

PROYECTO DE EDIFICIO PARA LABORATORIO  
EXPERIMENTAL DE ENERGIA SOLAR\*

D. Verger<sup>x</sup>, G. Arino<sup>x</sup>, L. Machado<sup>x</sup>, R. D. Piacentini<sup>#</sup>  
y E. Di Bernardo<sup>o</sup>

Grupo de Energía Solar, Universidad Nacional de Rosario,  
Av. Pellegrini 250, 2000 Rosario

Resumen

Las mediciones realizadas en la vivienda Sol 55 durante dos períodos invernales y los estudios relativos a su consumo energético y al funcionamiento de su pared captora, han permitido determinar cuantitativamente la contribución de sistemas pasivos de captación solar al confort de ambientes en la zona de la pampa húmeda.

A los efectos de modelizar grandes construcciones con aprovechamiento solar y mínimo consumo energético, se ha comenzado con el presente proyecto de un laboratorio experimental de energía solar, con las siguientes características básicas:

- Adaptación al medio ambiente, flexibilidad del interior y posibilidad de crecimiento
- Área captora solar flexible
- Envoltente exterior de alta resistencia térmica
- Inercia térmica variable
- Optimización de piel, área captora y volumen
- Reducción del consumo energético
- Control de ventilación y extracción eólica
- Disminución de la humedad relativa y regeneración solar

1. Introducción

El presente proyecto de Laboratorio del Grupo de Energía Solar de la Universidad Nacional de Rosario, se basa en la necesidad de contar con un edificio de ambiente controlado para la reali-

\* Trabajo parcialmente financiado con fondos del Programa Nacional de Energía No Convencional de la SECYT

x CEAB (Centro de Estudios de Arquitectura Bioambiental)

# Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Nacional de Rosario y CONICET

o Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Rosario

zación de experimentos, como así también en la posibilidad que brinda dicho edificio de evaluar su comportamiento. El diseño tiene en cuenta la experiencia acumulada por el grupo en construcciones solares pasivas destinadas a vivienda(1), (2) y si bien la premisa básica es la captación de la energía solar, la economía de la energía empleada en todo el proceso (de construcción y utilización) es considerada con particular atención.

Existen varios edificios de este tipo construídos o en proceso de construcción, en distintos países (3), (4), (5), que han sido proyectados teniendo en cuenta las exigencias particulares de las instituciones, de los modos de funcionamiento y de los climas para los cuales fueron propuestos. El Laboratorio Solar en estudio tiene características propias, que han sido condensadas en el resumen y se describirán a continuación.

En el parágrafo 2 se desarrolla la proposición de partido y se presenta el edificio, en 3 se analizan la pared captora y los posibles experimentos a realizar, en 4 se propone la forma de reducir el consumo energético y en 5 se mencionan las conclusiones y perspectivas futuras.

## 2. Proposición de partido y descripción del edificio

El edificio es esencialmente pasivo en la forma de captación solar y une las características de máximo consumo de energía no convencional con las de ahorro global de energía, de materiales empleados en su construcción y de sustancias básicas de consumo continuo.

La propuesta de partido está esquematizada en la figura 1, donde se detallan la envolvente exterior de alta resistencia térmica, la masa térmica, la zona de captación del plano Norte y del techo, la pantalla protectora y la aireación controlada con extracción eólica. La concepción es modular, con suficiente indeterminación interior y robustez exterior, como para otorgarle amplias flexibilidades de ocupación y crecimiento posterior.

En la figura 2 se presenta una vista general de una versión preliminar del edificio. Puede observarse que la zona central de ocupación está independizada del núcleo de servicios (que se encuentra ubicado a la derecha de la entrada). Además, el ingreso se efectúa a través de una puerta trampa, que atempera las diferencias climáticas entre el exterior y el interior.

La propuesta final se muestra en la figura 3.

Las plantas subsuelo, baja, primer piso y azotea se describen en las Fig. 4 y 5. De la primera surge la simplicidad de la descarga a través del patio inglés, de materiales que se emplearán como acumuladores térmicos. La circulación técnica permite un fácil acceso a los distintos sectores del subsuelo.

En el área de escalera de las plantas baja y alta, se han agrupado los servicios sanitarios a fin de liberar el edificio de zonas "duras". Con ello la zona-central queda subdividida en módulos de 1,2 m de ancho que se repiten paralelamente y que, en múltiplos de 2 ó 3, definen cada local destinado a experimentación o estudio.

En la azotea se ubican el taller y los sistemas solares activos a ser estudiados bajo la acción del medio ambiente exterior. Las distintas plantas se han vinculado mediante un montacargas manual que permite desplazar elementos relativamente pesados por su relación particular de fuerzas.

En las figuras 6 y 7 se representan un corte y las vistas Este, Norte y Sur. En el corte se observan los entrepisos técnicos de altura igual al ancho de cada módulo, a los efectos de permitir el paso de ductos y conductos con gran facilidad. También se destacan el sistema de ventilación forzada eólica y una pluma rebatible que se desplaza a lo largo de todo el frente, destinada a montar, desmontar y realizar el mantenimiento de los sistemas solares. En las vistas puede apreciarse el cerramiento modular prefabricado liviano que envuelve exteriormente todo el edificio, evitando los puentes térmicos. Dicho cerramiento consta de una estructura de perfiles de chapa doblada, tratada contra la corrosión y cubierta exteriormente por una placa de material de alta resistencia al impacto y a la acción del medio ambiente y de fácil mantenimiento. El material específico a utilizar resultará de un estudio en el cual se tendrán en cuenta los factores antes mencionados, además de la energía base del mismo. Esta energía es la que tiene en cuenta, en principio, toda la empleada en la producción de una unidad de masa de dicho material. La cara hacia el interior del edificio es de placa de yeso. El interior del panel está constituido por un material de alta resistencia térmica (espuma con aire o gas), la correspondiente barrera de vapor y una cámara de aire ventilada al exterior a través de pequeños orificios, de manera tal de reducir los riesgos de condensación. Dada la característica experimental del edificio, es conveniente independizar las variables resistencia (R) y masa (M) térmicas, por lo que en el presente caso se propone una masa térmica variable a los efectos de optimizar la inercia térmica ( $I=MR$ ) del edificio. Esta optimización deberá adecuarse al área bioclimática y permitir adaptarse a variaciones con períodos cortos (de algunos días) o largos (estacionales) (Fig. 8)

Otro detalle a señalar es la ubicación de los depósitos de agua caliente en la parte superior de la caja de escaleras, lo que permitirá su calentamiento por termoconvección natural. Por otra parte, la capacidad de acumulación del tanque de agua fría está sobredimensionada a los efectos de tener en cuenta el caudal de agua necesario para casos de incendio.

### 3. Pared captora solar y experimentación

Comose detalla en la figura 1, la pared captora está orientada directamente al Norte y se encuentra subdividida en módulos horizontales y verticales que abarcan todo el frente del edificio. Esta modulación permite una amplia independencia de los locales interiores regulando el aporte solar por sectores. El área vertical principal está destinada a diferentes muros colectores-acumuladores y a una zona de ganancia directa, donde se ensayarán propiedades físicas de materiales semitransparentes frente a la radiación solar y diversos sistemas de aislación de ventanas, que reduzcan sensiblemente las pérdidas de calor.

En la planta alta se han previsto alternativas de colección solar en planos inclinados con distintos ángulos. Esto le confiere a dicha planta, flexibilidad para experimentar diferentes planos de colección. En la azotea, el plano Norte quebrado que cierra el ático técnico, está destinado al ensayo de sistemas solares activos.

