

ANTEPROYECTO DE EDIFICIO SOLAR PARA LA ESTACION EXPERIMENTAL Y RESERVA
DE VIDA SILVESTRE DE LAGUNA BLANCA, CATAMARCA.

G. Lesino, L. Saravia[#], E. V. de Fontanillas, C. Gramajo.
Departamento de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta,
Buenos Aires 177, 4400 Salta.

y

E. Perioli
Instituto Provincial de Vivienda, Catamarca.

Resumen

En el presente trabajo se describe el anteproyecto de un edificio acondicionado con energía solar, a ubicarse en Laguna Blanca, en la puna catamarqueña y destinado a vivienda del personal técnico, alojamiento temporario de visitantes y laboratorio de una estación experimental agropecuaria de altura.

El edificio tiene 290 m² y será construido en piedra y adobe locales, las aislaciones serán de poliestireno expandido y piedra pómez y estará protegido, salvo en las zonas de colección, por taludes de tierra, aprovechando desniveles naturales del terreno.

El aprovechamiento solar se realizará mediante muros colectores-acumuladores, un invernáculo central y ganancia directa. Se prevén métodos de humidificación del ambiente.

Contará con agua caliente por vía solar y paneles fotovoltaicos con sus baterías que aseguren un suministro mínimo de energía eléctrica para iluminación nocturna y comunicaciones (equipo de radio).

Se describen además un conjunto de programas de cálculo destinados al diseño térmico y cuyos resultados se sistematizarán.

El presente trabajo ha sido realizado en el marco de un convenio existente entre la Dirección Provincial de Ganadería, el Instituto Provincial de Vivienda de la Provincia de Catamarca y la Universidad Nacional de Salta.

#Investigador de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, Avda.
Rivadavia 1000, San Miguel, Buenos Aires.

Introducción.

En el presente trabajo se describe el anteproyecto de un edificio de 290 m² cubiertos a ubicarse en Laguna Blanca, Provincia de Catamarca, que será destinado a alojar personal técnico permanente y temporario de una estación agropecuaria de altura. También contará con un laboratorio para las funciones de la misma y servirá de puesto de vigilancia para la zona que ha sido declarada reserva natural de vida silvestre.

En la sección 1 se describe la ubicación y el clima de la zona donde se erigirá el edificio, en la sección 2 se dan los criterios funcionales y dimensionales, en la 3 se describen los aspectos tecnológicos de la construcción, y en la 4 se describen los métodos empleados para el cálculo térmico y sus resultados sobre el diseño.

1. Ubicación y clima.

La zona de Laguna Blanca, fig. 1, a aproximadamente 3500 m de altura, 26° 40' Latitud Sur, se encuentra en el Departamento de Belén, Provincia de Catamarca, en el borde sur de la puna argentina.

Es un valle o bolsón en cuyo fondo se encuentra la laguna y limitado por las Sierras del Hombre Muerto y de Laguna Blanca que alcanzan alturas de 5000 m.

El edificio estará emplazado a 19 km de la ruta provincial 53 que con la ruta nacional 40 une Belén con Antofagasta de la Sierra. La zona es de difícil acceso y sólo puede hacerse por la ruta mencionada. No existe vía férrea. La zona tiene muy baja densidad de población. Para todo el Departamento de Belén ésta es de 1,2 habitantes por km². No hay energía eléctrica ni redes próximas. A 3 km existe un agrupamiento humano, llamado La Lomita, que cuenta con escuela y puesto policial con radio.

El clima es típicamente puneño. Esto significa intensos saltos térmicos diarios, muy escasa humedad y alta radiación. Hay generalmente viento que puede tornarse fuerte y molesto. Las precipitaciones, como es sabido, disminuyen cuando nos desplazamos hacia el sur en la Puna, y así se pasa de unos 200 a 300 mm anuales en la zona fronteriza con Bolivia, a la estimación de 100 para Laguna Blanca. No se cuenta con datos meteorológicos locales ya que no hay estaciones en la zona. De los datos obtenidos en el resto de la Puna y teniendo en cuenta la observación sobre la menor humedad se ha estimado la carga térmica anual en 3700 °C. La radiación se ha calculado teniendo en cuenta la latitud y altura y corrigiendo para valores medios según datos de La Quiaca pesando la menor humedad que se halla presente en la atmósfera.

2. Criterios funcionales y dimensionales.

La vivienda que se proyecta construir estará destinada a habitación de un técnico y su familia responsables de la zona como reserva de vida silvestre (vicuñas, suris, etc.). Se trata, por tanto, de considerar alojamiento para una familia tipo no lugareña. Además se dotará al conjunto de un alojamiento para visitas como así también de un laboratorio y garage.

La zona de implantación del edificio es sumamente alejada de otras construcciones y solitaria, por ello debió pensarse en su total funcionalidad y autosuficiencia para cumplir todas las actividades del grupo humano con la seria restricción del clima, o sea con una cuidada dotación de locales interiores para las actividades de todos los miembros de la familia, quienes en comunidad desarrollarán los trabajos para su supervivencia y desarrollo, como preparación de alimentos, con posibilidad de almacenamiento por tiempos prolongados, higiene y descanso, y también la comunicación social (conversar, estudiar los niños, escuchar música, etc.) previéndose para esto último espacios generosos con posibilidades de usos múltiples y adaptables.

Con respecto al alojamiento de visitas se prevé una cierta independencia en las zonas de dormir y la posibilidad de compartir las zonas de estar y comer pensando que la misma familia residente disfrutará de la presencia de otras personas que eventualmente visiten la zona - quebrando la soledad en que rutinariamente viven.

El desarrollo del partido arquitectónico, además de atender el programa específico que más adelante se detalla, se ha condicionado básicamente a las siguientes pautas:

- 1) Uso de materiales de la zona que ofrecen buenas condiciones para el aprovechamiento solar, como la piedra y adobe estabilizado para muros y piedra pómez para aislaciones de piso. Se adoptará tecnología para estructuras y cubierta de factible realización en el sitio, contemplando las distancias y difícil accesibilidad en que se encuentra.
- 2) Respeto y aprovechamiento de las características paisajísticas del entorno inmediato, que presenta elevaciones montañosas, una pequeña corriente de agua permanente y una represa (espejo de agua) a construirse, todo lo cual da enmarque al conjunto edificado con una imagen de particular belleza en ese ámbito en general sumamente árido. Para ello se han cuidado las visuales y tratamiento del entorno de la vivienda y sus accesos que disfrutará plenamente del paisaje exterior respaldándose en la cuesta de una sierra como fondo y mirando hacia la Laguna.
- 3) Aprovechamiento de los desniveles naturales del terreno para producir un franco frente norte de captación solar y visuales y un enterramiento hacia el sur para protección de la orientación más desfavorable desde

el punto de vista térmico. Así se adoptó un partido escalonado con pendiente ascendente hacia el sur, lo que provoca frentes libres en diferentes alturas hacia el norte; asimismo todo el conjunto unifica sus desniveles con techos en pendiente similar a la del terreno.

- 4) Además de los condicionantes antes mencionados, se estructuró un partido compacto cuyas relaciones entre distintas zonas funcionales son siempre interiores y a cubierto para así controlar al máximo las pérdidas al exterior.

La vivienda en sí consta de lo siguiente:

- | | |
|--|--------------------|
| 1) Vivienda principal: | 150 m ² |
| - Estar-comedor | |
| - Cocina-lavadero | |
| - Despensa | |
| - 2 dormitorios con vestidor | |
| - 1 baño | |
| 2) Vivienda de visitas: | 65 m ² |
| - 2 dormitorios | |
| - 1 baño | |
| - 1 office | |
| 3) Zona de apoyo y trabajo: | 55 m ² |
| - 1 laboratorio | |
| - 1 garage-taller | |
| 4) Invernáculo: | 20 m ² |
| Este elemento además de cumplir con su cometido de captación y acumulación de calor solar para brindarlo a la vivienda, tiene fuertes connotaciones plásticas dado que se estructura como corazón del conjunto en el que habrá presencia vegetal y agua. | |
| 5) Torre mirador: | |
| Soportará los paneles fotovoltaicos, el colector calentador de agua con su termotanque, el tanque de agua fría y en la base se ubicarán las baterías para acumulación eléctrica. | |

El plano y una perspectiva del edificio pueden observarse en la fig. 3 y fig. 4.

