

EDIFICIOS SOLARES EN LA PUNA: ESTADO DE AVANCE DE SU CONSTRUCCION Y MODELIZACION

Lesino, G., Requena, R. Saravia, L. Fontanilla, E., Echazú, R.

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO)  
 Universidad Nacional de Salta  
 4400 - Salta - Argentina

Canelada, A.

Universidad Nacional de Jujuy  
 4600 - San Salvador de Jujuy - Argentina

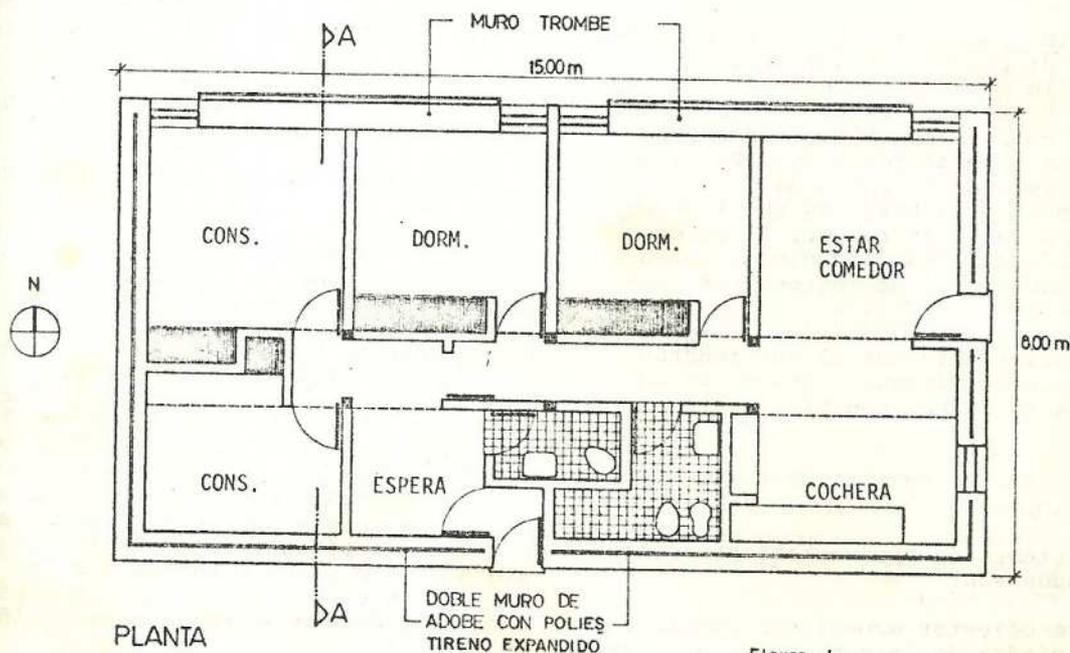
RESUMEN

En el presente trabajo se informa sobre el estado de diversas tareas que realiza el Grupo de Energía Solar en el campo del diseño y la construcción de sistemas de acondicionamiento de edificios en la Puna. Ellos son: 1) el partido y diseño del acondicionamiento térmico de un puesto sanitario (construido por un sistema de ayuda mutua por el Ministerio de Bienestar Social de la Provincia de Jujuy) en Abdón Castro Tolay, Provincia de Jujuy y el estado de avance de su construcción, 2) el estado de avance de la

construcción de la vivienda para el director de la Subestación Experimental de Abra Pampa de INTA, cuyo diseño se ha descrito en otro trabajo (2) y 3) la descripción del modelo computacional para la simulación del comportamiento térmico de viviendas.

1. PUESTO SANITARIO DE A. CASTRO TOLAY

A) Programa de necesidades. Este pueblo se encuentra en la Puna, a 3500 m de altura teniendo acceso desde Abra Pampa o San Antonio de los Cobres. El



puesto es un centro asistencial de salud de tipo básico para brindar atención y control médico de primera instancia. Instalar este servicio implica el asentamiento de personal permanente por lo que se hace necesario agregar una vivienda. El edificio se ha planteado en términos de necesidades mínimas que son:

a) Área asistencial con dos consultorios ( $30,8 \text{ m}^2$ ), una sala de espera y baño ( $14,5 \text{ m}^2$ ).

b) Una vivienda con dos dormitorios ( $30,5 \text{ m}^2$ ), estar-comedor-cocina ( $36 \text{ m}^2$ ), baño principal y pasillo ( $4,2 \text{ m}^2$  cada uno).

c) Opcional cochera y/o expansión vivienda.