En la tabla I se detalla la radiación solar global que incide sobre el área captora, en un día (alrededor del 20 de cada mes) de cielo sin nubes pero con alta humedad atmosférica comparable a la habitual en la zona. Los cálculos se efectuaron siguiendo el modelo JB78 (6) con un valor de transmitancia atmosférica de 0,77.

Tabla I. Radiación solar global diaria, alrededor del día 20 de cada mes, incidente sobre el área captora Norte del Laboratorio Solar, considerando una transmitancia atmosférica de 0,77

MES		JUNIO	JUL. MAY.	AGO. ABR.	SET. MAR.	OCT. FEB	NOV. ENE.	DICIEM
SOBRE (MJ)	PLANO VERTICAL	1350	1250	1150	1100	850	600	480
	PLANO INCLINADO	1700	1800	2200	2400	2400	2200	2100
TOTAL RADIACION (MJ)		3050	3050	3350	3500	3250	2800	2580

Dado que el área captora del edificio es  $S=220 \text{ m}^2$  y el volumen de la parte central habitable es  $V=1625 \text{ m}^3$ , la relación entre ambas cantidades resulta  $(S/V)=0,13 \text{ m}^{-1}$ . Este valor es bastante menor que el de la vivienda Sol 55 (que es igual a 0,23), lo que implica una mayor exigencia para la captación solar. Sin embargo, las mejoras introducidas en el presente diseño y su menor pérdida térmica fundamentalmente por menor relación envolvente superficial-volumen, respecto de la vivienda antes mencionada, compensarán la diferencia en  $(S/V)$ .

En el subsuelo se ensayarán distintos métodos de acumulación de calor y de frío, así como el comportamiento de recintos semienterrados con entorno de materiales de diferentes difusividades térmicas (7).

Los experimentos se irán desarrollando en etapas sucesivas y estarán encuadrados dentro de tres líneas básicas:

- a) Captación de la radiación solar  
Colectores solares de diseño simple (8)  
Estudios interdisciplinarios, tales como radiación solar y crecimiento de vegetales (7), etc
- b) Aplicaciones a la arquitectura  
Propiedades físicas de materiales empleados en las construcciones (difusividades térmicas, transmitancia de cuerpos semitransparentes, etc.)  
Ensayo de componentes y sistemas activos y pasivos
- c) Aplicaciones al secado  
Ensayo en prototipos de laboratorio de secadores solares  
Propiedades físico-químicas de los cuerpos a deshidratar

En uno de los locales del edificio, se instalará un simulador solar, para posibilitar el ensayo de colectores solares en ambiente controlado y con amplia variación de parámetros tales como la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, etc. Se podrá efectuar además, la prueba acelerada de materiales de aplicación en la captación de la energía solar.

Se realizarán experiencias con sustancias higroscópicas regenerables con energía solar, a fin de reducir la tensión de vapor, lo que aumenta el confort bioambiental de verano.

Un amplio experimento, permitido por la flexibilidad modular del edificio, consistirá en simular viviendas en planta baja, alta o duplex, que podrán destinarse también a exposición temporaria ( Fig. 8)

#### 4. Reducción del consumo energético

El ahorro es de fundamental importancia en todo sistema que consume energía. Considerando en particular el rubro de la construcción, las pérdidas de calor en invierno y las ganancias de calor en verano, son el origen de un empleo excesivo de combustibles convencionales. En edificios a construir, como en el presente caso, estos inconvenientes pueden reducirse en gran medida, efectuando un diseño racional que economice al máximo el consumo global, tanto en el período de construcción como en el de utilización. En este último caso, debe tenerse en cuenta que el ahorro no debe ir en detrimento de la durabilidad, constancia de confort y prestación del edificio. De lo contrario simplemente se trasladaría el problema del consumo energético, desde el período inicial al de toda su (reducida) vida útil.

Es de gran importancia para la economía energética, que el área exterior no captora tenga alta resistencia térmica. A los efectos de determinar el material apropiado, en la tabla II, se comparan sus propiedades físicas

Tabla II. Características de aislación térmica de materiales con  $U = 1 \text{ W/m}^2\text{C}$ .

MATERIAL	$C_{p/v}$ KJ/m <sup>3</sup> °C	K w/m°C	* ESPESOR m	** ENERGIA MJ	*** $\Delta T$ °C
HORMIGON	1760	1,00	0,83	29,2	0,04
" LIVIANO	1000	0,30	0,25	5,0	0,24
LADRILLO	1360	0,84	0,70	19,0	0,06
MADERA	730	0,14	0,12	1,7	0,68
AGLOMERADO	500	0,1	0,083	0,83	1,40
CARTON PRENSADO	300	0,05	0,042	0,25	4,80
POLIESTIR. EXPANDIDO	25	0,03	0,025	0,01	96,00

\* ESPESOR DEL MATERIAL DE  $U=1 \text{ W/m}^2\text{C}$

\*\* ENERGIA REQUERIDA PARA ELEVAR EN 20°C, UN M<sup>2</sup> DEL MATERIAL DE ESPESOR

\*\*\*AUMENTO DE TEMP. DEL MAT. AL APLICAR EN UN MINT. UN KW

para coeficiente de pérdida  $U$  constante y relativamente bajo, incluyendo además los espesores y las energías requeridas para aumentar la temperatura en 20°C de un metro cuadrado de ese espesor de material (?). De esta tabla se deduce que un hormigón liviano, con un espesor 3,1 veces menor que el común, tiene el mismo coeficiente de pérdida, y necesita casi seis veces menos energía que éste último, para elevar su temperatura en 20°C. Por consiguiente, se utilizará hormigón liviano en los muros exteriores del núcleo de escalera.

Cada pared Este, Oeste y Sur de la zona principal del edificio, se aislará con la estructura de paneles descrita anteriormente, previéndose reemplazar ciertas porciones por las de otros materiales (como los indicados en la Tabla II), a los efectos de comprobar la durabilidad en el tiempo de los mismos

De acuerdo al análisis del consumo energético en período invernal realizado para la vivienda Sol 55 (2), teniendo en

cuenta que el edificio ha sido proyectado para la misma zona bioclimática, con conceptos básicos de captación similares y que además la utilización será intermitente (adecuando al máximo su funcionamiento a las horas de sol), estimaciones preliminares dan un ahorro de alrededor del 80 % de energía, respecto de edificios convencionales de igual superficie.

Este análisis incluye tanto los gastos de calefacción como los derivados del agua sanitaria caliente y de la iluminación.

Si bien en el período estival se tiene solo una estimación de la posible economía en vivienda, es importante considerar que el uso diurno, la desocupación por alrededor de un mes por vacaciones y el control de la ventilación reducirán sensiblemente las necesidades de refrigeración, llegándose en definitiva a una proposición de ahorro similar a la de invierno. Las propias investigaciones que se lleven a cabo en el laboratorio, determinarán si es factible de acrecentar el ahorro hasta lograr una independencia total de los combustibles tradicionales en condiciones económicamente rentables (teniendo en cuenta el aumento sustancial y constante del costo de la energía), así como de transformarlo "en exportador de energía" a edificios vecinos.

Para poder efectuar un control riguroso del consumo total de energía y sustancias básicas (agua potable y aire), se ha previsto ubicar medidores de estos insumos básicos, que den información instantánea para el cómputo del gasto total y para determinar al mismo tiempo excesos de consumos, respecto del valor medio estimado como normal.