3. Aspectos tecnológicos.

- 1) Se construirá una estructura resistente de hormigón armado antisísmico.
- 2) Los cerramientos perimetrales serán en piedra (30 cm de espesor) y adobe estabilizado (30 cm de espesor), ambos materiales factibles de conseguir y fabricar in situ y que tienen adecuadas propiedades térmicas como se discutirá en la próxima sección.

Se colocarán las barreras de humedad y protecciones hidráulicas adecuadas.

Las experiencias para determinar las composiciones y la fabricación de moldes para sus módulos están siendo realizadas por el Instituto Provincial de Vivienda de Catamarca. Los módulos de adobe se han dimensionado de acuerdo al espesor de muros y tamaño de los ambientes.

- 3) Las aislaciones serán de poliestireno expandido de 5 cm de espesor en muros protegidos por taludes, 7,5 cm en muros expuestos y en el piso, piedra pómez en espesor equivalente a 2,5 cm de poliestireno expandido. Para el techo se usará este mismo material en un espesor de 10 cm.
- 4) La estructura del techo será de madera con cubierta de chapa o losetas prefabricadas, a determinar en una próxima etapa.
- 5) Los pisos se harán de hormigón pobre, con mucha piedra para que contribuyan en la acumulación térmica.
- 6) Los sistemas de colección y acumulación solar que se introducen son:
 - I - Muro colector-acumulador, tipo trombe, en piedra, de 30 cm de espesor, con doble vidrio, ventiletes regulados automáticamente por sencillas láminas de polietileno que impiden la circulación inversa. Se colocarán en dormitorios y laboratorio. Estarán perforados por ventanas para iluminación.
 - II - Invernáculo. El mismo tiene una situación central, sin sombras, por su posición en un nivel superior. Contará con un techo deslizante para el verano y que en invierno quedará depositado bajo el techo del estar-comedor. Tendrá depósitos de agua de espejo libre o en macetas o recipientes de material poroso (barro cocido) que facilite la evaporación. Los muros y piso serán en piedra para facilitar la acumulación. Se colocará doble vidrio para disminuir las pérdidas. Se podrá abrir al exterior. Se prevé ordenar la circulación de aire con el estar-comedor, a cuya calefacción está primariamente destinado. El muro posterior del invernáculo será en piedra de 30 cm de espesor. Deberá aportar, en forma diferida, en su cara posterior, calor por convección y radiación al estar-comedor. El retraso de la onda térmica se estima, según el coeficiente de difusión térmica de la piedra ensayada ($v = 8,35 \text{ m/s}$, $D = 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) en 10 horas.
 - III - Ganancia directa con acumulación en muros y piso en cocina, lavadero y garage.
 - IV - Colector para calentamiento de agua, en el techo, dotado del correspondiente termotanque.
 - V - Paneles fotovoltaicos con sus baterías para acumulación. La instalación eléctrica está dimensionada (en las secciones de conductores) para funcionar con 12V, para veladores fluorescentes de 6 W

de temperatura las distintas conexiones de los locales con otros locales y el exterior. Se calcularon para la zona de diseño desarrollos lineales de las pérdidas en función de las diferencias de temperatura interior-exterior, interior-piso. Se supuso que a 6 m bajo tierra, la temperatura del suelo es constante e igual a un valor dado. También se supuso un cierto espesor de aislación (Fig. 5, en m) de poliestireno expandido. Así se construyó el cuadro de la fig. 5. Los coeficientes A y B dan las pérdidas de muros y pisos hacia el talud y hacia el suelo, por ello cada ítem consta de dos sumandos. En los coeficientes está incluida la aislación ya mencionada.

Por ejemplo, un local libre al frente y enterrado en su parte posterior, pierde por el muro, hacia el talud, $0,4 \text{ w/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ ($0,3 \text{ w/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ si fuera indefinida su tercera dimensión) y $0,07 \text{ w/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ hacia el piso. El coeficiente hacia el talud es equivalente a 10 cm de poliestireno expandido. Como se ha supuesto que hay 6 cm colocados, el talud equivale a 4 cm suplementarios. En las columnas de la derecha se han incrementado los valores de las pérdidas halladas, en algunos casos, para tener en cuenta que el modelo es bidimensional y la casa tridimensional, es decir, no indefinida en la dirección perpendicular al dibujo. Sustituyendo las temperaturas del suelo y ambiente, la interior está fijada por el diseño, se llega a los valores de la fig. 7 que contiene la planilla de balance térmico de la casa, local por local, para el día y la noche. La fig. 6 contiene los datos de áreas y volúmenes de los locales.

El programa de cálculo utilizado es similar al realizado para calcular pérdidas laterales en pozas y se describe con detalle en otro trabajo(4).

Se modificó el programa para considerar taludes con pendiente, no solamente horizontales como en este caso.

El déficit de agua en el aire, debido a la baja humedad ambiente se compensa con los aportes ya mencionados, en el invernáculo y los muros. La energía necesaria para la evaporación debe descontarse en el balance. Se trata de incorporar (2) unos 8 gramos de agua por kg de aire renovado. El calor latente de vaporización del agua es $2,4 \text{ MJ/kg}$.

4.b. Ganancias.

El rendimiento por ganancia directa por ventanas se ha tomado igual a 0,65. Las radiaciones para superficies verticales norte y este (oeste) son $26,6$ y 12 MJ/día m^2 . La radiación sobre superficie horizontal calculada es de 17 MJ/día m^2 . Estos valores corresponden al día 20 de junio. Los valores precedentes se han calculado suponiendo que llega a una superficie horizontal el 85% de la extraterrestre y usando el modelo de Liu y Jordan para superficies verticales.

en dormitorios, 3 x 20 W en estar-comedor, picos de 6 y 20 W en corredores y escaleras, y toma de 400 W para equipo de radio.

Las baterías tendrán su depósito bajo la escalera de la torre-mirador con adecuada ventilación. Los detalles se discuten en otro trabajo (1).

VI- En todos los locales se prevé humidificación, cuya necesidad se ha marcado repetidas veces (2). Se utilizan para esto el invernáculo y el sistema descrito en la referencia 2.b. en los muros colector-acumulador.

VII- La torre-mirador, cerrada en invierno, en verano podrá actuar como chimenea para extraer el aire caliente de la casa (e invernadero) y ventilar las zonas del nivel medio y superior.

4. Cálculos térmicos.

La presente sección se dividirá en tres partes:

- a) Cálculo de las pérdidas térmicas y estimación del consumo energético para vaporización de agua.
- b) Cálculo de las ganancias en los distintos locales.
- c) Dimensionado de espesores de muros y pisos para acumulación diurna - nocturna.

4.a. Pérdidas térmicas.

Se ha seguido la misma metodología que para la casa de Abra Pampa (3). Se ha dividido el día en dos períodos de 9 y 15 horas respectivamente. Las condiciones de diseño son las siguientes:

- temperatura de la casa - día y noche: 18°C
- temperatura del garage - día: 15°C
- noche: 9°C
- temperatura exterior - día: 7°C
- noche: - 15°C
- temperatura del piso: - 7°C
- coeficiente de pérdidas para ventanas con doble vidrio: 3,15 W/m²°C
- coeficiente de pérdidas para techo: 0,35 W/m²°C
- 1 renovación de aire por hora para el día y $\frac{1}{2}$ para la noche.
- ρ_{cp} para el aire a esa altura, presión y temperatura : 0,8 KJ/m³°C

El cálculo de las pérdidas por muros y piso mereció un tratamiento especial, por hallarse protegidos por taludes de tierra. A los efectos del cálculo se usó un programa numérico computacional, en dos dimensiones (fig. 5) donde se contemplaron para las condiciones de contorno de

Se supone para los muros trombe un rendimiento del 30% (3) y que su aporte térmico se realiza en partes iguales durante el día y la noche.

El comportamiento del invernadero se ha calculado en las siguientes condiciones: tiene un rendimiento global del 20% y el 70% de la ganancia la transmite por circulación del aire caliente a los distintos locales en el día, en el momento de la colección. El otro 30% se acumula en la pared posterior y es transferida en la noche. Por la noche su temperatura bajará, por lo que debe aislarse de la vivienda. Pero dicha baja de temperatura estará limitada por el calor cedido por el muro y el piso, de manera de permitir la vida de las plantas, etc.

4.c. Dimensionado de espesores de muros y pisos.

