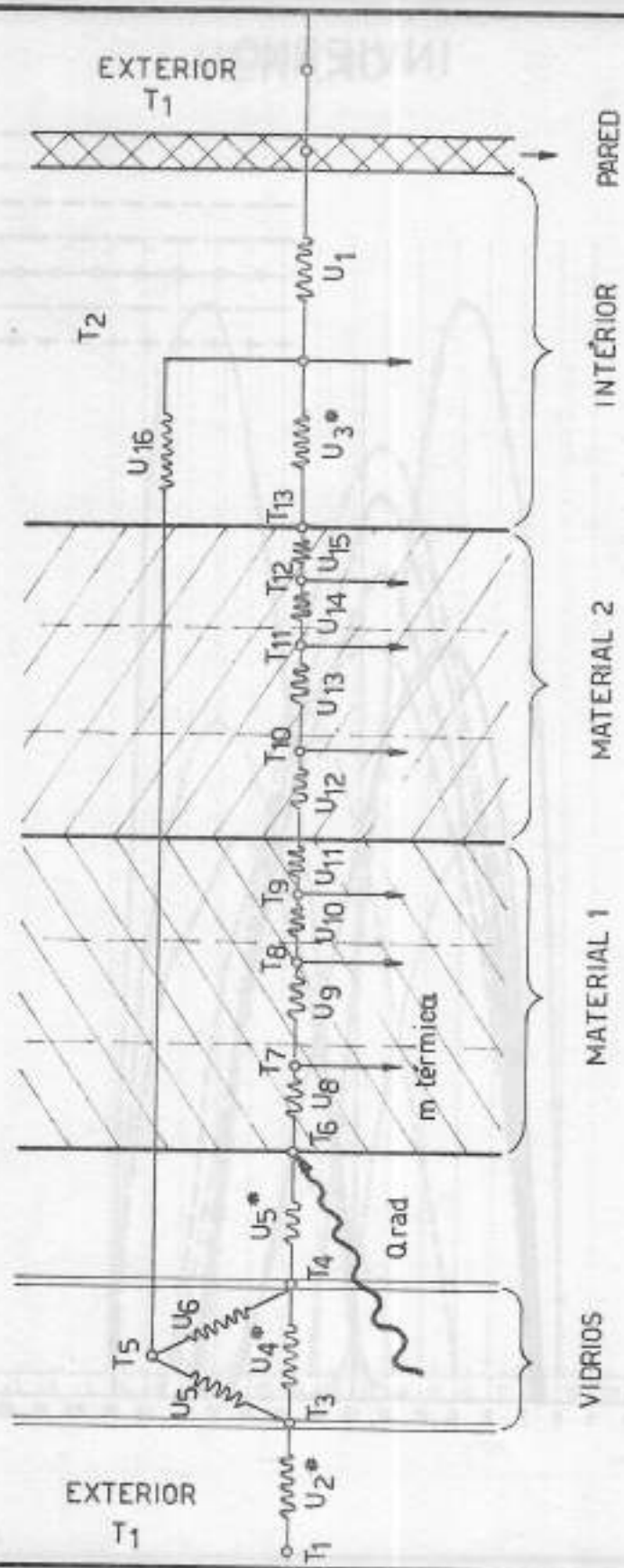


FIGURA 7

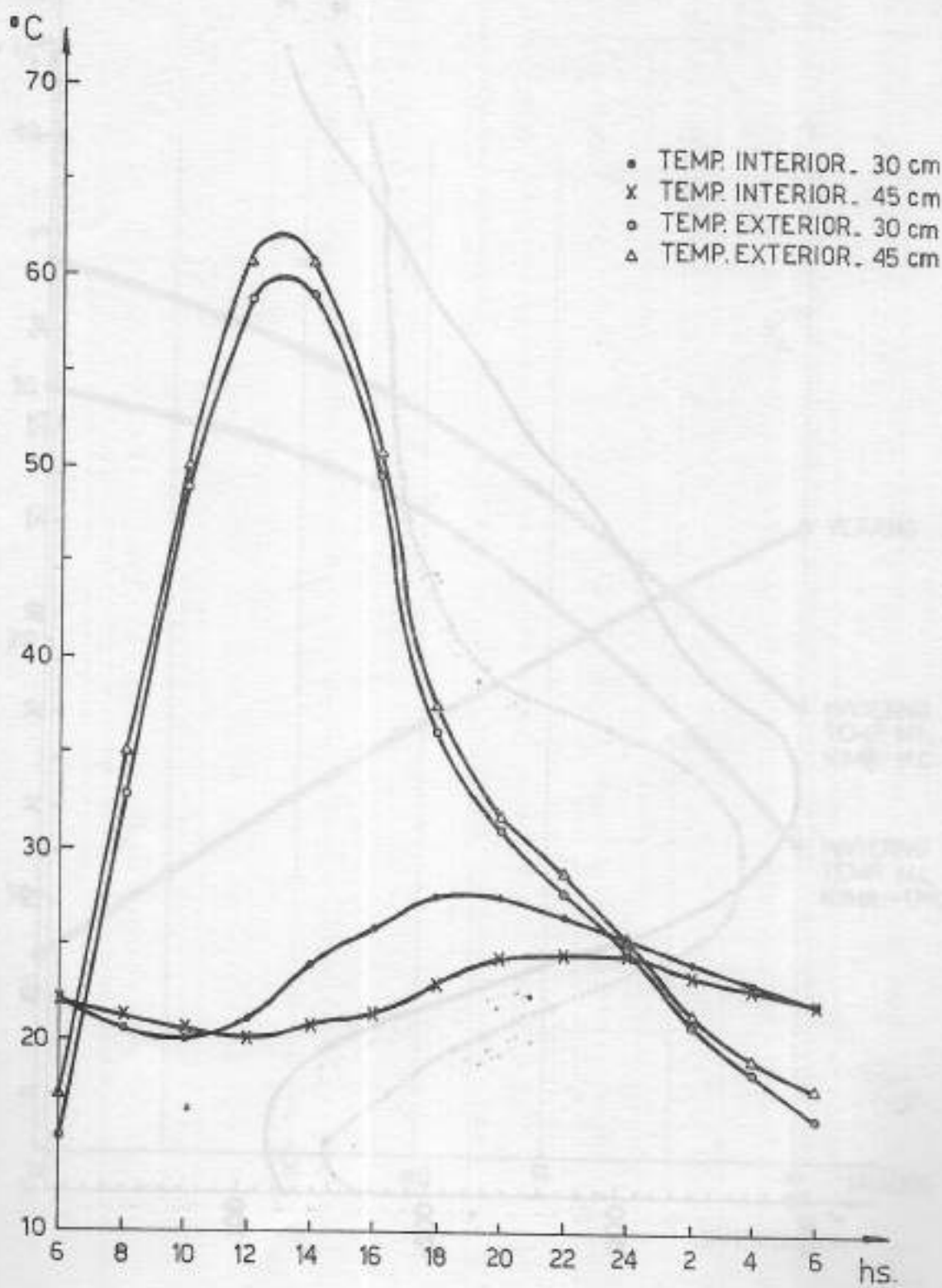


FIGURA 8

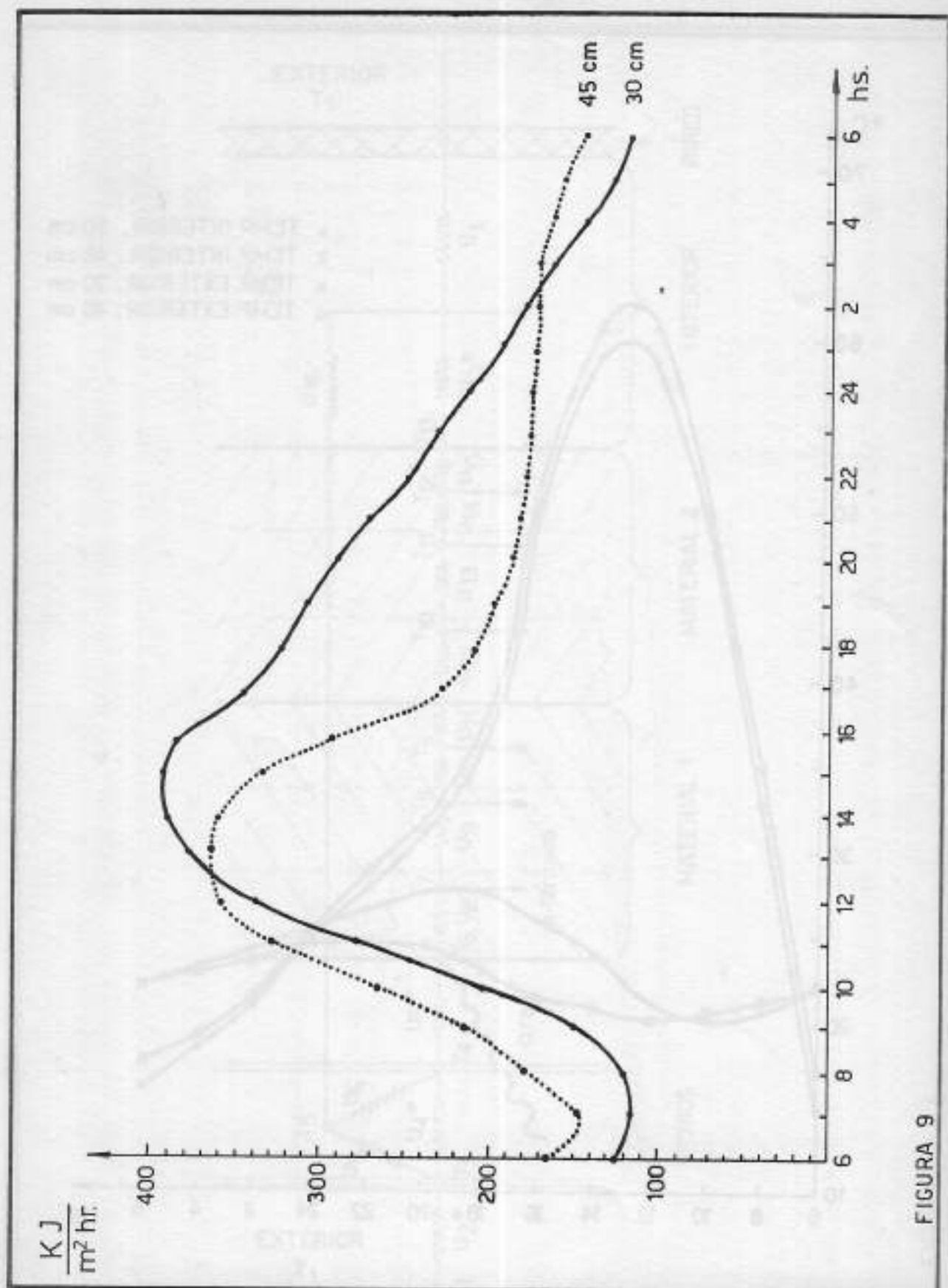


FIGURA 9

