

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UN SECADERO  
SOLAR DE UVA

A.A. Iriarte, E.S.de Buenader, S.B.de Biagi

Grupo de Energía Solar  
Dpto. de Ciencias Agrarias

Universidad Nacional de Catamarca

RESUMEN:

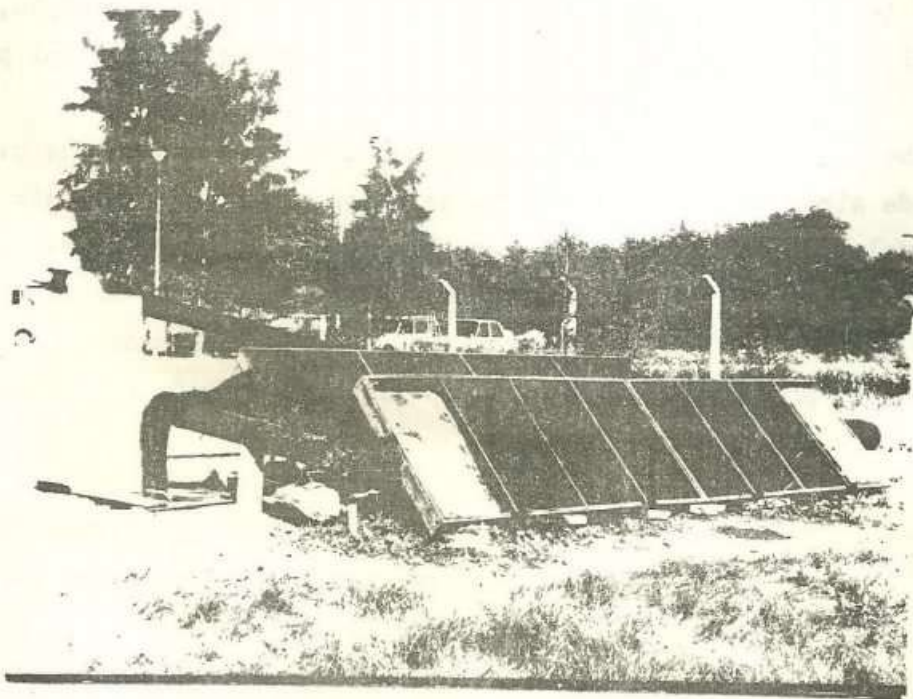
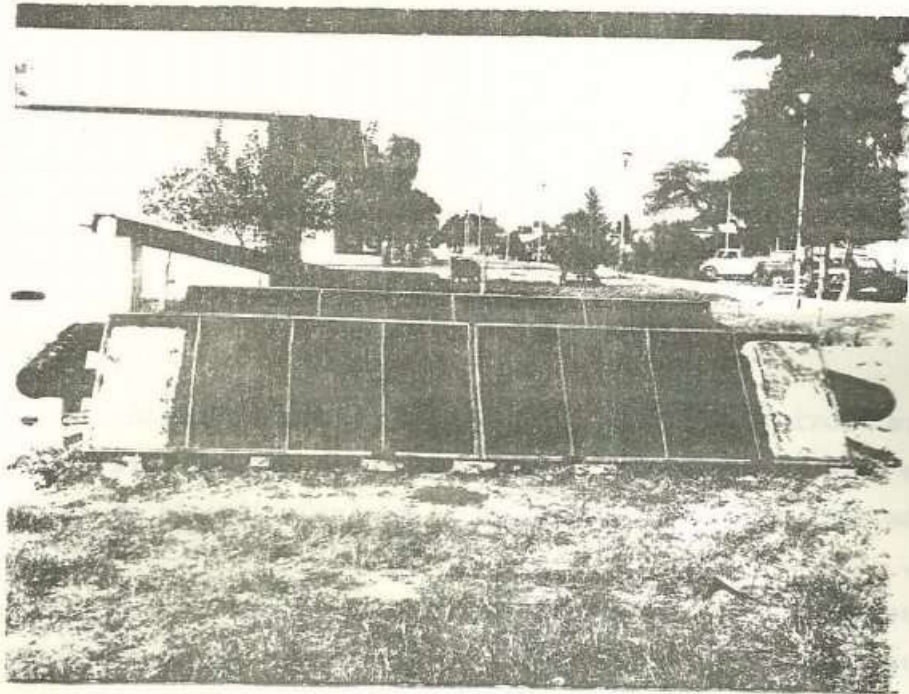
En nuestra Provincia el cultivo de la vid es uno de los más importantes, em-  
pleándose para la producción de vino y de pasa de uva. Para esta última ac-  
tividad se usan métodos de secado por exposición directa en canchones al ai-  
re libre.

En el presente trabajo se estudia la posibilidad de uso de sistemas solares  
para el secado de uva. En el análisis, se incluye una breve descripción de/  
la situación actual del secado de uva en la Provincia. Asimismo se analiza/  
un modelo teórico de secado basado en balance de materia y energía, determi-  
nándose el calor necesario para evaporar un kilogramo de agua del producto/  
a secar.