En el cuadro de la fig.7 se observa, en la columna 11, la energía a acumular del día para la noche. Durante el día, los sistemas solares tienen una ganancia que va del 100% (ganancia directa) al 50% (muro colector-acumulador) de la energía total que aportan. En ese mismo tiempo, las pérdidas son relativamente bajas, por ser la temperatura externa más alta que durante la noche y por ser un período más corto (en horas). Resulta entonces que hay un superávit energético que, de no acumularse adecuadamente para la noche, eleva excesivamente la temperatura interna de los locales y se pierde parcialmente al incrementar la diferencia entre la temperatura interior y la exterior. En el fondo, se está usando para acumular al aire, que tiene un muy mal ρ_{cp} . La respuesta tradicional a este problema es colocar masas (de piedra, agua, etc.) abundantes para realizar la función ya dicha. Al dimensionar estas masas nos debemos plantear el problema en forma más precisa en los siguientes términos: Si bien pueden existir masas térmicas "grandes" las propiedades del material (conductividad térmica, calor específico) y las áreas de intercambio deben ser tales que permitan que el excedente de energía se absorba en el día y se devuelva durante la noche.

Esto puede extenderse, según el tipo de clima, a buscar un buen comportamiento para el edificio si se produce una serie de días soleados y un día o un par de días nublados. Nuevamente, las masas de paredes y pisos tienen que acumular una cierta cantidad de energía que puede colaborar a paliar, en cierta medida, el déficit del día nublado.

Para tratar este problema se ha estudiado la transferencia de calor en régimen periódico a través de un muro con aislación. El estudio se describe en detalle en el Anexo I. Como resultado se han obtenido las curvas de la fig. 8., para acumulación en un día. Se observa que para cada material existe un cierto espesor después del cual, el mayor agregado de masa no representa ningún beneficio. El máximo que se ve en el caso de una piedra muy buena conductora térmica, se produce en otros materiales en

espesores que no tienen valor práctico. Como veremos más adelante, puede además jugar un papel importante el contemplar la acumulación a más de un día. Por razones mencionadas en la sección 3, se usará adobe en los cerramientos de la casa.

Se observa en la fig. 8 que más allá de 20 cm de espesor de adobe no se gana nada en cuanto al calor acumulado.

Por otra parte, si se realiza el mismo análisis a dos días se encontrará ventaja en poner un espesor mayor, no perdiéndose nada en la parte diaria ya que se está en la zona horizontal del gráfico. Para la casa se ha elegido un espesor de 30 cm dada la regularidad del aporte solar durante el invierno en esa zona. Ese espesor es adecuado para uno o dos días.

Lo importante de hacer notar es que si la acumulación resulta escasa, la solución no es aumentar el espesor sino aumentar el área de transferencia con el espesor elegido.

Como ejemplo se calculará el área necesaria para acumular el excedente diurno en el dormitorio 3 y pasillo.

De la columna 11:

$$Q = 22,6 \text{ MJ}$$

Del gráfico, fig. 8:

$$q = 0,32 \text{ MJ/m}^2 \text{ (20 cm en adelante)}$$

$$\text{Área necesaria} = \frac{22,6}{0,32} = 72 \text{ m}^2$$

Ese dormitorio y pasillo tiene una superficie de muros de 52 m². Se tiene además 18 m² de piso.

Como se observa, el área de paredes no es suficiente y es necesario que el piso también participe del proceso con una eficiencia igual o mejor a la del adobe. Siendo el hormigón con mucha piedra de mayor conductividad, nos aseguramos esa capacidad de acumulación extra con un piso de ese tipo.

4.4. Otros comentarios.

De la planilla de balance debe hacerse resaltar varios puntos:

- 1) El garage tiene un balance excesivamente positivo. Esto se debe a que por no ser una zona habitable, los requerimientos impuestos en él de temperatura son menos estrictos. Ese exceso de energía permitirá mantener en él un nivel de temperatura más alto, parecido al del resto de la casa, con lo cual se beneficiará ésta.
- 2) Los balances de las áreas donde están los baños son ligeramente deficitarias, lo que resulta ya de la inspección visual de la planta. Sería posible ayudar desde el invernáculo que como se observa puede admitir esta sobrecarga de 30 MJ ya que tiene un exceso de alrededor de 33 MJ.

- 3) La acumulación de las paredes y piso de la cocina-comedor es insuficiente por lo que se prevé una masa adicional de agua o la sustitución parcial de la ganancia directa por muro colector-acumulador.

El presente trabajo ha sido realizado en el marco de un convenio existente entre la Dirección Provincial de Ganadería, el Instituto Provincial de la Vivienda de la Provincia de Catamarca y la Universidad Nacional de Salta.

Anejo I

En la sección 4 se menciona el problema de dimensionar en un local las áreas de un material de espesor dado que se deben colocar para almacenar y restituir entre el día y la noche respectivamente una dada cantidad de energía.

Interesa calcular las componentes periódicas del fenómeno. La parte estacionaria da las pérdidas medias, mientras que las componentes periódicas regulan los intercambios ambiente-muro, muro-ambiente.

En la fig. 9 se muestra el esquema analizado: un muro de material cuya densidad es ρ , calor específico cp , conductividad k , (constante de difusión $D = \frac{k}{cp\rho}$) constituye una lámina de espesor L . La temperatura exterior es $T_1(t)$. El coeficiente de transferencia térmica entre el muro y el exterior es h_1 (que puede ser el complejo de algún espesor de aislante más el coeficiente de convección). Del lado interior tenemos el coeficiente de convección h_0 (que también podría incluir un revoque, etc.) y la temperatura interior $To(t)$. Se contempla, a través de $S(t)$ la posibilidad de radiación directa incidente. Sea $T(x,t)$ la temperatura en el interior del material. Las ecuaciones del fenómeno son:

$$D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t}$$

Las condiciones de contorno en 0 y L son:

$$S(t) + h_0 [To(t) - T(0,t)] = -k \frac{\partial T}{\partial x}(0,t)$$

$$h_1 [T_1(t) - T(L,t)] = k \frac{\partial T}{\partial x}(L,t)$$

Si buscamos soluciones del tipo sinusoidal de pulsación w podemos suponer:

$$T(x,t) = T_1(x) \text{ sen } wt + T_2(x) \text{ cos } wt$$

S , To y T son periódicas, también de período $2\pi/w$. En el caso de tener un desarrollo de Fourier, la solución será la suma de las soluciones para cada frecuencia. Por ahora supondremos una sola componente.

$$S = S_1 \text{ sen } wt + S_2 \text{ cos } wt$$

$$To(t) = To_1 \text{ sen } wt + To_2 \text{ cos } wt$$

$$T_1(t) = T_{11} \text{ sen } wt + T_{12} \text{ cos } wt$$

El sistema resulta:

$$D \frac{d^2 T_1}{dx^2} + w T_2(x) = 0$$

$$D \frac{d^2 T_2}{dx^2} - w T_1(x) = 0$$

$$k \frac{dT_1(0)}{dx} + h_0 [T_{01} - T_1(0)] + S_1 = 0$$

$$k \frac{dT_2(0)}{dx} + h_0 [T_{02} - T_2(0)] + S_2 = 0$$

$$k \frac{dT_1(L)}{dx} - [T_{11} - T_1(L)] h_1 = 0$$

$$k \frac{dT_2(L)}{dx} - [T_{12} - T_2(L)] h_2 = 0$$

Sea $\beta = \sqrt{w/2D}$

$$T_1 = A e^{\beta x} \operatorname{sen} \beta x + B e^{\beta x} \cos \beta x + C e^{-\beta x} \operatorname{sen} \beta x + D e^{-\beta x} \cos \beta x$$

$$T_2 = B e^{\beta x} \operatorname{sen} \beta x - A e^{\beta x} \cos \beta x - D e^{-\beta x} \operatorname{sen} \beta x + C e^{-\beta x} \cos \beta x$$

Consideremos el caso sin radiación, $S = 0$.