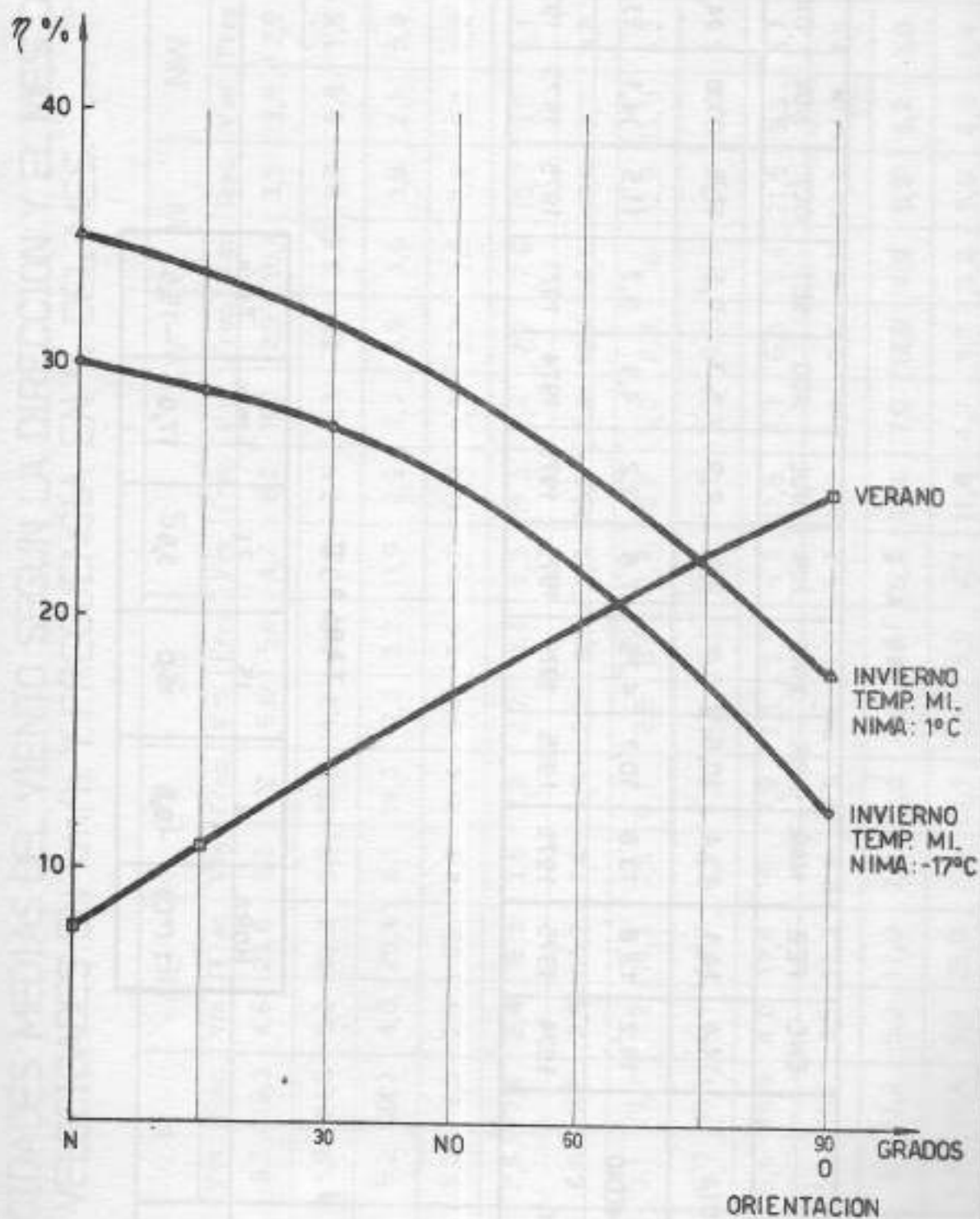


FIGURA 10

TABLA I

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
MEDIA	14,4	14,1	13,4	10,6	5,0	2,3	1,9	5,3	9,5	11,5	13,8	14,5
AÑO PROMEDIO	14,2	13,8	13,8	10,7	4,75	1,8	2,2	4,3	9,7	11,5	14,1	13,7
AÑO	1974	1975	1975	1975	1975	1975	1973	1974	1973	1975	1973	1974

TABLA II

HORA	9	15	21	T máx.	T mín.
t (°C)	-8,5	15,0	3,5	17,0	-15,5

TABLA III

VELOCIDADES MEDIAS DEL VIENTO SEGUN LA DIRECCION Y EL MES DEL AÑO. VELOCIDADES EN km/h. Y FRECUENCIA EN % DEL MES.