Se describe los resultados de una experiencia de secado solar de uva con co-  
lectores de aire, en comparación con los datos obtenidos de la simulación /  
numérica del modelo teórico analizado. Los resultados comparados incluyen /  
temperatura y humedad a la salida de los colectores, temperatura del produc-  
to, calor gastado por cada kilogramo de agua evaporada, humedad del produc-  
to referida al producto seco, etc. todos ellos en función del tiempo.

INTRODUCCION:

En el oeste de la Provincia de Catamarca, y sobretodo en el Departamento Ti-  
nogasta, los productores se dedican al cultivo de la vid. En verano se reco-  
ge la uva que se destina a la elaboración de vino y aguardiente, al secado/  
para pasa y consumo de uva fresca. En los últimos años, debido al aumento /  
de la producción y a la capacidad de las bodegas del medio, fue mayor la //





fracción destinada a ser secada para pasa, oscilando entre el 35% y 40% lo que significa alrededor de 10.000 ton. de uva. Esto último ha obligado a // los productores a mejorar la calidad de la uva y a buscar nuevos mercados, es así que la pasa de uva de esta zona se vende en todo el país y en algu-// nos casos se llega a la exportación.

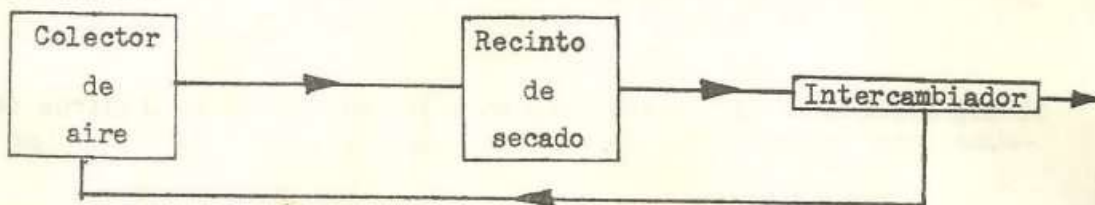
En general, el secado de uva se realiza en forma primitiva, se extiende el producto en los denominados "canchones", que son extensiones de tierra prepa- radas lo mejor posible en cuanto a su dureza, y se deja así aproximadamente de quince a veinte días, tiempo que dura el secado directo al sol. Este pro- cedimiento ocasiona problemas en la calidad y cantidad de pasa recogida, // por cuanto esta zona es seca, cálida y de vientos denominados zonda cuyas / características principales son la velocidad y el polvo de tierra que tras- lada que se adhiere a la uva al ponerse en contacto con la humedad de su su- perficie. Súmanse a los vientos las tormentas de verano, que en muchas oca- siones provocan el anegamiento de los predios destinados al tendido para pa- sas de uva. Este año se calcula en un 30% las pérdidas en el Departamento / Tinogasta. Es de destacar también que el producto extendido al aire libre / está expuesto a ser atacado por los insectos en cuyo caso es irrecuperable para cualquier fin.

En base a este análisis se concluye que es importante ofrecer al productor catamarqueño un método moderno y económico, que le permita mejorar la canti- dad y calidad de la pasa de uva aprovechando energía no convencional.

En el presente trabajo se realiza un análisis del modelo teórico, la des- / cripción y comparación de los resultados con los experimentales para secado de uva con un sistema que utiliza energía solar.

#### ANALISIS DEL MODELO TEORICO

Abocados en sí al estudio del secado consideramos en primera instancia los siguientes módulos:



Analizando esta instalación simple y discontinua, planteamos el siguiente / balance de materia y energía en el recinto de secado: El producto húmedo // (P + H) se introduce a la temperatura  $t_0$  y sale del dispositivo de secado / después de haber cedido su humedad H. P representa la cantidad de producto seco. El aire que penetra en el recinto extrae el agua de la uva y sale al exterior o tiene posibilidades de ser reciclado.

El balance térmico es el siguiente:

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{Calor del} & & \text{Calor entreg.} & & \text{Calor del} & & \text{Calor del} \\
 \text{aire a la} & + & \text{por el colec-} & + & \text{producto} & + & \text{agua in-} \\
 \text{entrada} & & \text{tor.} & & \text{seco.} & & \text{troducida.} \\
 \\ 
 \text{Calor} & & \text{Calor del} & & \text{Calor del} & & \text{Calor} \\
 + \text{reci-} & = & \text{aire a la} & + & \text{producto} & + & \text{perdido.} \\
 \text{clado} & & \text{salida} & & \text{seco} & & 
 \end{array}$$

Balance térmico en el recinto:

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{Calor del aire} & & \text{Calor del} & & \text{Calor del} & & \\
 \text{a la entrada} & + & \text{producto} & + & \text{agua intro-} & = & \\
 \text{del recinto.} & & \text{seco.} & & \text{ducida.} & & \\
 \\ 
 \text{Calor del} & & \text{Calor del} & & \text{Calor} & & \\
 + \text{aire a la} & + & \text{producto} & + & \text{perdido.} & & \\
 \text{salida} & & \text{seco.} & & & & 
 \end{array}$$

Las ecuaciones para el recinto son:

$$L h_2 + P c_p t_{o1} + P_r c_r t_{r1} =$$

$$L h_3 + P c_p t_{o2} + P_r c_r t_{r2} + Q_{pérd.}$$

El significado de la nomenclatura para los distintos parámetros se detalla

en la tabla I.