La superficie total es de  $120 \text{ m}^2$ . El edificio está dividido en dos áreas relacionadas internamente, planteándose el proyecto de manera de asegurar una independencia entre ellas. Por razones económicas se han nucleado las zonas húmedas y su ubicación relativa en la planta genera un espacio de separación entre las dos zonas funcionales. La planta se muestra en la Fig.1.

B) Criterios de diseño. El terreno del que se dispone es plano, relativamente amplio y sin interferencias del entorno, ya sea edificios o vegetación, por lo cual es posible ganar francamente la orientación norte. Se planteó un volumen compacto de  $15 \times 8 \text{ m}$ . El frente norte hará las veces de colector solar mientras que la pared sur será prácticamente ciega, salvo una doble puerta de ingreso para pacientes.

Los locales ubicados al sur tendrán una ganancia directa a través de un quiebre de techos que mira hacia el norte.

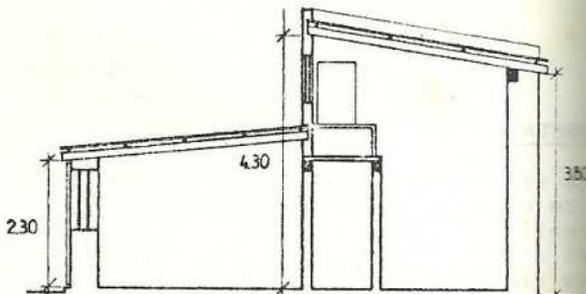
En la Fig.2 se muestra un corte del edificio.

Los sistemas de aprovechamiento solar adoptados son:

a) Muro colector acumulador construido en piedra de la zona que constituye la mayor parte de la pared norte.

b) Ganancia directa en ventanas norte y este, y a través de aberturas vidriadas altas en el quiebre de techo. Esta radiación incide en parte sobre

tanques de agua y su losa de soporte mientras que el resto llega a la pared sur. Mediante un programa de cálculo de áreas sombreadas e iluminadas (1) se ha verificado que el haz directo se mantiene por encima del nivel de  $1,8 \text{ m}$  de la altura de una persona.



CORTE A-A

Figura 2

c) El calentamiento de agua mediante colectores y tanque de acumulación colocados en el interior del edificio en una posición similar a los mencionados en b)...

C) Tecnología. La tecnología adoptada es coherente con el criterio de economía utilizado para el diseño y comprende:

a) Sistema de autoconstrucción por habitantes de la localidad.

b) Tipología edilicia similar a la de la zona.

c) Uso de materiales locales. Los muros son de adobe fabricado in situ. Serán dobles, con una capa de poliestireno expandido de  $0,05 \text{ m}$  de espesor en el centro. Las dos capas de adobe tendrán trabas de perchas metálicas cada tanto. El espesor total del muro será de  $0,55 \text{ m}$ . El muro del colector será de piedra recogida en el lugar. Los techos se construirán con estructura de madera y cubierta de chapa metálica. Su aislación será de paja, sostenida a la tirantería con metal desplegado. Los pisos serán de mosaico calcáreo y contrapiso de hormigón pétreo para colaborar en la acumulación.

d) Tanto los muros perimetrales de adobe como los colectores acumuladores se fundarán en piedra la que se aislará con planchas de poliestireno expandido por el lado exterior para eliminar las pérdidas perimetrales.

e) Todas las aberturas exteriores son de pequeñas dimensiones, se construirán en madera, tendrán doble vidrio y un cerramiento nocturno externo de madera. Las vidrieras de los colectores se montarán sobre unidades modulares de perfilería a ser armadas in situ.