	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		CALMA
	V.m	Frec.	V.m	Frec.	V.m	Frec.	V.m	Frec.	V.m	Frec.	V.m	Frec.	V.m	Frec.	V.m	Frec.	
ENERO	6,1	19,3	4,6	23,6	6,2	22	5,6	5,4	4,2	8,2	10,1	2,9	10,4	3,5	3,5	2,9	6,1
FEBRERO	5,9	24,6	5,2	30,2	6,5	13,5	4,2	4,8	3,7	7,1	4,3	7,1	3,6	6,7	5,8	1,6	4,4
MARZO	5,2	23,3	4,0	29,4	6,1	19,3	12,3	3,2	11,9	2,9	2,3	3,9	3,6	3,6	2,1	5,8	5
ABRIL	5,3	15,9	3,5	23	4,7	10,4	3,4	5,6	3,7	14,4	3,7	6,7	5,6	7,8	6,3	2,2	8,1
MAYO	2,5	7,9	2,4	16,8	3,5	7,2	2,7	10,4	4,3	19,3	2,4	7,2	7,6	10,7	3,5	2,1	18,3
JUNIO	6,6	6,7	2,5	10,7	2,4	5,9	2,6	5,5	3,3	15,2	3,6	10,4	8,7	17,8	7,7	4,4	23,3
JULIO	3,1	9,7	2,2	14,3	2,6	6,1	2,5	8,5	3,4	16,8	5,2	8,2	10	12,9	13,9	3,3	30,5
AGOSTO	6,9	13,3	4,1	14,7	4,5	6,4	4,1	6,8	4,2	14,7	5,3	9,0	13,0	16,8	11,3	5,5	13,3
SETIEMBRE	6,6	15,9	4,0	17,8	5	7,8	3,5	5,9	4,3	11,8	4,1	6,3	9,4	21,5	9,5	6,7	3,7
OCTUBRE	6,4	10,7	3,5	13,3	8,6	12,9	5,4	7,9	5,2	17,2	6,4	9,5	8,6	14,0	11,2	7,5	6,4
NOVIEMBRE	8	12,2	5,0	17,0	7,3	17,0	4,1	10	5,1	17,4	7,0	12,0	4,9	5,9	5,2	3,0	3,3
DICIEMBRE	6,8	20,4	5,9	29,0	7,8	21,1	3,4	3,9	4,2	11,8	4,7	5,7	3,2	5,0	4,2	1,4	2,1

TABLA IV

CAL./cm ² DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
RADIACION MAXIMA TEORICA SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL A NIVEL DEL MAR PARA 22,5° LATITUD SUR	769	726	650	546	462	418	450	511	570	684	750	784
RADIACION SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL PARA DIAS CLAROS EN LA QUIACA (Medida)	971	865	819	733	610	510	539	656	814	930	994	970
RADIACION EN LA QUIACA a 3500m	1,26	1,19	1,26	1,34	1,32	1,22	1,20	1,28	1,43	1,36	1,32	1,24
RADIACION MAXIMA TEORICA a 0m												

TABLA V

ALTERNATIVA I

INVIERNO

	D1	D2	E	C
TN	10,5	-	21	0
TW	0	-	0	9
SP	15	-	72	38
ST	16	-	112	32
VN	1,5	-	3	0
VW	0	-	0	1
%D ₀	81	-	81	54
%D _N	420	-	420	285
%D _{pi} D	81	-	81	54
%D _{pi} N	135	-	135	0
V	40	-	336	96

	D1	D2	E	C	Sub.Tot.	Total
GANAN CIA	9980	-	19.950	2.150	42.060	86.560
PERDI. DA	10670	-	21.330	1.830	44.500	104.580
	2620	-	15.790	3.350	24.380	
	9210	-	51.230	10.470	80.210	