En lo concerniente a electricidad, se discriminará la empleada para iluminación de la destinada al acondicionamiento de ambientes, servicios varios y experimentación. El uso de agua sanitaria se reducirá sensiblemente empleándose atomizadores en lugar de cañillas. En el caso del aire ambiental, el cuidadoso control de sus lugares de ingreso y egreso y el número mínimo de renovaciones por hora, compatible con el confort, son factores determinantes de las pérdidas por infiltración y ventilación. El movimiento del aire se efectuará con sistemas eólicos y ventiladores convencionales.

Es evidente que una contribución significativa al ahorro de energía debe provenir de los usuarios y del personal de mantenimiento del edificio, al evitar consumos excesivos y supervisar los distintos sistemas de control. En una primera etapa, este control será realizado semiautomáticamente. En una etapa posterior se instalarán microprocesadores que accionen automáticamente los distintos sistemas solares y convencionales en función de las condiciones climáticas, necesidades internas, etc.

## 6. Conclusiones y perspectivas futuras

El proyecto de edificio que se propone en el presente trabajo, tiene varias particularidades que lo diferencian de otros similares destinados también a Laboratorio Solar, tales como la flexibilidad del interior y la posibilidad de expansión, la inercia térmica variable, el control de ventilación eólica, la posibilidad de simular locales, apartamentos o viviendas de varias plantas y la economía de energía y de sustancias básicas.

Antes de comenzar la edificación, se proyecta efectuar un estudio del consumo de "energía base" de los materiales empleados en su construcción (10) y evaluar así, tanto los costos determinados con criterios usuales en la práctica económica, como los que incorporan el concepto de energía base antes mencionado.

Las posibilidades de desarrollo futuras son amplias y se centran en el edificio en sí y en los experimentos que se efectúen en el mismo.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento a los restantes integrantes del Grupo de Energía Solar y a A. Seggiaro y S. Tombolini del Centro de Estudios de Arquitectura Bioambiental, por la colaboración prestada en distintas etapas de este trabajo.

## Referencias

1. E. Di Bernardo, R. Gaspar y R.D. Piacentini. Estudio comparativo de la vivienda Sol 55 durante dos períodos invernales. Actas de ASADES, 1979, en prensa.
2. E. Di Bernardo, J.J. Elicabe Urriol y R.D. Piacentini. Consumo energético de la vivienda Sol 55 y experimentación de su muro colector-acumulador. Comunicación a la VI Reunión de ASADES, Catamarca, 1980.
3. Laboratorio Solar del SERI (Solar Energy Research Institute), Boulder, Colorado, EUA. Solar Age, 1979.
4. Laboratorio de Energía Solar del Fulmer Research Institute, Inglaterra. Physics Bulletin, mayo 1977.
5. Laboratorio Solar PHOEBUS, Ricerche per L'Energia Solare, S. p.A., Catania, Italia. Impreso descriptivo del Laboratorio.
6. J.D. Borgato. Un modelo analítico para la radiancia de cielos despejados de distinta turbidez y arbitraria extensión visible. Publicación Facultad de Arquitectura (U.N.R.), 1978.
7. M.A. Lara, J.J. Elicabe Urriol y R.D. Piacentini. Recinto de ambiente controlado para el crecimiento de vegetales. Informe Técnico 1/80, Grupo Energía Solar, Universidad Nacional de Rosario, 1980.
8. A. Cortés y R.D. Piacentini. Colectores solares de aire de diseño simple. Actas de la 5ta. Reunión de ASADES, Córdoba, 1979.

En prensa.

9. P. Burberry, Building for energy conservation. The Architectural Press, Londres, Gran Bretaña, 1978.
10. R.A. Kegel, en Handbook of energy conservation for mechanical systems in buildings (R.W. Roose, editor), Van Nostrand Reinhold Co., New York, EUA, 1978.