D) Balance térmico. La localidad está cerca de Abra Pampa y a similar altura por lo que fueron utilizados los datos meteorológicos de dicho lugar. A continuación se describe someramente la situación de un día de invierno. La pérdida térmica diaria total es de 400 MJ mientras que las ganancias suben a 350 MJ. El mayor rubro de pérdidas corresponde a la filtración de aire y a la circulación de los usuarios del dispensario que puede influir sobremanera en el balance. Las aberturas en el quiebre del techo han sido consideradas sin cubierta nocturna. En caso de que las costumbres de los habitantes, en particular en lo que tiene que ver con la iluminación en las primeras horas del día, lo requieran, se pueden ganar unos 25 MJ en el balance. La superficie interna de los muros de adobe (260 m<sup>2</sup>) y del piso (120 m<sup>2</sup>) es abundante, por lo que se estima que el incremento diario de temperatura no excederá los 6°C.

E) Estado de avance de las obras. Se han encarado y armado los cimientos totales, incluyendo su aislación térmica perimetral y se ha montado la estructura metálica de las columnas. Se han cortado los adobes y acopiado la piedra y se encuentra en proceso de compra la perfilería, vidrio y resto de la aislación.

## 2. VIVIENDA SOLAR INTA-ABRA PAMPA

El proyecto de la construcción del prototipo experimental de vivienda solar para la Subestación del INTA-Abra Pampa (2) fue confeccionado durante el período setiembre a diciembre de 1978 y mediante convenio con el Gobierno de la Provincia de Jujuy se encomendó a la Dirección General de Arquitectura la provisión de la mano de obra para su realización. El trámite de firma del convenio entre ambas Instituciones insumió un lapso de 7 meses pudiendo recién comenzarse la construcción un año más tarde, es decir, en enero de 1980. Durante los meses de febrero a julio de 1979 se adquirieron los materiales necesarios y encomendóse la ejecución de los colectores para los muros y

carpinterías, tanto metálicas como de madera.

A) Sistema y materiales. El sistema de construcción elegido ha sido el de método tradicional con provisión de materiales por el comitente (INTA) y aporte de la mano de obra por cuenta de la Dirección General de Arquitectura de Jujuy. El sistema adoptado se basó en la factibilidad de uso de materiales locales en su mayor porcentaje (90%) y el empleo de mano de obra del lugar. Estas premisas resultan ciertas en parte, ya que los materiales utilizados, con excepción de la piedra para la mampostería perimetral y de la estufa hogar a leña, fueron adquiridos en Salta por razones de jurisdicción administrativa. La Subestación Abra Pampa depende de la Estación Experimental Regional Agropecuaria Salta, ubicada en Cerrillos. Esta última es la encargada de la administración de los recursos financieros y despacho de los elementos de la construcción. Colectores y aberturas fueron confeccionados a medida bajo el estricto control de la Dirección de Obra en Balcarce. La planta se aprecia en la figura 3.