El sistema a resolver, al poner las condiciones de contorno, es:

$$[\mu][x] = [\lambda]$$

$$[x] = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix}$$

$$[\mu] = \begin{vmatrix} 1 & 1-a & -1 & -(1+a) \\ 1-a & -1 & 1+a & 1 \\ P_1(1+b)+P_2 & -P_1-(1+b)P_2 & N_2+(b-1)N_1 & -N_1+(b-1)N_2 \\ P_1-(1+b)P_2 & P_1(1+b)+P_2 & -N_1+(b-1)N_2 & -N_2+(b-1)N_1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{con: } P_1 &= e^{\beta L} \operatorname{sen} \beta L \\ P_2 &= e^{\beta L} \operatorname{cos} \beta L \\ N_1 &= e^{-\beta L} \operatorname{sen} \beta L \\ N_2 &= e^{-\beta L} \operatorname{cos} \beta L \\ a &= h_0 / \beta k \\ b &= h_1 / \beta k \end{aligned}$$

$$[\lambda] = \begin{vmatrix} -a & T_{01} \\ a & T_{02} \\ b & T_{11} \\ b & T_{12} \end{vmatrix}$$

Para calcular el calor transferido por el muro al ambiente nos interesa la integral de $k \partial T(0,t) / \partial x$ en el medio ciclo en que transfiere hacia afuera ($\partial T / \partial x > 0$). Dicha integral q que es la cantidad de calor en juego por m^2 de muro.

$$q = \frac{2}{w} k \beta \sqrt{(A+B+C-D)^2 + (A-B+C+D)^2}$$

El planteo anterior puede usarse, poniendo los coeficientes de convección adecuados para estudiar el caso de un techo de losetas, etc.

Los valores representados en la fig. 8 han sido calculados con los siguientes valores determinados por:

Clima: $T_{11} = -9,85 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_{12} = -2,45 \text{ } ^\circ\text{C}$

Diseño: $T_{01} = -2,4 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_{02} = -0,46 \text{ } ^\circ\text{C}$

$h_1 = 0,5 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$

$$k(\text{W/m}^\circ\text{C}) \begin{cases} 0,05 \text{ material mal conductor} \\ 0,5 \text{ adobe} \\ 1,73 \text{ hormigón (Duffie y Beckman)} \\ 5,0 \text{ cuarcita} \end{cases}$$

valores de ζ cp próximos a $2 \text{ MJ/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$

coeficiente de convección interna: $h_0 = 8,3 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$

Para dar mayor flexibilidad al tratamiento conviene representar los resultados obtenidos en forma adimensionada, (fig. 10), para que puedan ser usados en otros casos.

Escribiendo los resultados en forma adimensionada resulta:

$$q = \frac{k \beta \Delta T_0}{w} f\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_0}, \psi, \beta L, \frac{h_0}{\beta k}, \frac{h_1}{\beta k}\right)$$

ΔT_0 = módulo componente sinusoidal de T_0 .

ΔT_1 = módulo componente sinusoidal de T_1 .

ψ = diferencia de fase entre T_0 y T_1 .

En la figura 10 se ha representado q w/k β ΔT_0 en función de βL para distintos valores de los demás parámetros.

Anexo II.

En la sección 4 se menciona un método rápido de determinación de conductividad térmica de rocas. La experiencia consiste en lo siguiente: Se toma la roca tipo laja de unos 4 cm de espesor, es decir, en la que haya una dimensión notoriamente menor que las otras dos. Se coloca en la parte posterior una termocupla que basta que haga contacto con la roca (no necesita estar firmemente adherida). El trozo de roca puede ser natural o cortado. Debe tenerse la precaución de que no tenga fisuras u otras heterogeneidades no características del material global. En la cara anterior, frente a la posición de la termocupla, se aplica durante 3 a 5 seg. un soplete acetilénico de llama pequeña y se observa la variación de la temperatura en la termocupla. Toda la operación dura unos 3 minutos, por lo que no es necesario usar una referencia y la estabilidad de los bornes del voltímetro (si no se está en un lugar expuesto a cambios grandes), es suficiente para la medida.

La interpretación teórica es la siguiente:

En un material indefinido, si se aplica durante un intervalo Δt un aporte de calor por unidad de tiempo de valor constante q , la variación de temperatura en función de la posición r y del instante t considerado está dada por:

$$v = \frac{1}{(8\pi k)^{3/2}} \int_0^{\Delta t} \frac{q \rho_{cp} e^{-r^2/4k(t-t')}}{(t-t')^{3/2}} dt'$$

donde: ρ_{cp} es la masa térmica.

k es la difusividad térmica.

Integrando resulta:

$$v = \frac{q \rho_{cp}}{2\pi k^2} \operatorname{erf}\left(\frac{r}{\sqrt{4k(t-\Delta t)}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{r}{\sqrt{4kt}}\right)$$

donde $\operatorname{erf}\left(\frac{r}{\sqrt{4kt}}\right)$ es la función de error y cuya derivada es $\frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-\xi^2}$.

Suponiendo Δt pequeño frente a t , lo que así resulta de los valores elegidos para la experiencia:

$$v = \frac{q \rho_{cp} \Delta t}{(\pi k t)^{3/2}} e^{-r^2/4kt}$$

Dado que las diferencias de voltajes registradas corresponden a fracciones de grado, la variación de temperatura se puede suponer proporcional a la variación de la lectura del voltaje en la termocupla y además unificando en un solo factor la parte constante:

$$\Delta V = \frac{\alpha}{r^{3/2}} e^{-r^2/4kt}$$

$$\ln(\Delta V t^{3/2}) = \ln \alpha - \frac{r^2}{4kt}$$

Graficando $\ln(\Delta V t^{3/2})$ en función de $1/t$ la pendiente de la recta es:

$$\text{tg } \theta = - \frac{r^2}{4k}$$

r es la distancia entre el punto donde se aplicó el soplete y el punto donde se colocó la termocupla.

$$k = - \frac{r^2}{4 \text{ tg } \theta}$$

En la fig. 11 se puede apreciar los resultados obtenidos para una cuarcita, una roca magmática negra y para el adobe.

Medidas del mismo adobe con el método del hilo cuyo error es del dieron $0,52 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Desde el punto de vista experimental el único requerimiento es el de un instrumento que permita medir μV ya que los cambios observados son del orden de las decenas de μV .

Referencias

1. P. Rießer, C. Sastre, L. Saravia y G. Lesino- Diseño de sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, presentado a la 6a. Reunión de ASADES, Catamarca, 1980.
2. a. G. Lesino y L. Saravia- Control de la humedad ambiente en la Puna Argentina, presentado a la 5a Reunión de ASADES, Córdoba, 1979.
b. A. Boucíguez, E. Alurralde, G. Lesino y L. Saravia- Ensayo de humidificación con muro colector-acumulador, presentado a la 6a. Reunión de ASADES, Catamarca, 1980.
3. G. Lesino, R. Ovejero, L. Saravia y R. Requena- Anteproyecto y diseño de una casa con aprovechamiento de energía solar en la Puna Argentina, presentado a la 4a. Reunión de ASADES, La Plata, 1978.
4. L. Saravia, G. Lesino, J. Mangussi, E. Hamity, J. Irigoytía, J. de la Puente y D. Galli- Generación de energía eléctrica mediante pozas solares en la Argentina, presentado a la 6a. Reunión de ASADES, Catamarca, 1980.

Leyendas de las figuras

- Fig. 1 .- Ubicación de la zona de Laguna Blanca.
- Fig. 2 .- Radiación calculada sobre superficie vertical Norte y Este en Laguna Blanca el 20 de junio.
- Fig. 3 .- Plano del edificio.
- Fig. 4 .- Perspectiva del edificio.
- Fig. 5 .- Planilla resumen de los coeficientes de pérdidas térmicas para los distintos locales.
- Fig. 6 .- Planilla de área y volumen de locales.
- Fig. 7 .- Balance térmico de pérdidas, ganancias, consumo por evaporación, por local, para el día y la noche.
- Fig. 8a.- Curvas de acumulación de calor para distintos materiales y distintos espesores.
- Fig. 8b.- Desfasaje de la entrega de calor.
- Fig. 9 .- Esquema de la situación analizada.
- Fig. 10.- Abaco para cálculo de acumulación en números adimensionados.
- Fig. 11.- Curvas $\ln (\Delta V t^{3/2})$ en función de $1/t$ para cálculo del coeficiente de difusión, en varios materiales.