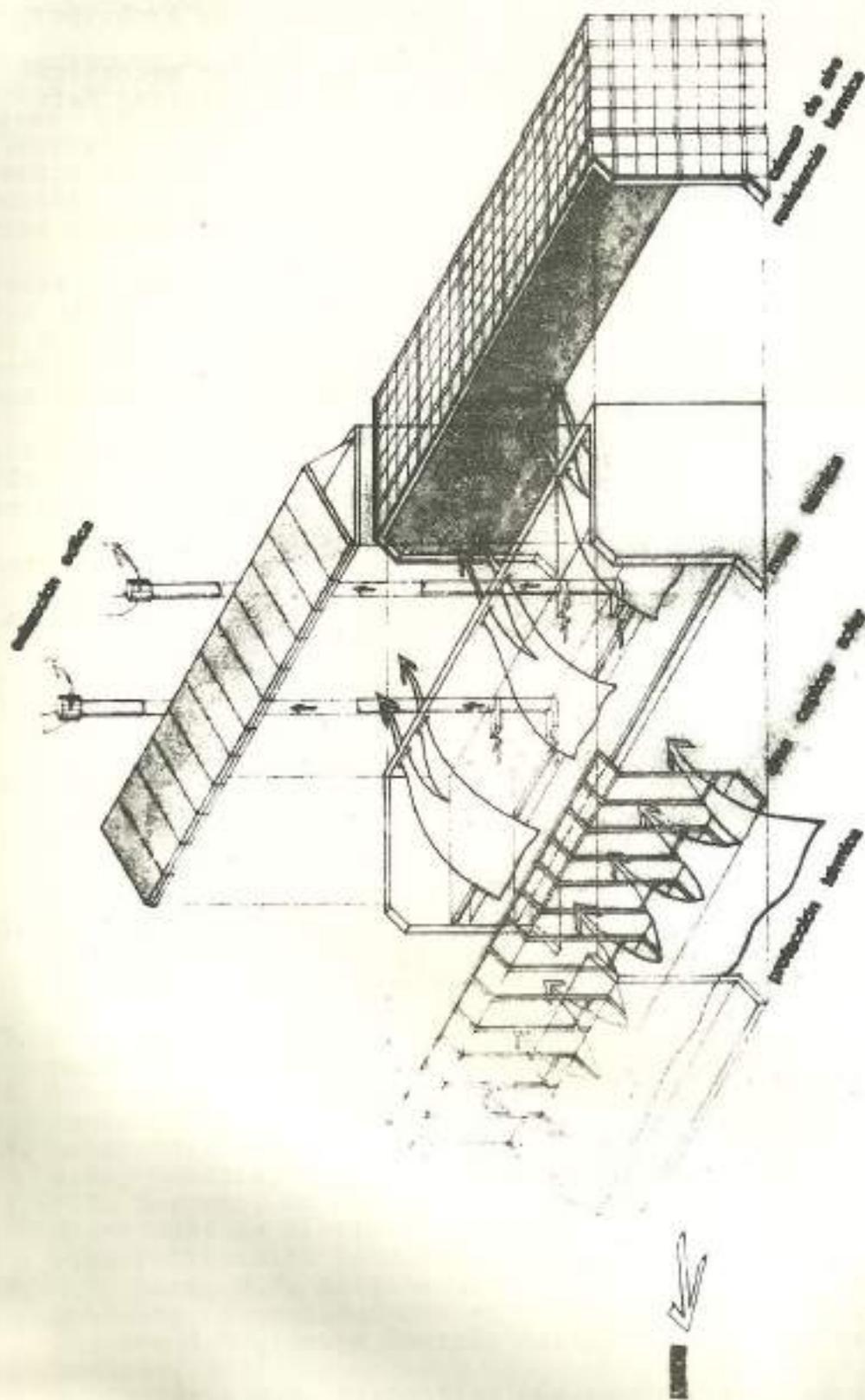


FIGURA 1

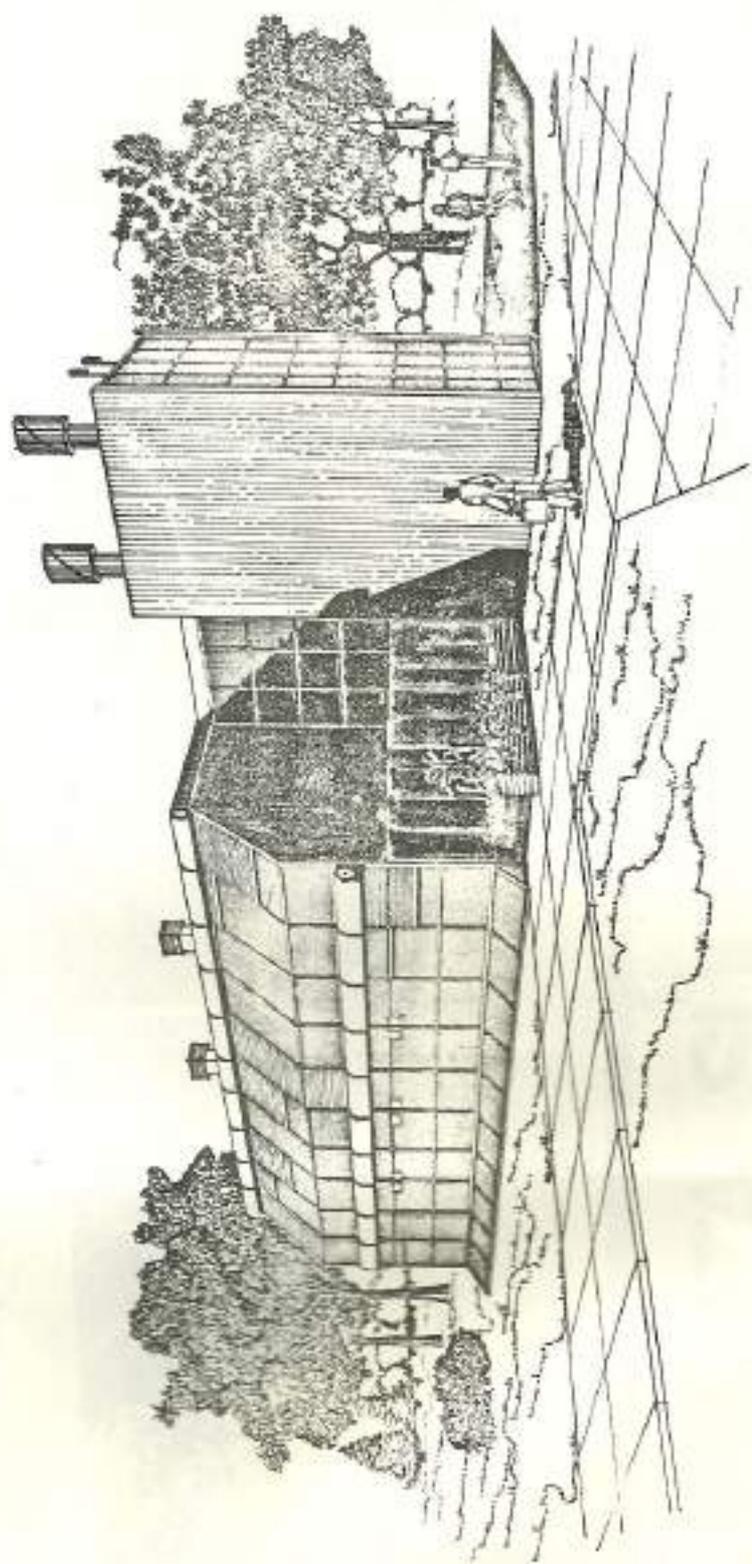