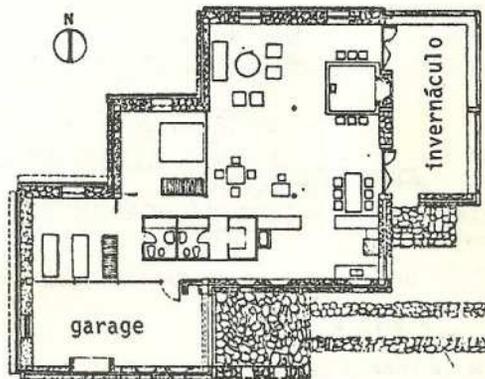


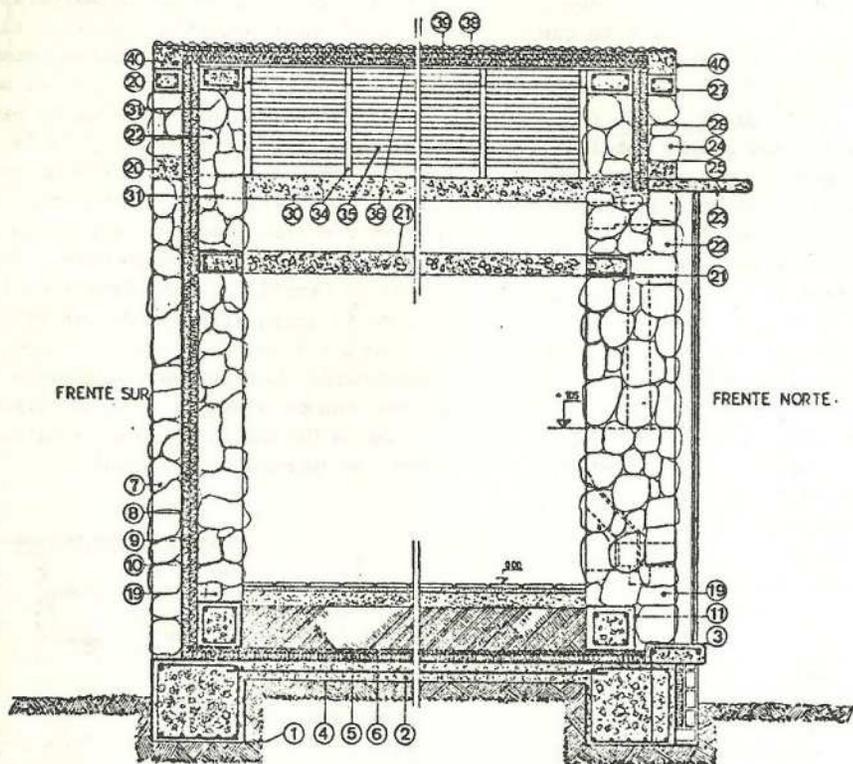
Figura 3

Los tabiques se ejecutaron con ladrillos huecos cerámicos de 8 cm de espesor, los pisos cerámicos de baldosas de azotea con juntas abiertas y corridas, los revestimientos para áreas húmedas se realizarán con azulejos comunes y las mamparas separadoras de recintos se construirán con paneles de madera aglomerada y estructura de madera.

La aislación de pisos, muros de borde y techo se realizaron en poliestireno expandido de 24 kg/m<sup>3</sup> y factor K de 0,027 kcal/m h °C de 5, 10 y 15 cm de espesor respectivamente con barrera de vapor de polietileno de 200 μ

La cubierta de chapas galvanizadas se construye con largos superiores a los usuales con el objeto de disminuir el número de solapes, teniéndose en cuenta la velocidad del viento y escasa pendiente de escurrimiento de agua adoptada, como ilustra la figura 4.

Para los colectores, ventanales de inverñaculo para ganancia directa y la claraboya de la torre tanque se emplearon perfiles metálicos con el fin de reducir al máximo la sección opaca estructural. El resto de las aberturas de la envolvente se realizaron de madera por su buen mantenimiento en el clima se-



LOS NUMEROS CORRESPONDEN A LAS SECUENCIAS CONSTRUCTIVAS

0 50 100 cm.

Figura 4

co de la Puna y la naturaleza decorativa que caracteriza el veteado del material. Todos los elementos mencionados se ajustaron en taller con los herrajes incluidos, exceptuándose de dicho ajuste a las grapas de anclaje, que si bien tenían una ubicación predeterminada, su desmontaje y recolocación facilitaban la colocación in situ.

El material utilizado para construir los colectores es perfilera de hierro L de 50 x 25 x 4,8 mm con contravidrios dobles de madera de incienso de 15 x 15 mm con tornillos cadmiados cabeza gota de sebo. Las ventilaciones superiores se ejecutaron con hierro T 25 x 3 mm y L de 25 x 15 x 3 mm y su accionamiento se realiza con un brazo de empuje de hierro sineronzado con la banderola su-

perior de madera alojada en la mampostería, de manera de garantizar el cierre de la ventilación superior cuando la banderola se abre para el ingreso del aire calentado en el inter-espacio colector-muro. La fijación de cada tramo al hormigón se efectúa con tacos FISCHER y tornillo autorroscante 12 x 38 y entre sí con tornillos de 6,3 mm.