Llamando  $q$  al calor entregado por cada kg de agua eliminada del producto:

$$q = \frac{Q_{\text{entr.}}}{H} = \frac{L}{H} (h_1 - h_2) + \frac{P}{H} (t_{o3} + t_{o2}) + \frac{P_r}{H} c_r (t_{r3} - t_{r1}) - c t_{o1} + \frac{Q_{\text{pérd.}}}{H}$$

Si el proceso es ideal, es decir si no hay pérdidas y el calor sólo se gasta en la extracción de agua de la uva, la expresión queda así:

$$q = \frac{L}{H} (h_3 - h_1) - c t_{o1}$$

El balance de materia es:

$$H = L (x_3 - x_1)$$

Sustituyendo  $H$  en el balance térmico obtenemos finalmente:

$$q = \frac{h_3 - h_1}{x_3 - x_1} - c t_{o1}$$

En consecuencia para obtener el valor del calor entregado por cada kilogramo de agua extraída de la uva debemos conocer los valores de entalpía y humedad del aire a la entrada y a la salida del sistema. Por lo tanto para el modelo teórico consideramos que se conocen el estado de entrada del aire, / temperatura de salida del colector o entrada al recinto y el estado del aire a la salida del recinto. Con el diagrama de Mollier y las expresiones matemáticas correspondientes calculamos la humedad absoluta y el calor consumido para eliminar el agua del producto. La simulación numérica del modelo teórico, cuyos resultados se muestran en las figuras N° 2; 3; 5 y 7; se realizó con una minicomputadora Texas-TI 59.

### RESULTADOS

La uva de esta región es de piel fina, de tamaño grande y posee aproximada-



mente un 85 % de agua. Para obtener pasa de primera calidad, por conocimiento previo del producto, se determinó que debe tener aproximadamente un 7 % de agua.

Inicialmente realizamos una experiencia con estufa, de energía convencional a flujo forzado reciclado, en el mes de febrero. Las condiciones del aire / al comenzar la experiencia son los valores (1) que se dan en la Tabla II.

TABLA II

	Ambiente	Entr.al Recinto	Varia- ción	Temp Prod.	Salida recin.
Temperatura (1)	28,3°C	52,5°C	47,5°C	34,1°C	47,5°C
Humedad rela- tiva (1)	0,59	0,35	0,24		
Temperatura (2)	29°C	58,4°C	29,4°C	52,4°C	54,9°C
Humedad rela- tiva (2)	0,54	0,27	0,27		

Se midió la variación de las cantidades descritas en la Tabla II hora por hora, el tiempo total de secado fue de 96 horas. La pasa obtenida no es de primera calidad, se encuentra por partes cocida.

El análisis de las medidas es el siguiente: a siete horas de iniciado el / proceso los valores de temperatura y humedad son los que se presentan con denominación (2) en la Tabla II. A partir de esa hora los valores de temperatura y humedad en el recinto se estabilizan llegando a ser valores promedio los citados con denominación (2). Esto nos lleva a la conclusión de que la velocidad de difusión del agua en la uva es en general lenta. Superado el primer tiempo de evaporación superficial, que correspondería en sí a las primeras siete horas, la difusión es mucho más lenta y la piel del / producto por el paso del aire caliente se observaba en partes quemada por no existir agua en su superficie interior. Las condiciones de la estufa no permitieron reducir la temperatura de entrada ni la velocidad del aire por

por lo cual no pudo corregirse esta anomalía al ser observada. Sin embargo, se continuó con el proceso a fin de obtener una primera aproximación de los parámetros y resultados que intervienen para estructurar la experiencia solar.

Con la experiencia de la estufa y a partir del modelo teórico simulado se montó el sistema experimental solar, que consta de dos colectores en paralelo de una superficie de colección de  $4 \text{ m}^2$  cada uno, un recinto de secado de  $0,6 \text{ m}^3$ , un intercambiador a flujo paralelo y el aire es recirculado por un ventilador de 100 W de potencia. Se efectuó el secado de uva especial para pasa y los resultados teóricos y experimentales se analizan en conjunto para efectuar su comparación.

Para obtener las humedades relativas se usó el método psicrométrico y los valores obtenidos para el aire ambiente se compararon con los datos de la estación INTA encontrándose dentro del orden de los mismos.