DEFICIT 18.030 Kcal/día

VERANO

	D1	D2	E	C
%D ₀	0	-	-	-
%D _N	105	-	-	-
%D _{pi} D	0	-	-	-
%D _{pi} N	-7,5	-	-	-

	D1	D2	E	C	Sub.Tot.	Total
GANAN CIA	1600	1600	3.210	4.220	10.630	19.220
PERDI. DA	890	890	1.780	5030	8.590	18.620
	0	0	0	0	0	
	2020	2020	10.820	3760	18.620	

EXCESO 600 Kcal/día

TABLA V

ALTERNATIVA II

INVIERNO

	D1	D2	E	C
TN	10,5	10,5	21	0
TW	0	0	3	9
SP	12	0	42	39
ST	16	16	96	32
VN	1,5	15	3	0
VW	0	0	0	1
%DD	81	-	-	54
%DN	420	-	-	285
%DpiD	81	-	-	54
%DpiN	135	-	-	0
V	48	-	288	96

	DIA	D1	D2	E	C	Sub Tot.	Total
GANAN	DIA	9.980	-	20.560	1.500	42.020	87.710
CIA	NOCHE	10.670	-	22.550	1.800	45.690	
PERDI.	DIA	2.540	2.240	13.090	3.370	21.210	
DA	NOCHE	8.780	7.065	41.580	10.570	67.995	89.205

DEFICIT 1.495 Kcal./día

VERANO

	D1	D2	E	C
%DD	0	-	-	-
%DN	105	-	-	-
%DpiD	0	-	-	-
%DpiN	-7,5	-	-	-

	DIA	D1	D2	E	C	Sub Tot.	Total
GANAN	DIA	1.605	1.605	4.050	4.220	11.480	21.740
CIA	NOCHE	890	890	3.454	5.030	10.260	
PERDI.	DIA	0	0	0	0	0	
DA	NOCHE	1.910	1.480	8.690	3.790	15.870	15.870

EXCESO 5.870 Kcal./día

INVERNACULO

INVIERNO

Kcal	Lado S	E	N	Piso y Tec	Sub Tot	Total
GANANCIA	-	14.400	35.000	-	49.400	49.400
PERDI. DIA	2.360	1.575	1.575	990	6.500	21.830
DA NOCHE	4.080	4.080	4.080	3.090	15.330	

EXCESO - 27.570 Kcal.

REFERENCIAS

- TN - MURO TROMBE NORTE
- TW - MURO TROMBE OESTE
- SP - AREA DE PARED EN CONTACTO CON EL EXTERIOR
- ST - AREA DE TECHO
- VN - AREA VENTANA NORTE
- VW - AREA VENTANA OESTE
- °DD - ° DIA DIA
- °DN - ° DIA NOCHE
- °DpiD - ° DIA PARA EL PISO DIA
- °DpiN - ° DIA PARA EL PISO NOCHE
- V - VOLUMEN
- D1 - DORMITORIO 1
- D2 - DORMITORIO 2
- E - CON JUNTO DE LUGARES DE USO COMUN
- C - COCHERA

TABLA VI

CARACTERISTICAS DEL INVERNACULO

AREA TECHO	16 m ²
AREA PISO	16 m ²

MUROS CON DOBLE VIDRIO	S	E	N
	12 m ²	12 m ²	12 m ²

PANELES INTERIORES PARA CERRAMIENTO NOCTURNO - DURANTE EL DIA QUEDAN SUPERPUESTOS OCUPANDO 1/3 DE SU LARGO - 3 JUEGOS DE UN PAR DE PANELES DE 3 CUERPOS.

TABLA VII

DESIGNACION RECINTO	METRAJE CUADRADO	
	POR PERSONA	POR LOCAL
DORMITORIO	8	
SALA DE ACTIVIDADES	6,5	
COCINA - COMEDOR DIARIO	4	
LAVADERO		3
BAÑO COMPLETO		3
COCHERA		32