Los colectores de los muros Trombe-Michel llevan además 18 distanciadores posteriores de hierro planchuela 50 x 4,8 mm con tornillos reguladores 9,5 x 100 mm para asegurar los parantes a la mampostería de piedra.

La figura 5 ilustra los detalles descritos en los párrafos precedentes.



Figura 7

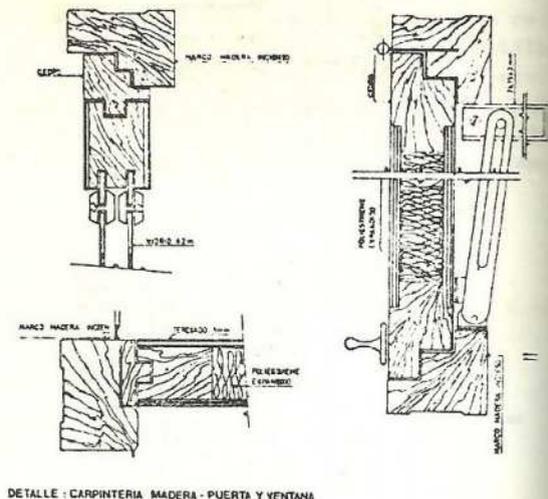
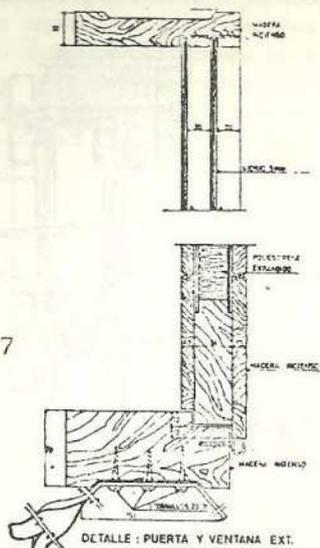
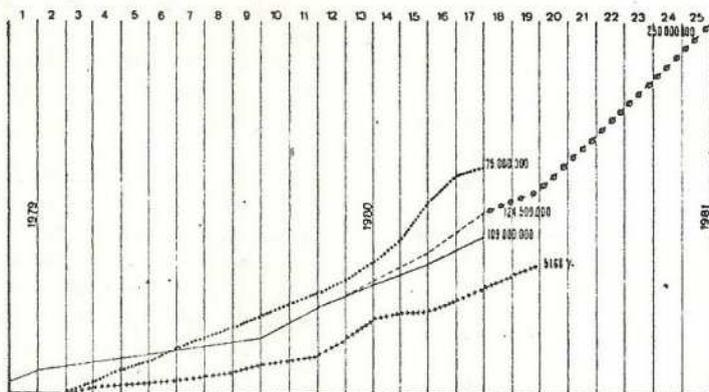


Figura 8

La parte superior lleva 3 balancines para permitir el paso de aire calefaccionado por ganancia directa.

En las figuras 7 y 8 se pueden visualizar las secciones de la carpintería de madera.



PLAN DE TRABAJO Y CURVA DE INVERSIONES

Figura 9

- PAGOS EFECTUADOS POR INTA
- - - DIFERENCIA ADEUDADA POR INTA
- ..... INVERSIONES PREVISTAS A PARTIR DE JUNIO 81
- ..... PLAN DE TRABAJO E INVERSIONES PREVISTAS Q.T. 79
- ..... AVANCE REAL DE OBRA

B) Mano de obra. El cronograma de tareas y gráfico de inversiones previstos no han sido respetados en la realidad. Ello se ha debido a sucesivas interrupciones de las tareas y a un reducido plantel de operarios antes que a un pobre rendimiento de personal. Las jornadas de labor se han desarrollado en períodos que abarcan 8 horas efectivas de actividades, dependiendo la distribución de las mismas del período estacional considerado. Se ha evaluado el diferente número de horas realmente trabajadas a lo largo de los meses transcurridos. Esta determinación se

juzga de importancia para un análisis ulterior a que se someterá el prototipo a fin de considerar los ajustes para los proyectos posteriores. La figura N° 9 permite apreciar lo expuesto precedentemente.