Los días de secado no fueron de radiación óptima, en general pueden considerarse como inestables, incluso hubo un día de lluvia. Corrobora lo anterior los datos volcados en la Figura N° 1 que muestra la temperatura y humedad relativa ambiente correspondientes a los días de secado. El primer día se nubló alrededor del mediodía, permaneciendo inestable por la tarde. El segundo día se interrumpió el proceso por amanecer lluvioso, hubo una temperatura media ambiente de  $21,2^\circ\text{C}$  y humedad relativa media de 95%. En el tercer día se observó bastante inestabilidad, reiniciándose el secado a las trece horas. El cuarto día fue despejado y con viento continuado de aproximadamente  $30 \text{ km/h}$  de velocidad; se observa un alto valor de humedad relativa a las ocho horas. El cuarto y quinto día fueron buenos. Los valores medios ambientes de las cantidades descriptas se dan a continuación.

DIA	TEMP. MEDIA °C	TEMP. MAX. °C	TEMP. MIN. °C	HUM. REL. MEDIA
1	30,3	36,1	22,5	52 %
2 (interrump.)	21,2	24,1	17,8	95%
3	25,6	31,5	16,2	64 %



4	26,2	28,4	22,5	61 %
5	28,9	31,9	23,4	57 %
6	31,0	35,0	22,6	53 %

El producto se ubicó en el recinto suspendido por racimos, separándose racimos testigos para observar la pérdida de peso y obtener el tiempo y velocidad de secado. Por las noches se suspendió la circulación de aire por verificarse que no era necesario e incluso favorecía la difusión del agua hacia la superficie de la uva.

Con los datos de estado del aire a la entrada, se obtuvo el estado del aire a la salida del colector o entrada al recinto. En la Figura N° 2 se grafican los datos de humedad relativa teórica y las medidas experimental en función del tiempo en horas. En general las curvas tienen la misma forma y los valores se encuentran dentro del orden deseado, siendo los teóricos siempre menores, salvo en el valor atípico registrado el tercer día de secado a las / ocho horas que se corresponde con el alto valor de humedad relativa ambiente (75%). Se observa que los valores disminuyen alrededor del mediodía solar en correspondencia con la mayor radiación del día sobre el colector. Cabe anotar que se verifica dicha disminución manteniéndose la humedad absoluta para un aumento de temperatura.

En la Figura N° 3 se muestra la variación de los valores de temperatura del producto y humedad relativa a la salida del recinto. Se observa que la curva de temperatura tiene la forma de la de temperatura de entrada al recinto sin alcanzar nunca esos valores. La humedad relativa a la salida del recinto como se esperaba, aumenta con respecto a la de entrada verificándose un aumento en los contenidos específicos de humedad. Un valor atípico se registra el tercer día a las nueve horas que puede explicarse no por un aumento de extracción de agua de la uva, sino por el contenido de humedad en el recinto y que penetrara del ambiente durante la noche según lo indica el registro de las ocho horas de ese día, Figura N° 2.

Los valores teóricos correspondientes se vuelcan para su comparación en la



misma Figura N° 3. Las curvas experimentales son próximas a las teóricas y en general se encuentran dentro de un orden satisfactorio.

En la Figura N° 4 se muestra la humedad del producto referida al producto seco en función del tiempo. En todos los días se observa que la pérdida de agua es mayor entre las doce y diecisiete horas. En los dos últimos días / las pendientes son levemente menores en correspondencia con el segundo tiempo de secado en el cuál la velocidad de extracción es menor. El secado total se efectuó en cincuenta y dos horas de sol. Una característica importante y que lo diferencia del realizado en la estufa es la uniformidad que muestra el proceso en todo el producto, no observándose alteraciones en cuanto a su estado, es así que la pasa obtenida es de primera calidad. Además no se registraron pérdidas del producto.

En la Figura N° 5 se muestra el calor gastado por cada kiligramo de agua extraída del producto, resultados teóricos. El valor medio obtenido en la simulación numérica del proceso es de 4758 KJ/Kg de agua evaporada, resultado próximo al experimental que fue de 5186 KJ/Kg de agua evaporada.

En la Figura N° 6 se muestran los valores experimentales de gasto de calor en el recinto de secado. Si analizamos los perfiles de las Figuras N° 5 y N° 6 / notamos una cierta correspondencia en las variaciones. El primer día fue inestable y por dicha razón los valores disminuyen entre las once y doce horas y aumentan alrededor de las quince horas. En los días restantes se observa una similitud, evidentemente es mayor el gasto de calor al iniciar el proceso hasta que el producto alcanza la temperatura adecuada y se produce la evaporación.

En la Figura N° 7 se muestran los valores teóricos de la variación de humedad absoluta horaria en el recinto de secado y para los estados de aire de la experiencia. Observando la curva es evidente que hay en general una correspondencia con las curvas de humedad del producto y consumo de calor. El valor de las quince horas del segundo día de secado se explica teniendo en cuenta las restantes cantidades que intervienen en el proceso (humedad relativa, temperatura, etc) registradas para dicho día.

Con la medida del flujo másico del sistema y el valor medio de la variación

del contenido específico de humedad obtuvimos una velocidad teórica de extracción de agua de 0,91 Kg/h. En consecuencia en cincuenta y dos horas de sol, sin seleccionar las de máxima radiación, podemos secar 7,5 Kg de uva / por cada metro cuadrado de colector con las características del utilizado en esta experiencia.