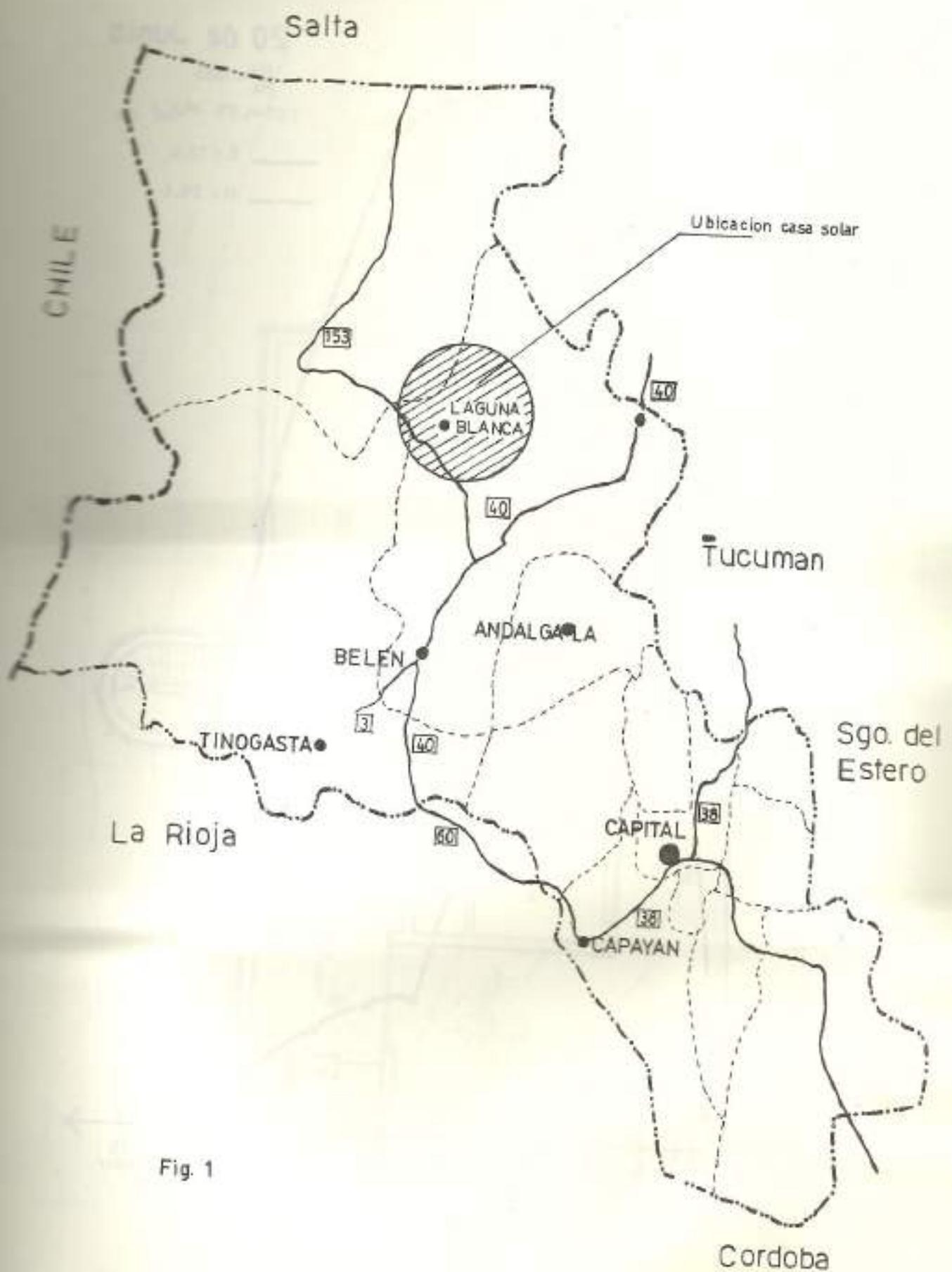


Fig. 1

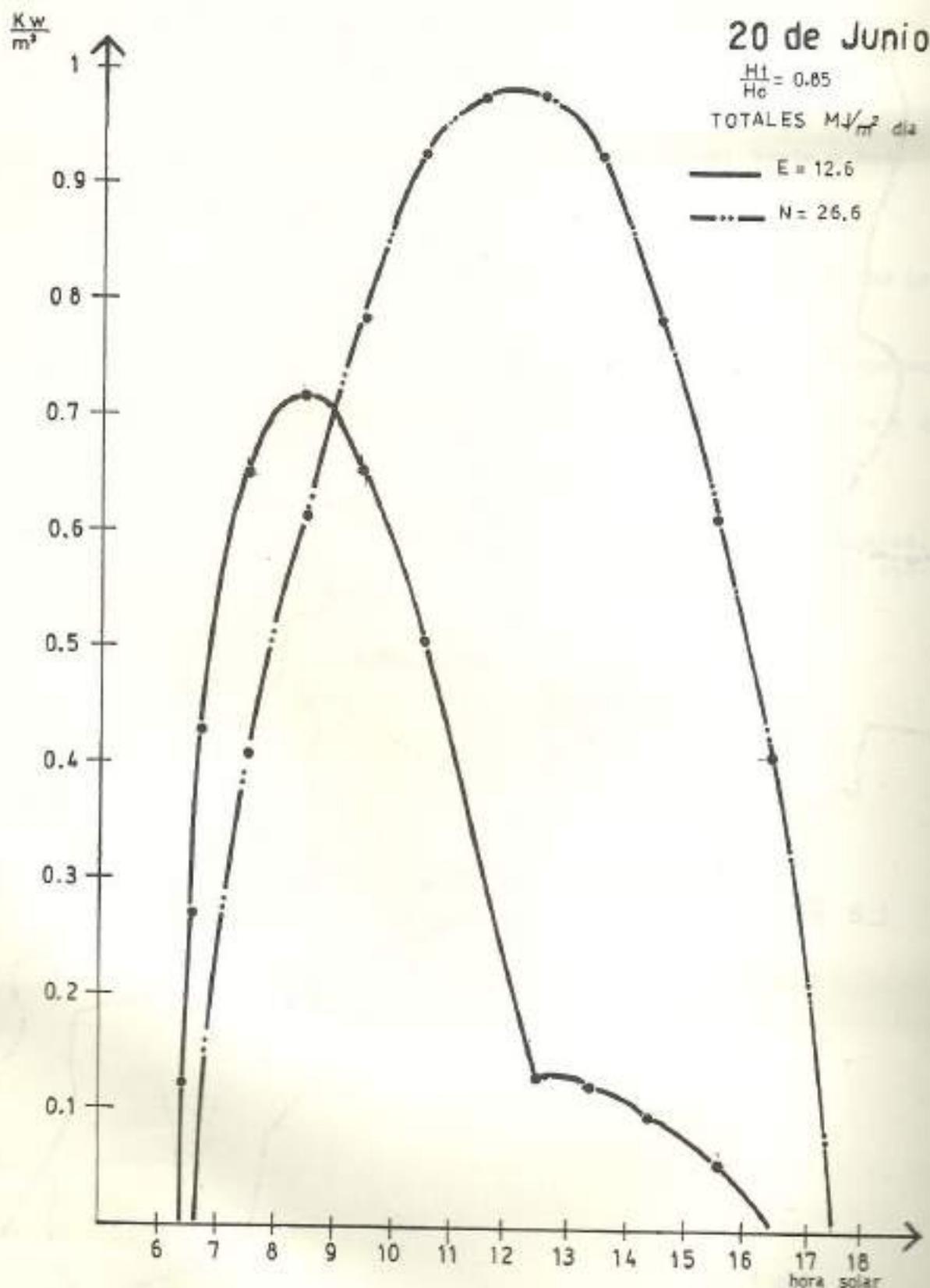
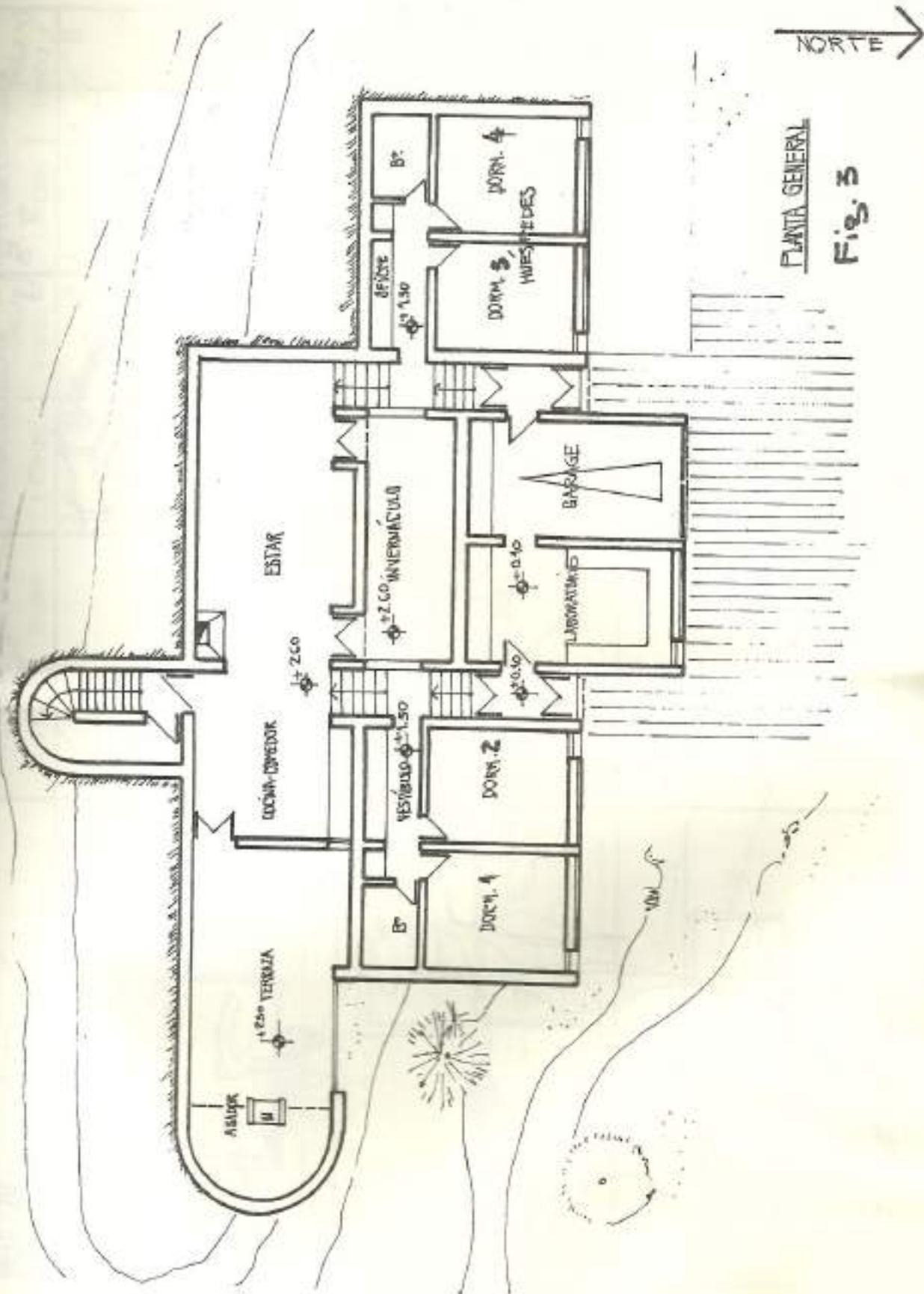