C) Monto. La construcción del prototipo experimental ha insumido a la fecha un costo de 86 millones en materiales y 125 millones en mano de obra. Se estima para su finalización una inversión de 230 millones más por lo que el monto total ascenderá a 441 millones. Teniendo en cuenta que la superficie

cubierta alcanza a 270 m<sup>2</sup>, el costo unitario estimado será de \$1.600.000/m<sup>2</sup>

### 3) MODELIZACION DE EDIFICIOS PASIVOS

A) Descripción general. Se ha tratado de realizar un programa (SIPASO: simulación pasiva solar) de gran generalidad en sus aplicaciones de manera que no deba ser modificado por los distintos partidos o sistemas pasivos que puedan aparecer en la modelización de edificios solares como sucede con otros programas (3). Eventualmente esta modelización puede ser usada para resolver otros problemas térmicos, como la simulación del comportamiento de componentes, calentadores de agua tipo "bread box", etc.

El sistema a analizar se representa por una red de nodos, cada uno de los cuales simula una región de temperatura constante. Cada nodo está conectado a cualquier otro por una conductancia térmica  $U_{ij}$  (entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$ ) la que eventualmente puede ser nula si no hay conexión térmica entre las dos zonas. Los coeficientes  $U_{ij}$  pueden variar o ser constantes. En el caso radiativo o en el de transferencias por termosifón varían y el problema se trata en forma iterativa. Los nodos pueden tener una cierta "masa térmica"  $m_{Ti}$  proporcional a  $\rho_i c_{pi}$  ( $\rho_i$  densidad del material,  $c_{pi}$  calor específico a presión constante) como en el caso de un muro de mampostería o de un tanque de agua o no tenerla como generalmente se supone al definir las temperaturas superficiales del muro colector-acumulador. Una cierta zona puede recibir energía (radiación solar, calefacción complementaria) o perderla (ventilación, etc.) por otros mecanismos auxiliares. Esto aparece en los balances térmicos de algunos nodos como términos  $Q_j$  y  $\dot{Q}'_i$ . Los  $\dot{Q}'_i$  son los provenientes de sistemas auxiliares. Las ecuaciones de los balances térmicos de los nodos ( $n$  ecuaciones) resultan del tipo

$$m_{Ti} \frac{dT_i}{dt} + \sum_{j=1}^n U_{ij} (T_i - T_j) = \dot{Q}_i + \dot{Q}'_i$$

El índice  $i$  indica que  $i \neq j$

Integrando en un intervalo de tiempo se tienen para las nuevas temperaturas ecuaciones del tipo

$$\sum_{j=1}^n C_{ij} T_j = F_i \quad (1)$$

donde las  $C_{ij}$  dependen de las conductancias  $U_{ij}$ ,  $C_{ii}$  de la "masa térmica" y de las  $U_{ij}$  y  $F_i$  de las temperaturas en el instante anterior y de las fuentes  $\dot{Q}_i$ ,  $\dot{Q}'_i$ .

Se ha contemplado la posibilidad de que haya nodos "libres" (los valores tomados por la temperatura pueden ser cualesquiera) o nodos "controlados" (los valores tomados por la temperatura deben ser mayores que un cierto mínimo  $T_i$  min, menores que un cierto máximo  $T_i$  máx o estar comprendidos en un cierto intervalo  $T_i$  min- $T_i$  max). No está limitado el número de nodos en que esto puede suceder.

Se podrían tratar problemas de cambio de fase en materiales de acumulación modelizando el mismo como un incremento y dependencia del calor específico con la temperatura.

B) Estructura del programa y subrutinas. El programa está compuesto (por el momento) por el programa principal SIPASO, dos subrutinas específicas (DATOS, UCTAN1) y una subrutina de resolución de sistemas lineales (en este momento se está usando SSLNGJ que usa el método de Gauss Jordan pero se probarán otros métodos para optimizar el tiempo de cálculo según las dimensiones de las matrices del problema).