### ANALISIS DE COSTO

Para el análisis de costo del sistema se tomaron en cuenta los siguientes datos que fueron cotizados en febrero de 1980.

Inversión : 187,5 U\$S/ m<sup>2</sup>

Energía : 0,4 KWh/Kg pasa.

Rendimiento: 1,5 Kg pasa/m<sup>2</sup> de 7,5 Kg de uva fresca/ m<sup>2</sup>.

Amortización: equipo : 10 años

Valor residual: 10% de la inversión, vida útil 10 años.

Mano de obra en el secado: 1 hora por cada 1,5 Kg pasa.

Tiempo de secado: 4 días por cada 1,5 Kg pasa.

Mantenimiento y Reparaciones: 4 % anual.

### Depreciación:

EQUIPO	U.C.E.	V.U.	V. Residual		V.a D.	C.A.D.	V.F.E.
			%	imp			
Colector	187,5	10	10	18,75	168,75	16,875	170,625

El significado de los parámetros se detalla en la Tabla III.

Depreciación anual : 16,87 U\$S/ m<sup>2</sup>

Depreciación diaria: 0,046 U\$S/ m<sup>2</sup> día.

Depreciación carga: 0,18493 U\$S/ m<sup>2</sup>.



ITEM	CARACTERISTICA	U\$S/ Kg pasa
Mano de obra	1 jornal especializado	0,625
Mantenimiento y reparación	4% sobre el valor a nuevo	0,054
Energía	0,6 Kwh/ m <sup>2</sup>	0,100
Depreciación		0,123
Total		0,902

El Kilogramo de pasa cuesta por lo tanto 0,902 U\$S, pero es necesario tener en cuenta que el productor gana:

- a) Tiempo : 16 días (capital circulante)
- b) Calidad: aumento en precio de venta con un beneficio extra del 20%

---

#### CONCLUSIONES:

En base al análisis y descripción de resultados realizado obtenemos las siguientes conclusiones:

- I. La experiencia verifica en general el modelo teórico propuesto para el sistema de secado de uva.
- II. La pasa obtenida es de primera calidad y no se registran pérdidas / del producto.
- III. El tiempo de secado es aproximadamente de cuatro días normales de sol.
- IV. Se necesita un metro cuadrado de colector (de las características

del utilizado en este trabajo) por cada siete kilogramos y medio // (7,5 Kg) de producto mojado.

- V. El análisis de costo, en el que se tiene en cuenta mano de obra, mantenimiento y reparación, depreciación y energía, establece un gasto de U\$S 0,902 por cada kilogramo de pasa de uva.
- VI. Para que el uso del sistema sea rentable es necesario su utilización intensiva lo que se lograría con el secado alternativo de productos / estacionales.

#### AGRADECIMIENTOS:

Se agradece el apoyo y sugerencias brindadas por el Dr. Luis Saravia. Asimismo el aporte financiero de la empresa V. Bernardi e Hijos, así como el apoyo del Departamento de Ciencias Agrarias, Centro de Investigaciones de Zonas Áridas y semiáridas, Secretaría de Investigación de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Catamarca y muy especialmente la valiosa colaboración de los Sres. Ing. Enzo J. Tartarà (cátedra de Administración Rural y Sr. Alberto Amaya.

#### BIBLIOGRAFIA:

- 1.- F. Kneule - "El Secado" - Edición Urmo-Bilbao.
- 2.- J.H. Schlag, A.P. Sheppard- "Design of collectors an instrumentation for drying of peanuts, tobacco and forage"- Final Report-June 1976- Georgia Institute of Technology-Atlanta.
- 3.- L.Saravia, E. Alanís, E. Frigerio, J. Castagnolo- "Secado solar de tabaco. Resultados experimentales".Actas, 4º Reunión de ASADES, La Plata, 1978.
- 4.- M.A.Lara, A.Cortés, R.Gaspar y R.D.Piacentini- "Secado solar de granos" 4º Reunión de ASADES- La Plata, 1978.
- 5.- Kreith F. Kreider J."Principles of Solar Engineering, McGraw-Hill,1978.



TABLA I

Significado de la nomenclatura:

- L : Cantidad de aire seco en Kg.
- $h_1$  : Entalpía del aire a la entrada del sistema.
- $h_2$  : Entalpía del aire a la entrada del recinto.
- $h_3$  : Entalpía del aire a la salida del recinto.
- P : Cantidad de producto seco en Kg.
- H : Cantidad de agua extraída del producto.
- $t_{o1}$  : Temperatura inicial del producto.
- $t_{o2}$  : Temperatura final del producto.
- $c_p$  : Calor específico del producto.
- $P_r, c_r, t_{r1}, t_{r2}$  : Referencias del recinto.
- c : Calor específico del agua.