Fig. 2



PLANTA GENERAL
 Fig. 3



Fig. 4
PERSPECTIVA

CASO	ESPESOR AISL. (m)		PERDIDA CALCULADA ($\text{W/m}^2 \cdot \text{c}$)				PERDIDA CORREGIDA ($\text{W/m}^2 \cdot \text{c}$)			
	LATERAL	FONDO	LATERAL		FONDO		LATERAL		FONDO	
			A	B	A	B	A	B	A	B
Dormitorios	0.06	0.03	0.3	0.06	0.05	0.08	0.40	0.07	0.08	0.10
Laboratorio	0.03	0.03	0.10	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.07	0.08
Estar	0.06	0.03	0.24	0.13	0.0	0.04	0.28	0.14	0.0	0.04

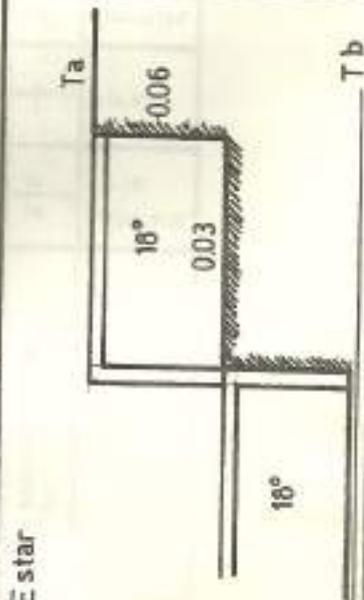
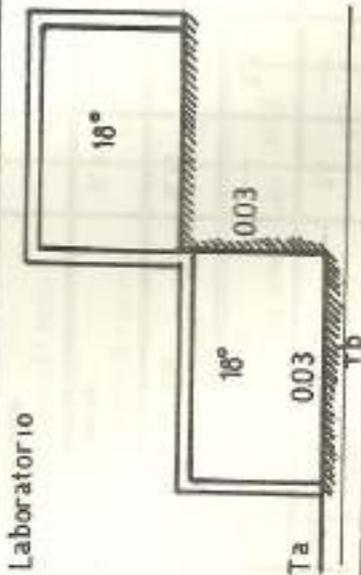
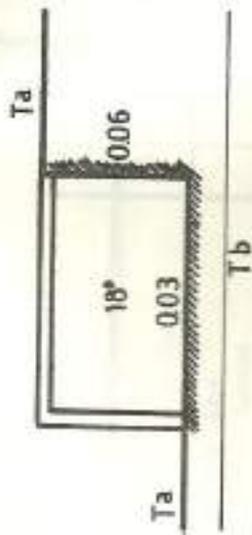


Fig 5

	Labora- rio	Garage	Dormito. rio 1	Dormito. rio 2	Baño 1	Cocina comedor	Estar	Dormito. no 3	Dormito. rio 4	Office	Baño 2	Despen- sa
Muro externo norte	7.10	—	7.10	7.10	—	—	21	7.10	7.10	—	—	—
Muro externo este	7.5	—	12	—	6	10.5	—	—	—	—	—	12
Muro externo oeste	—	7.5	—	—	—	—	15.75	—	12	—	6	—
Muro externo sur	6.75	6.75	3	5.25	7.50	6	25.5	—	3	10.5	7.5	9
Ventana norte	0.9	7.04	0.9	0.9	—	6	—	0.9	0.9	—	—	—
Ventana este	—	—	—	—	0.2	1.5	—	—	—	—	—	—
Ventana oeste	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2	—
Techo y piso	21	21	16	21	5	27.05	48.9	14	16	6	5	4.4
Volumen	52.5	52.5	48	63	15	94.68	171.15	37.6	48	18	15	13.2

Fig. 6

Local	Ganancia		Perdida diurna	Perdida nocturna	Calor vapor agua da	Calor agua noche	Gasto energ. diurno	Gasto energ. total	Balance	Energy acum. de da P/noche 11=1-8
	1	2								
Laboratorio	41.5	25.9	67.4	12.6	46.7	7.2	19.6	66.5	0.9	21.7
Garage	121.7	—	121.7	13.9	51.4	—	13.9	65.3	56.4	—
Dormitorio 1+ baño	43.1	25.9	69	14.6	53.6	8.7	23.3	84.1	-14.1	19.6
Dormitorio 2 + pasillo	41.5	25.9	67.4	10.6	35.3	8.7	19.3	61.0	5.6	22.2
Cocina comedor	116.1	—	116.1	23.5	90.1	13.1	36.6	113.6	-1	79.5
E.star (ganancia por invierno)	119.6	51.3	171.1	27.4	67.4	23.6	51	136.4	32.7	68.8
Dormitorio 3+ office	41.5	25.9	67.4	11.2	41.2	7.7	18.9	66.5	0.9	22.6
Dormitorio 4+ baño	43.1	25.9	69	15	54.3	8.7	23.7	85.2	-16.2	19.3