El programa principal contiene: a) la entrada de datos climáticos, geográficos, n° de días de cálculo, condiciones iniciales y las opciones para trabajar buscando el régimen térmico con todos los datos constantes, siguiendo las variaciones de las secuencias de días elegidos y en los dos casos anteriores la posibilidad de conservar o variar los datos constructivos y geométricos del modelo, b) la resolución del sistema de ecuaciones que da las temperaturas, c) los controles para observar si los nodos "controlados" están en los intervalos adecuados, d) la iteración para el tratamiento de los coeficientes no lineales, e) la acumulación de los distintos calores transferidos en forma horaria y diaria, f) la impresión de resultados.

En el caso de que los nodos "controlados" deban ser fijados se recalcula el intervalo, que se puede achicar si la convergencia lo hace necesario. (Por razones de tiempo conviene que el intervalo en que se realiza el cálculo sea lo mayor posible sin que el cálculo oscile pero puede ser demasiado grande en el caso en que un nodo pase

de "libre" a "controlado"). Si el nodo se vuelve controlado, se intercambia la variable temperatura por un  $Q_i$  que cierra el balance.

La subrutina DATOS contiene información sobre los nodos. En una matriz KCON de  $n \times n$ , de valores enteros, (que por ser simétrica y con diagonal nula requiere  $\frac{n^2 - n}{2}$  posiciones de

memoria) se guarda la información sobre las conexiones térmicas mediante un código. Por ejemplo, si KCON (I,J) es

0 - sin conexión térmica -  $U_{ij} = 0$

1 - la conexión térmica es conductiva como la de dos nodos en el medio de una pared.

2 - idem convectiva entre una superficie vertical y el aire de un ambiente.

Esta lista se puede hacer todo lo amplia que las alternativas que surjan en la realidad lo hagan necesario.

En una matriz DNOD de dimensiones  $n \times 12$  se guarda la información sobre el nodo y su temperatura. DNOD (I, 12) contiene la temperatura del nodo I, las once posiciones restantes, datos para el cálculo térmico. DNOD (I, J) contiene, para el nodo I si  $J = 1$  la masa térmica,  $J = 2$  el espesor de la zona de muro considerada,  $J = 3$  conductividad,  $J = 4$  la emisividad,  $J = 8$  un código que indica la orientación e inclinación de la superficie para que en los datos entrados en el programa principal se ubique la radiación incidente,  $J = 11$  el área del elemento.

Con la información de KCON y DNOD la subrutina UCTAN1 calcula los coeficientes del sistema lineal (1) para el programa principal.

C) Estado actual. En el momento actual el programa está en su etapa final de armado y prueba con matrices pequeñas. Los loops de variación temporal diaria y horaria, los cálculos acumulados diarios y horarios de calor y la salida de resultados se harán en la misma forma que en el programa TROMBE (2) en uso desde 1978.

En un mes el Grupo contará con la ampliación de su equipo de computación con microprocesador LSI 11/23 y un disco de 10Mb en el que se probarán los

tiempos de cálculo con matrices de mayor número de nodos.

El monitoreo de los edificios mencionados en este trabajo y cuya finalización se espera en el correr del presente año permitirá la validación del modelo y se aplicará al diseño de prototipos para el proyecto de vivienda rural y semirural (4).

El presente trabajo ha sido parcialmente financiado por la Subsecretaría de Estado de Ciencia y Tecnología (SECYT).

#### 4. BIBLIOGRAFIA

(1) Ferries, B. y Castro Padula, L. Perspectivas Solares: su cálculo y sus aplicaciones en arquitectura. Presentado a la 7a. Reunión de ASADES. Rosario. (1981).

(2) Lesino, G., Saravia, L. Ovejero, R. y Requena, R. Anteproyecto y análisis térmico de una vivienda solar para la Puna Argentina. Publicado en las Actas de la 4a. Reunión de ASADES. La Plata. (1978).

(3) Mac Farland, R.D. PASOLE: A General Simulation Program for Passive Solar Energy. LA -7433 - MS Informal Report, October 1978.

(4) Saravia, L., Lesino, G., Requena, R. et al. Estudio del bioclima y de la vivienda rural tradicional en el Noroeste Argentino. Presentado en la 7a. Reunión de ASADES. Rosario. (1981).