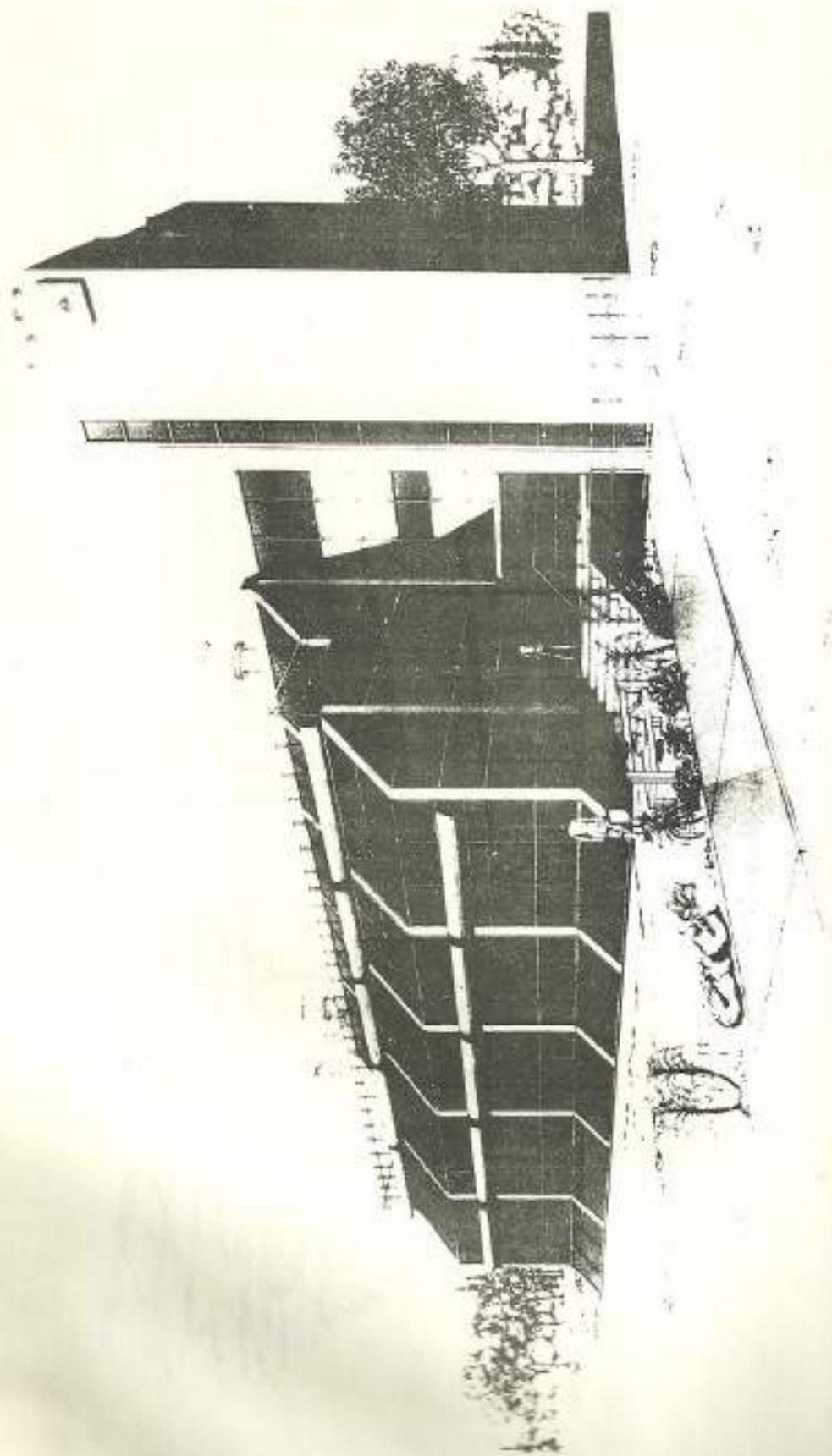
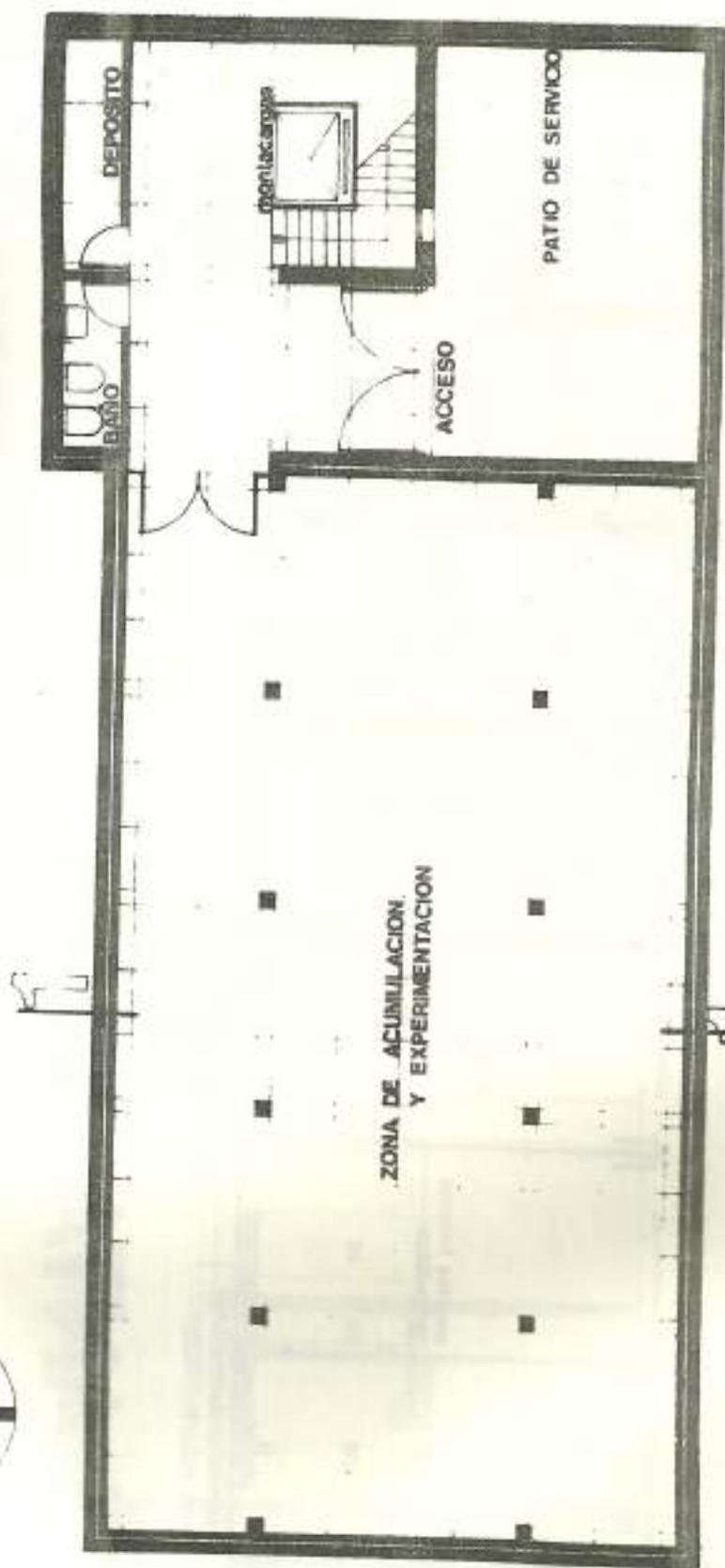