Fig. 7

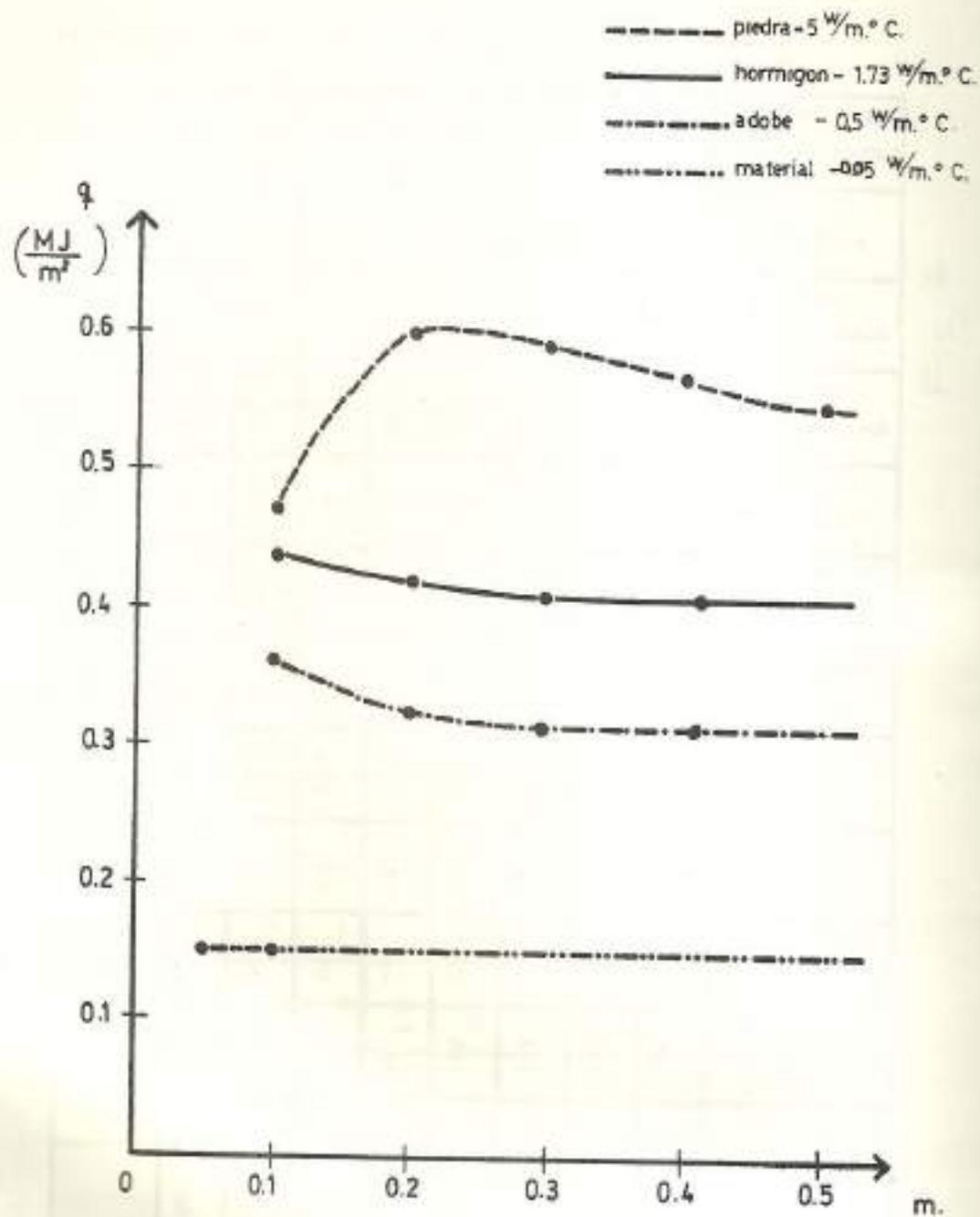


Fig. 8a.