TABLA III

V.C.E.	Valor comienzo de ejercicio o campaña en U\$S.
V.U.	Vida útil del bien.
V.R.	Valor residual: valor de chatarra al fin de la vida útil en U\$S.
V.aD.	Valor a depreciar: valor verdadero susceptible de desgaste en U\$S.
C.A.D.	Cuota Anual de Depreciación: gasto anual en U\$S debido a la obsolescencia y desgaste por factores climáticos y por el uso del bien.Es:

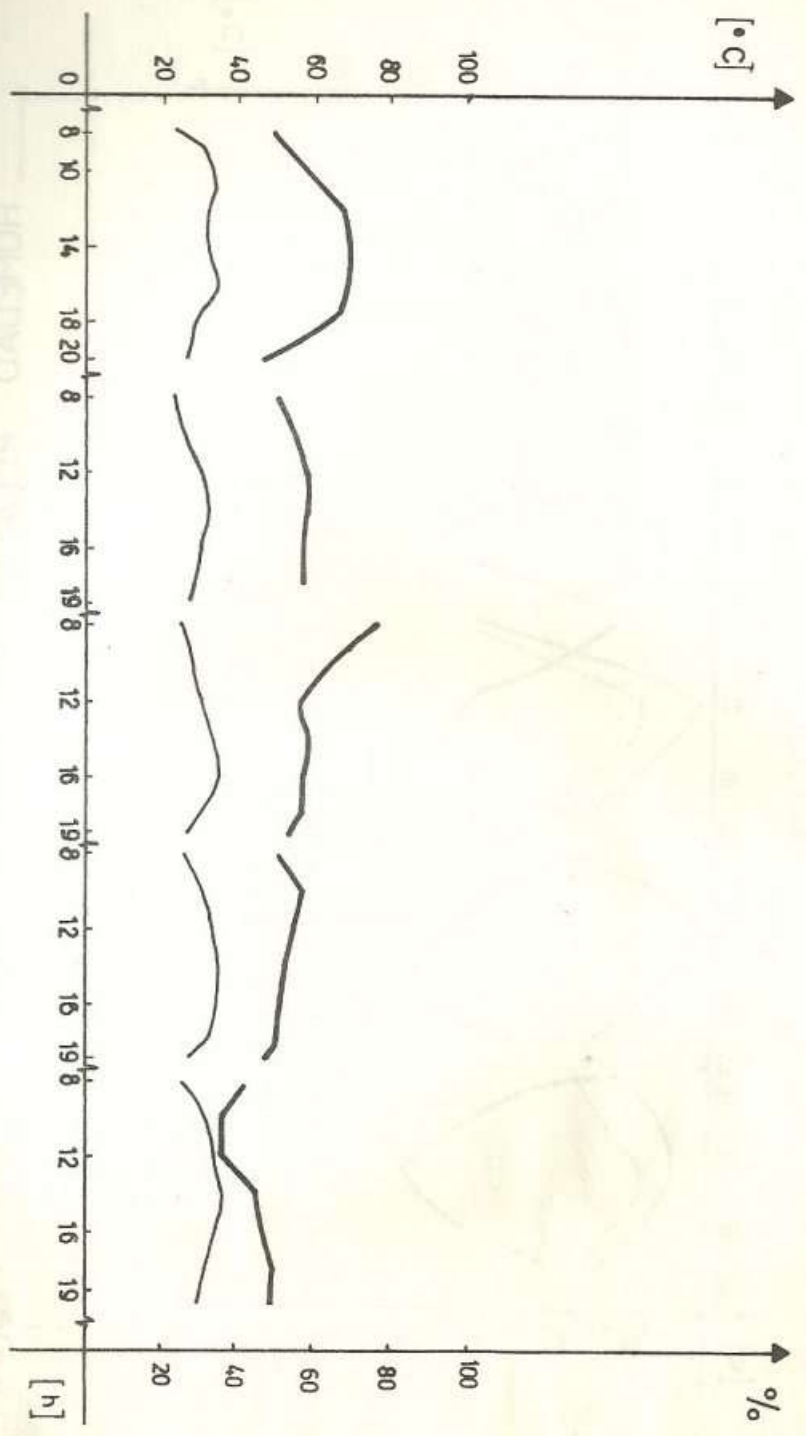
$$C.A.D. = \frac{V. a D.}{V.U.}$$

V.F.E.	Valor Fin de Ejercicio: valor que queda al final de la campaña después de haber quitado la cuota anual de depreciación debida al desgaste en U\$S.
--------	--

$$V.F.E. = V.C.E. - C.A.D.$$



— HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE [%]  
 — TEMPERATURA AMBIENTE [°C]



HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE [%]  
 TEMPERATURA AMBIENTE [°C]  
 FIG. Nº 1 RECTOR O ENTRADA AL RECINTO

- TEMPERATURA SALIDA DEL COLECTOR O ENTRADA AL RECINTO
- HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE S. COLECTOR [%] (Experimental)
- HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE S. COLECTOR [%] (Teorico)