FIGURA 2

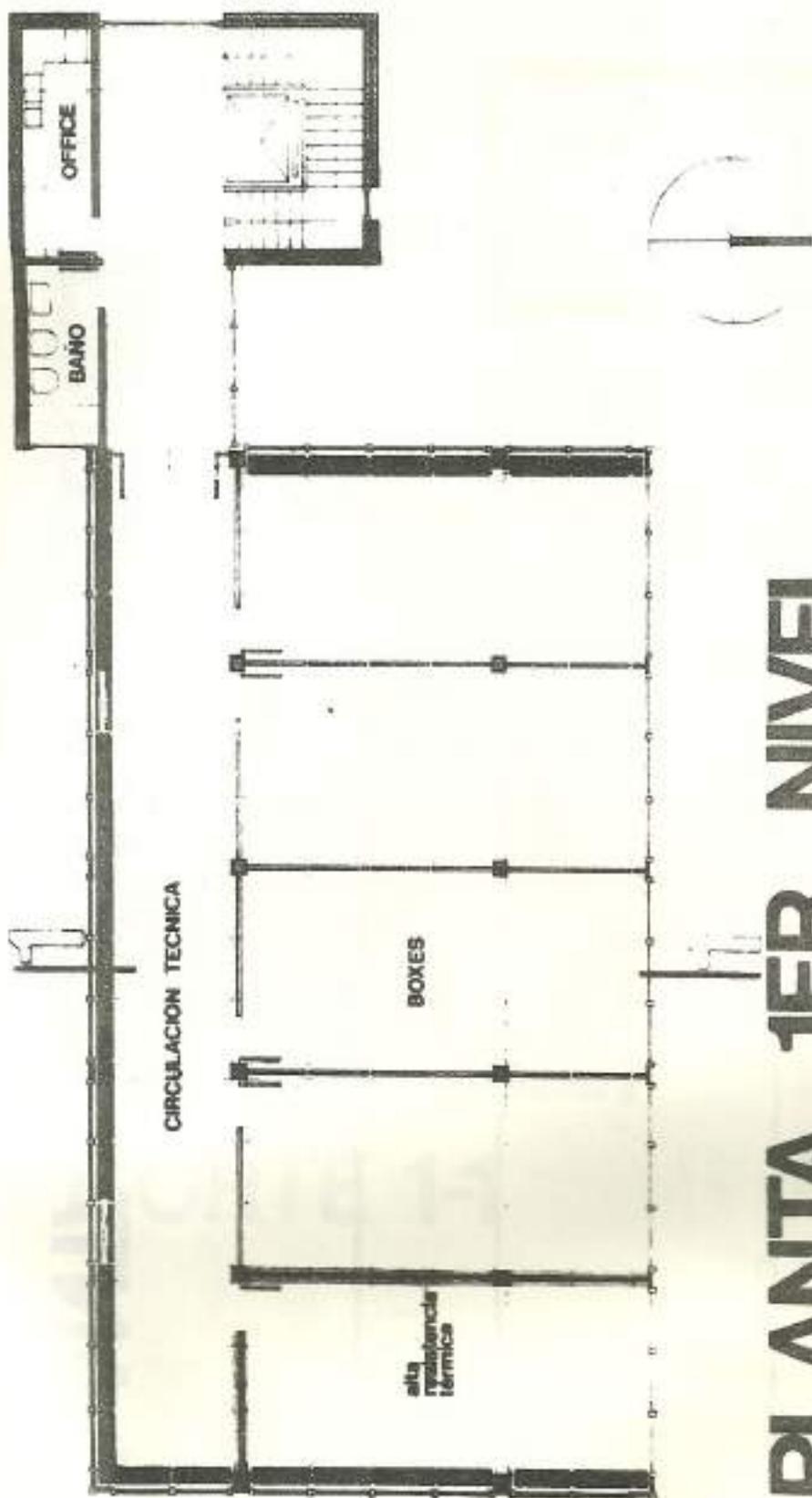




# PLANTA SUBSUELO

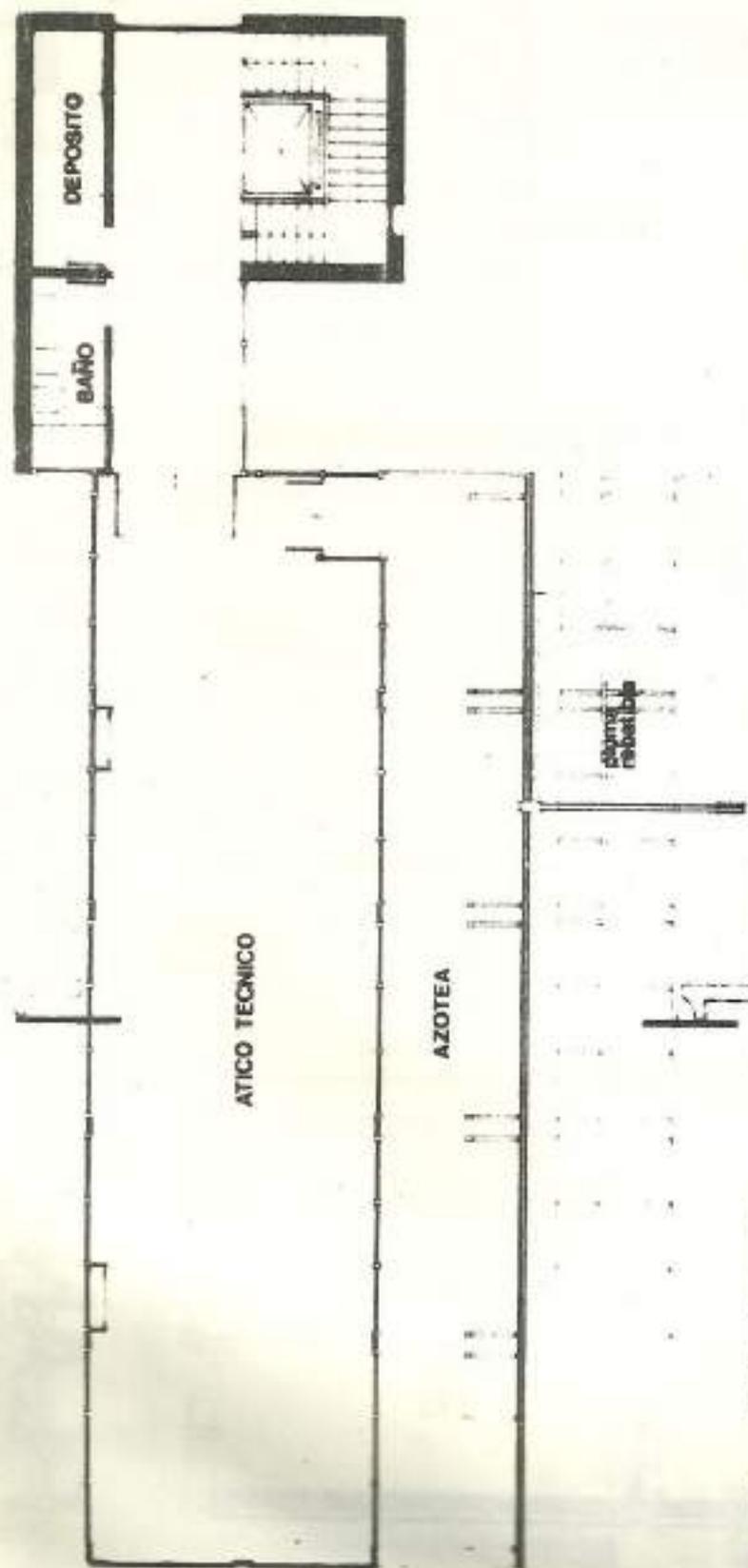
FIGURA 4'