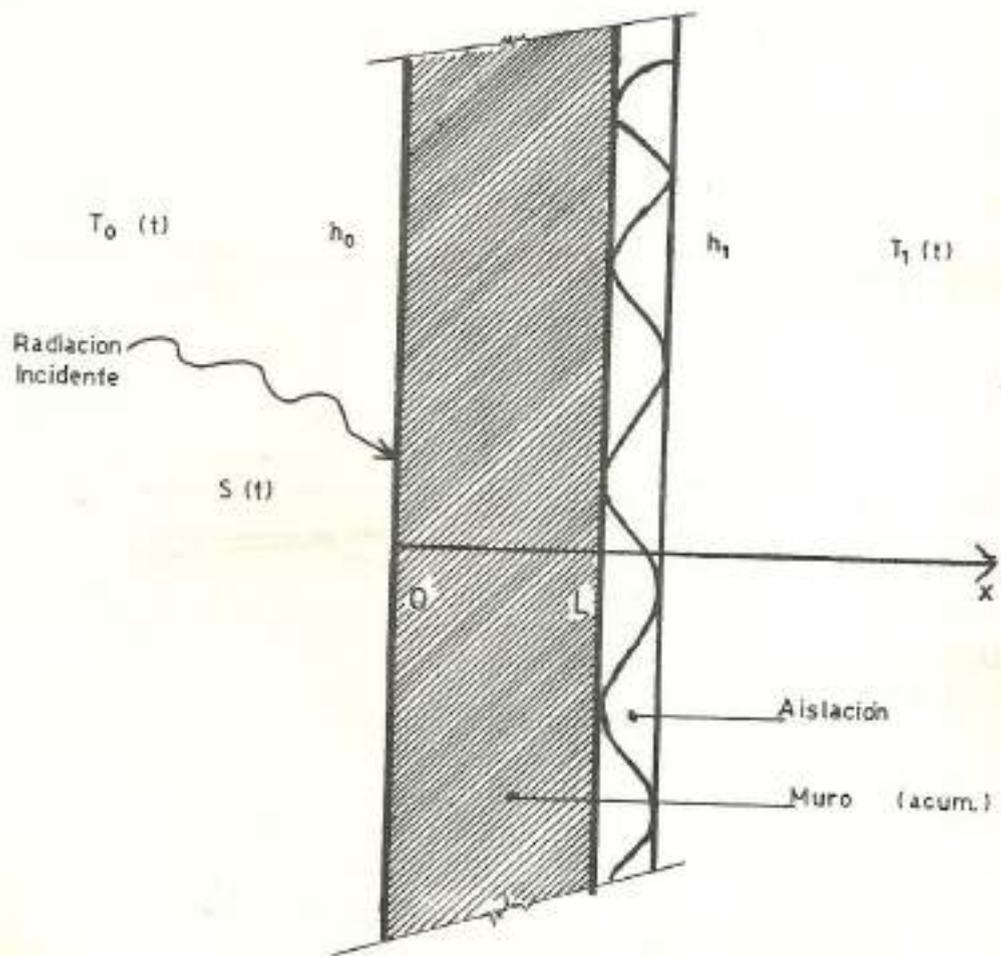


Fig. 9

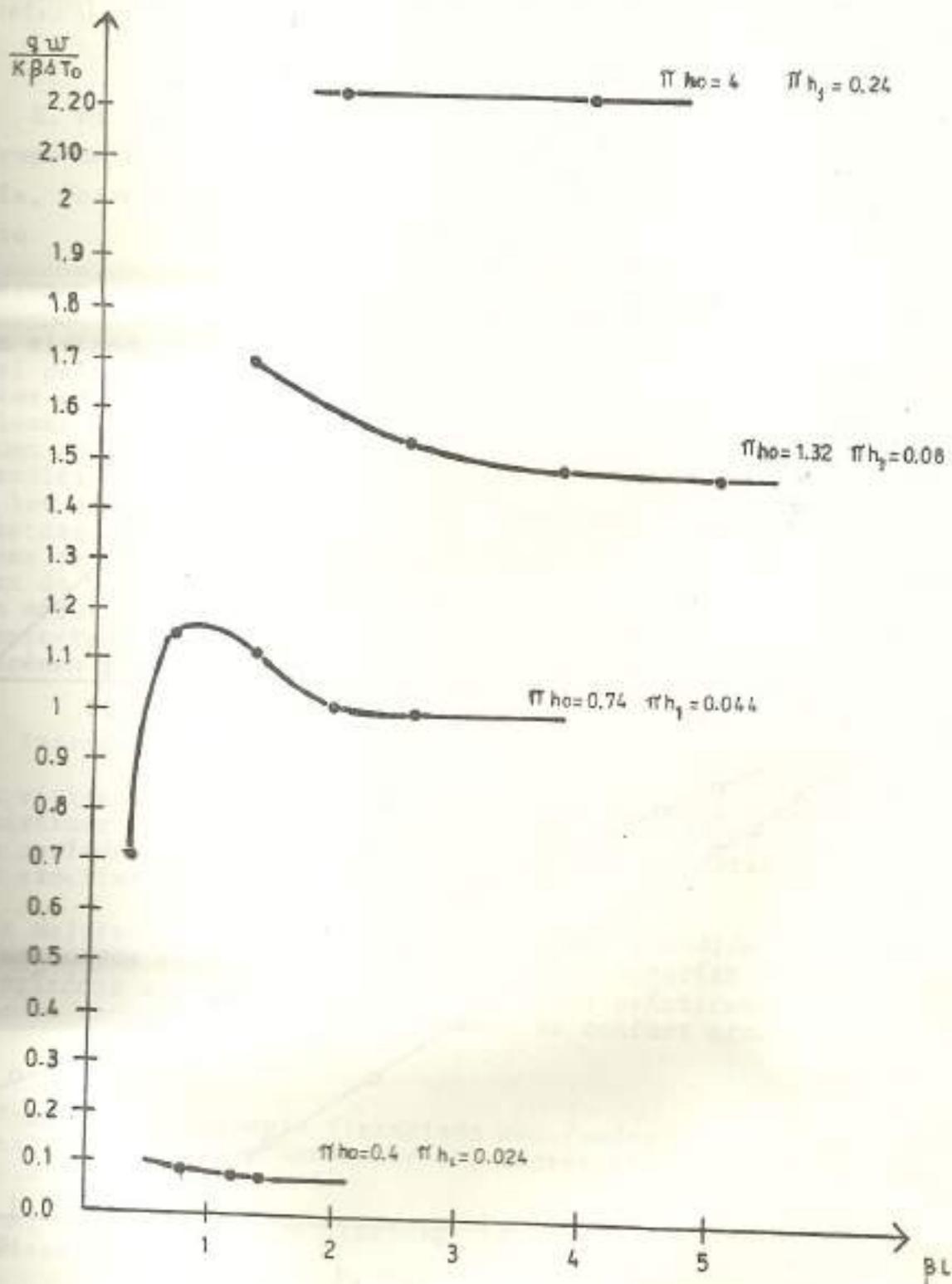


Fig. 10

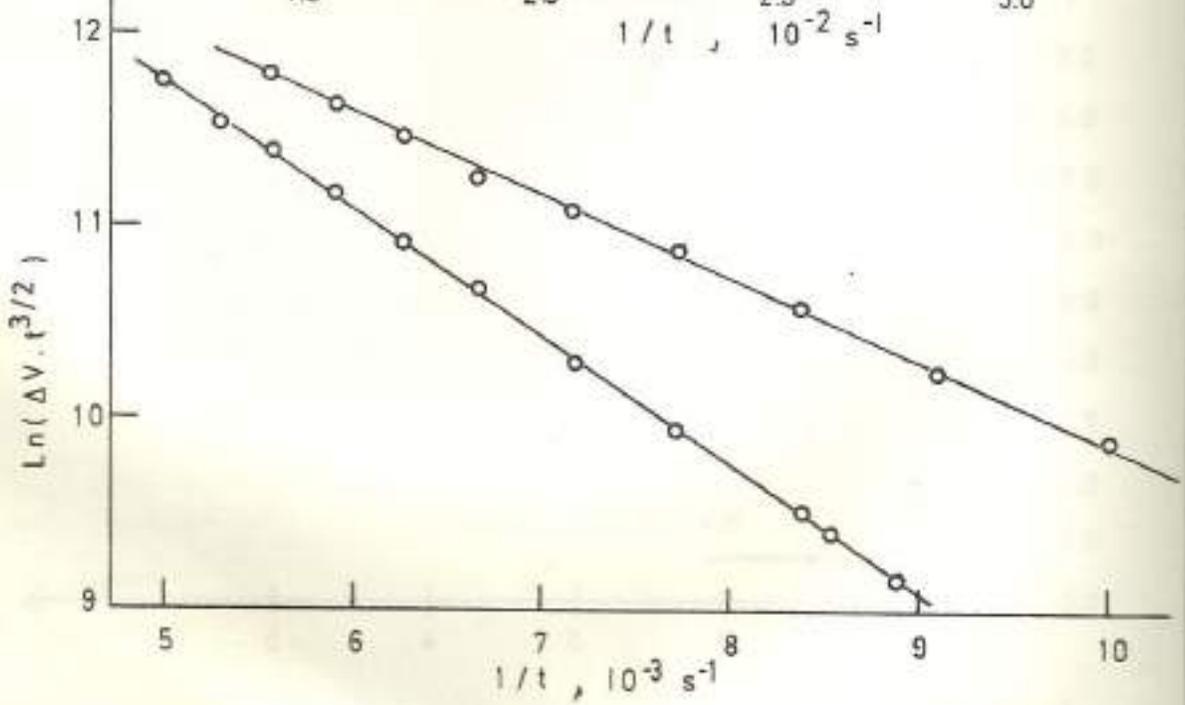
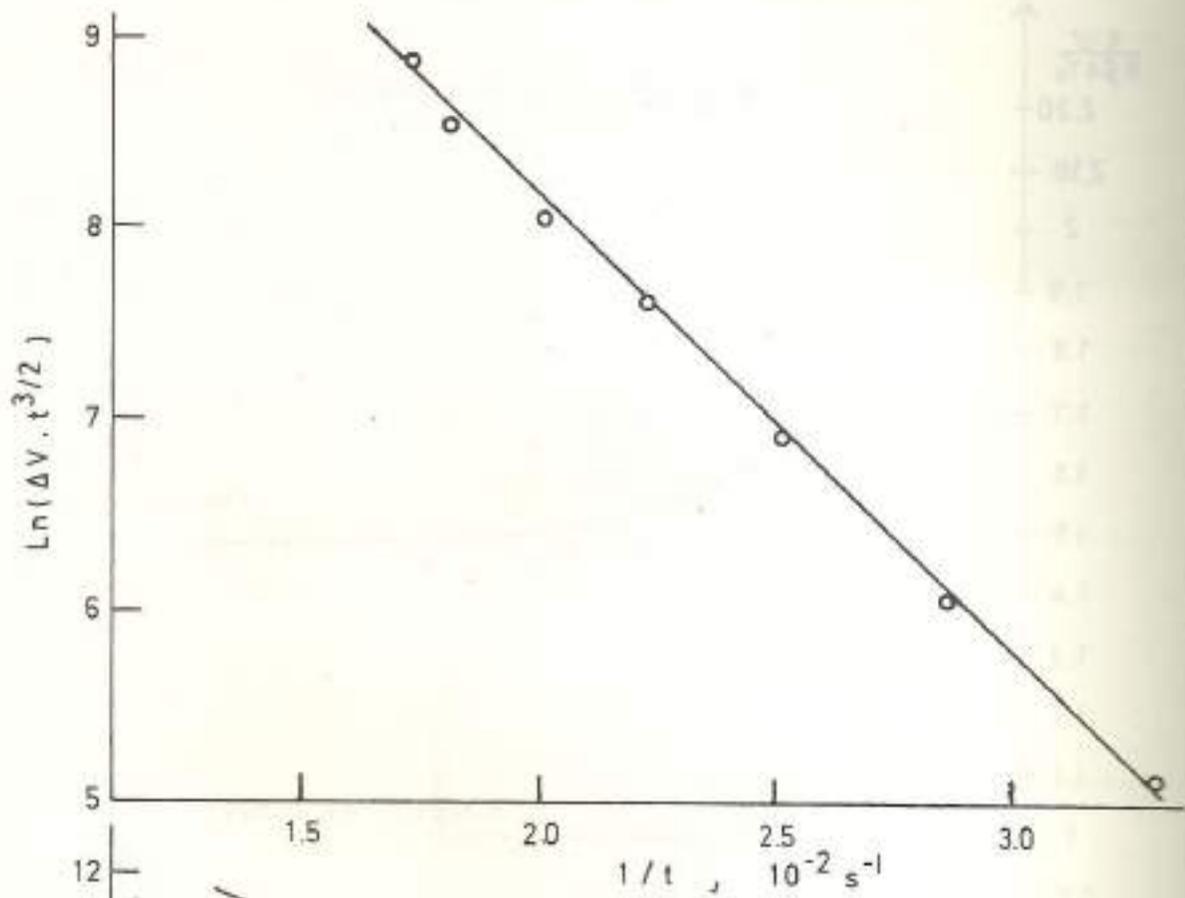


Fig. 11.-