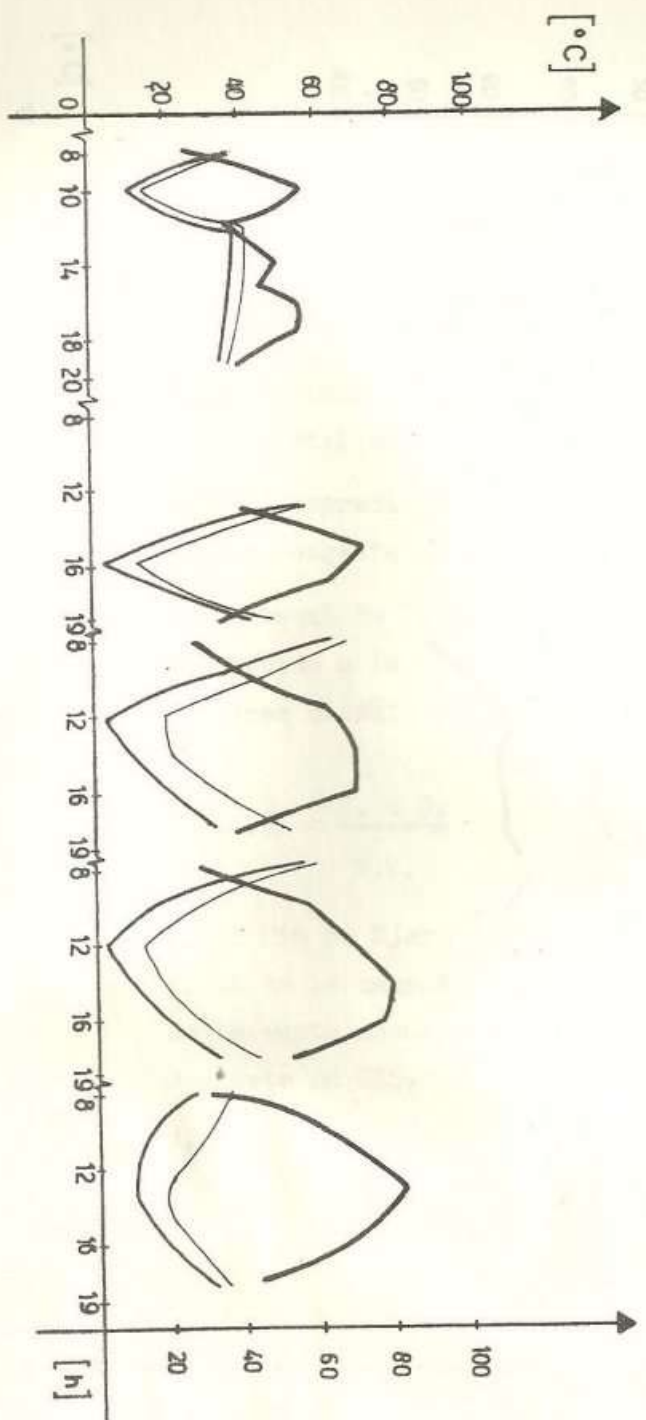


FIG. Nº 2

— TEMPERATURA DEL PRODUCTO [°C] ..... (Experimental)  
 — HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE SALIDA DEL RECINTO [%] — (Experimental)  
 — TEMPERATURA DEL PRODUCTO [°C] — (Teorico)