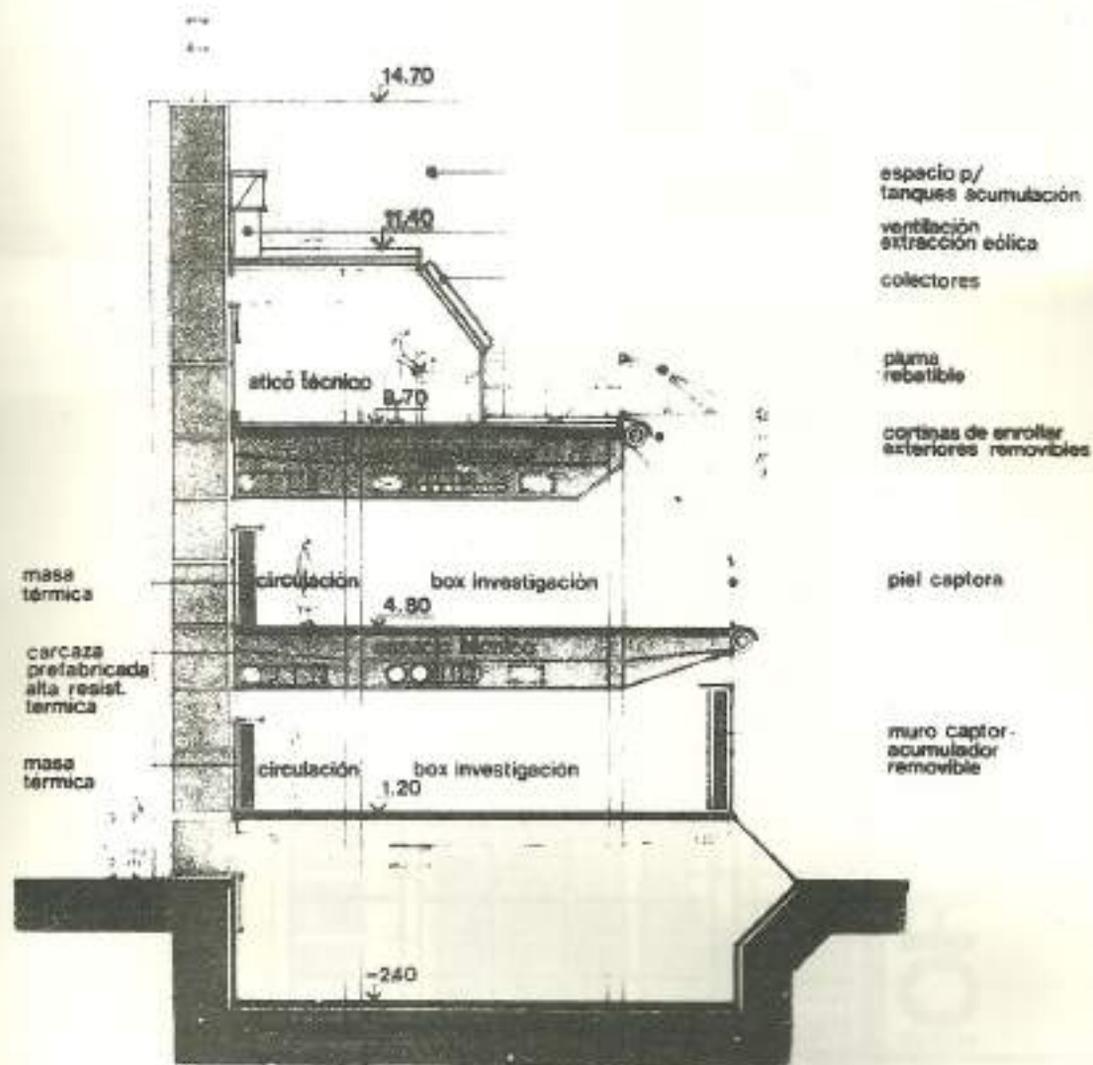
# PLANTA 1ER NIVEL

FIGURA 5\*



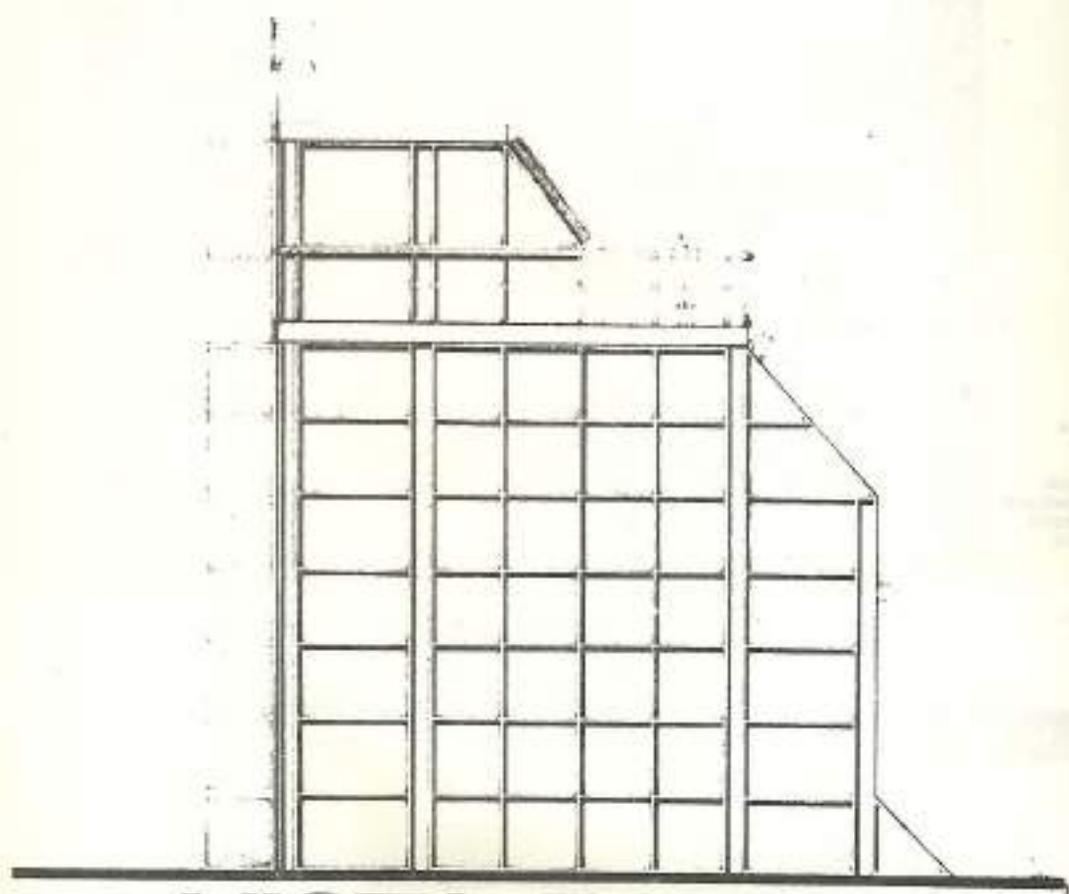
# PLANTA AZOTEA TECNICA

FIGURA 5''



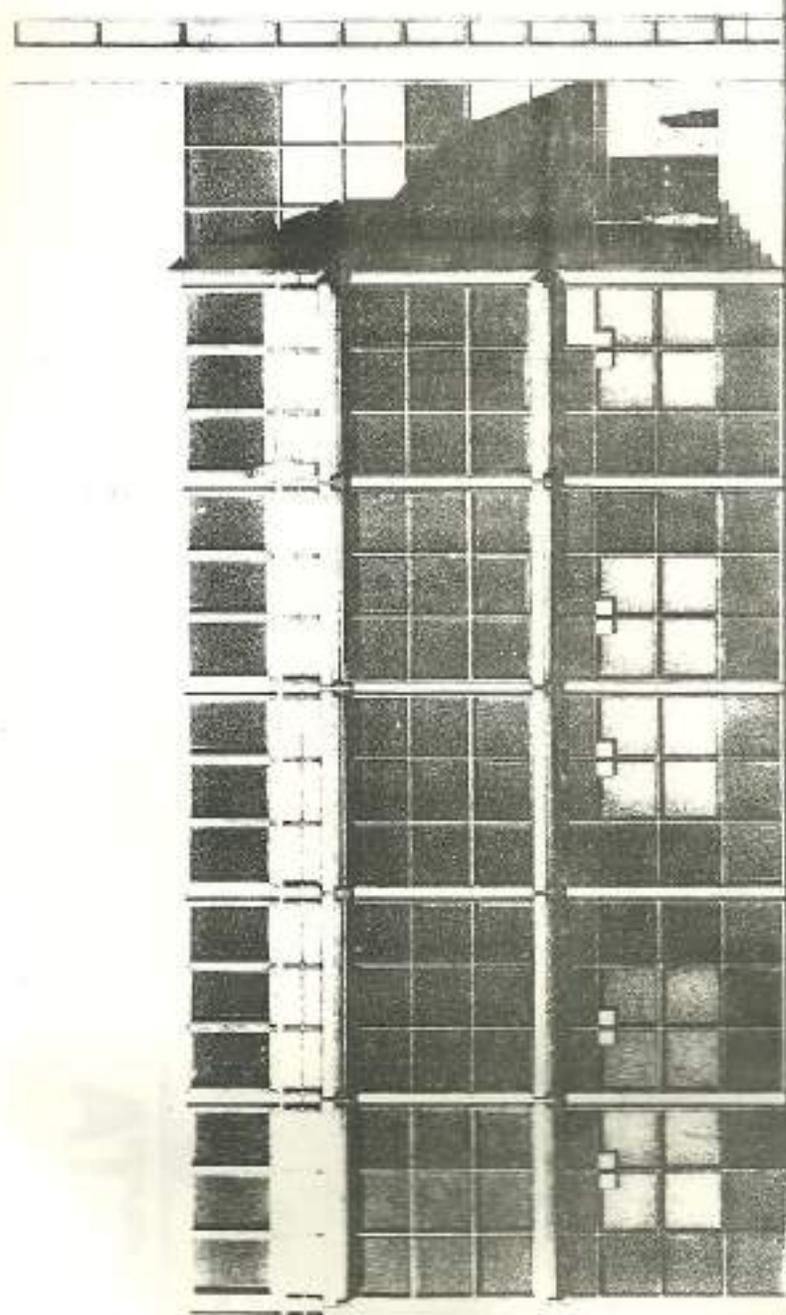
# CORTE 1-1

FIGURA 6''



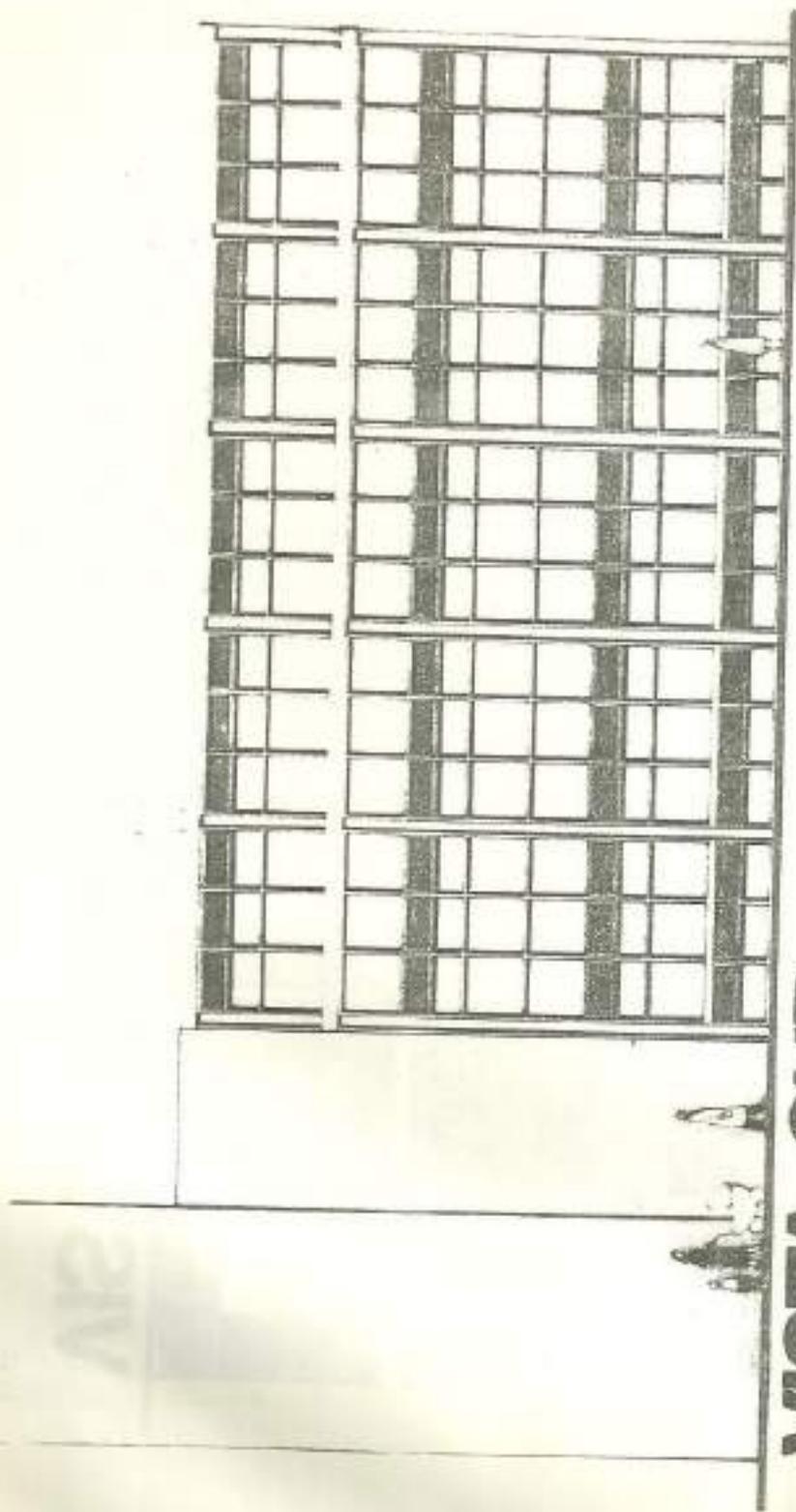
# VISTA ESTE

FIGURA 7'



**VISTA NORTE**

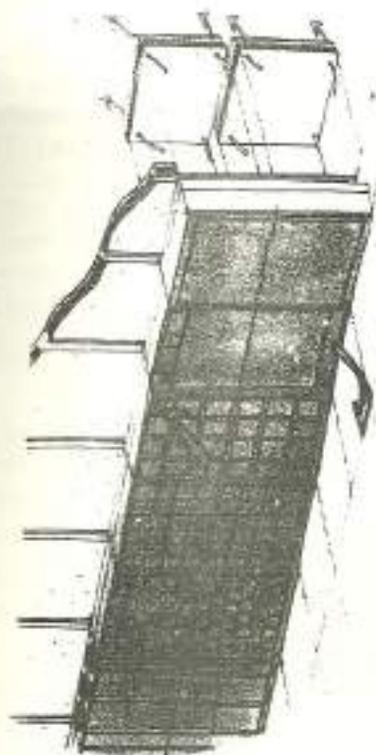
FIGURA 711



# VISTA SUR

FIGURA 7''''

ALTERNATIVAS DE  
EXPERIMENTACION  
EN MASA TERMICA



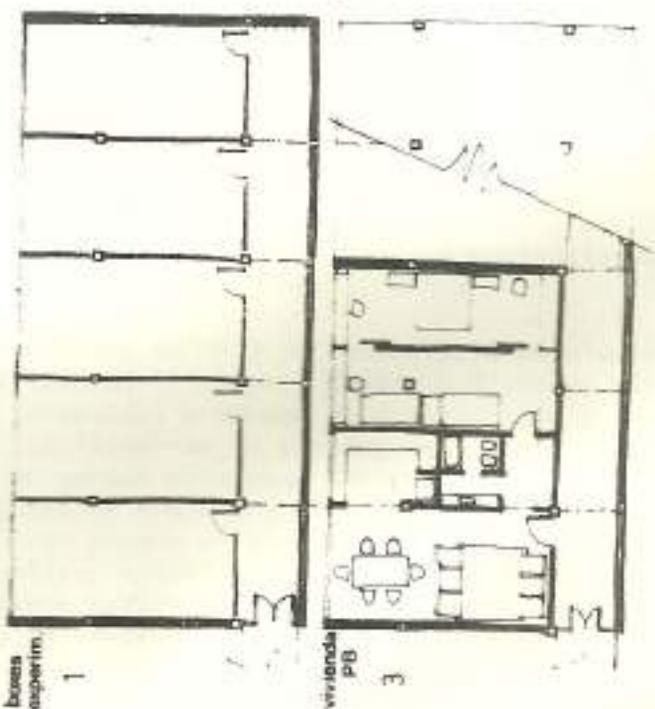
100  
100  
100  
100



ALTERNATIVAS DE  
TABICAMIENTO  
INTERIOR

bases  
aspirim.

1

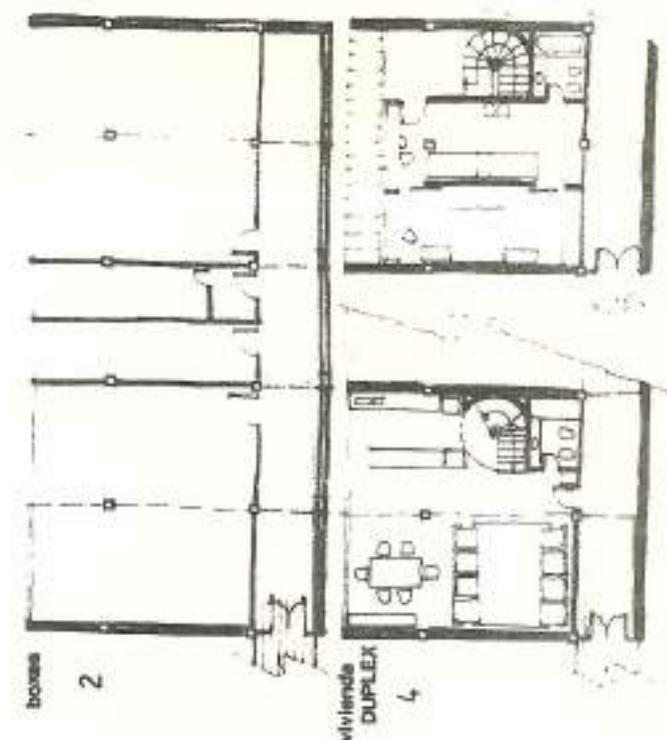


vivienda  
PB

3

bases

2



vivienda  
DUPLEX

4

FIGURA 8