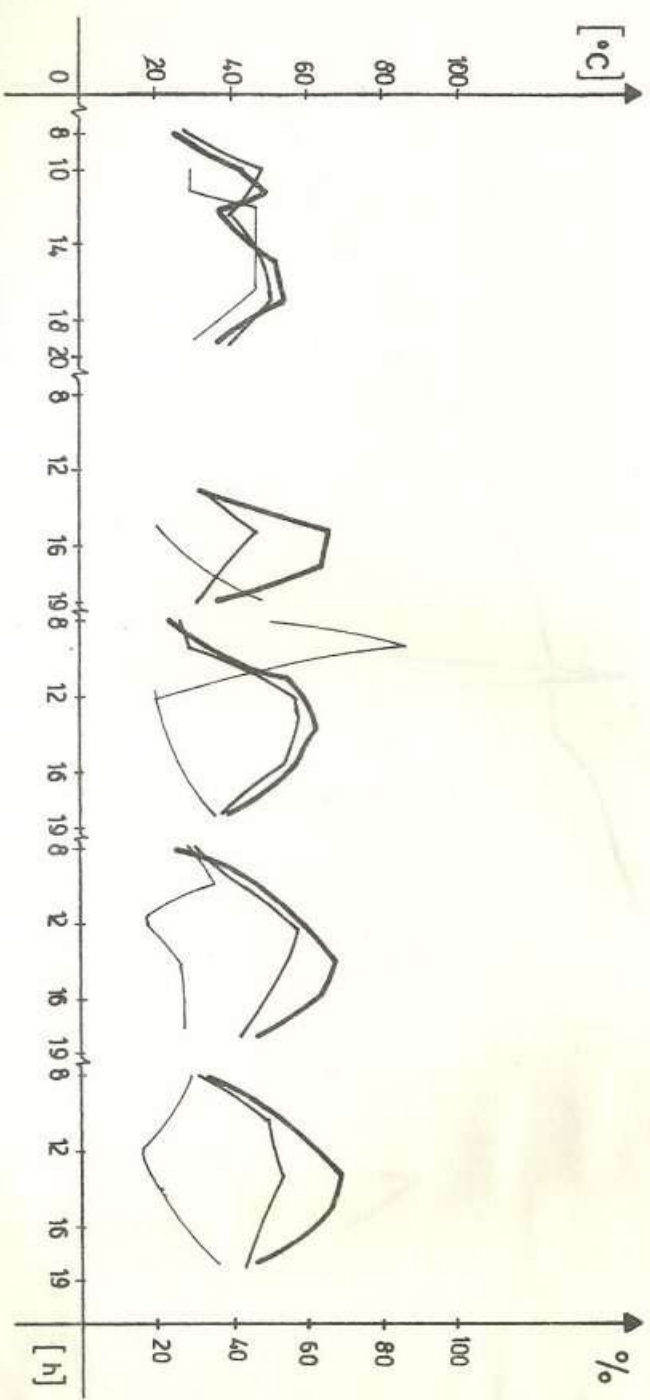


FIG. Nº 3



# HUMEDAD DEL PRODUCTO REFERIDO AL PRODUCTO SECO (EXP)

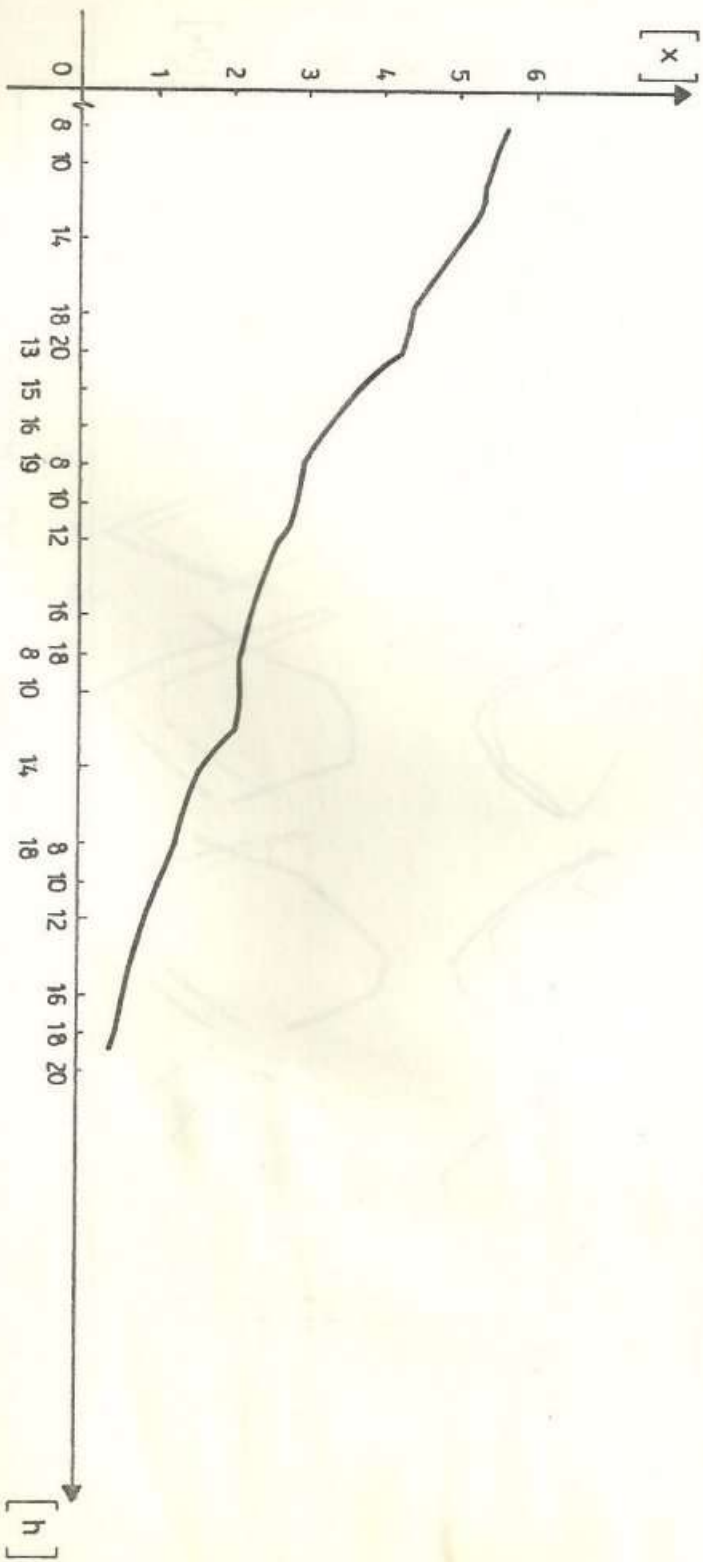


FIG. N<sup>o</sup> 4

CALOR GASTADO POR CADA KG DE AGUA EXTRAIDA DEL PRODUCTO  
 ( Teórico )

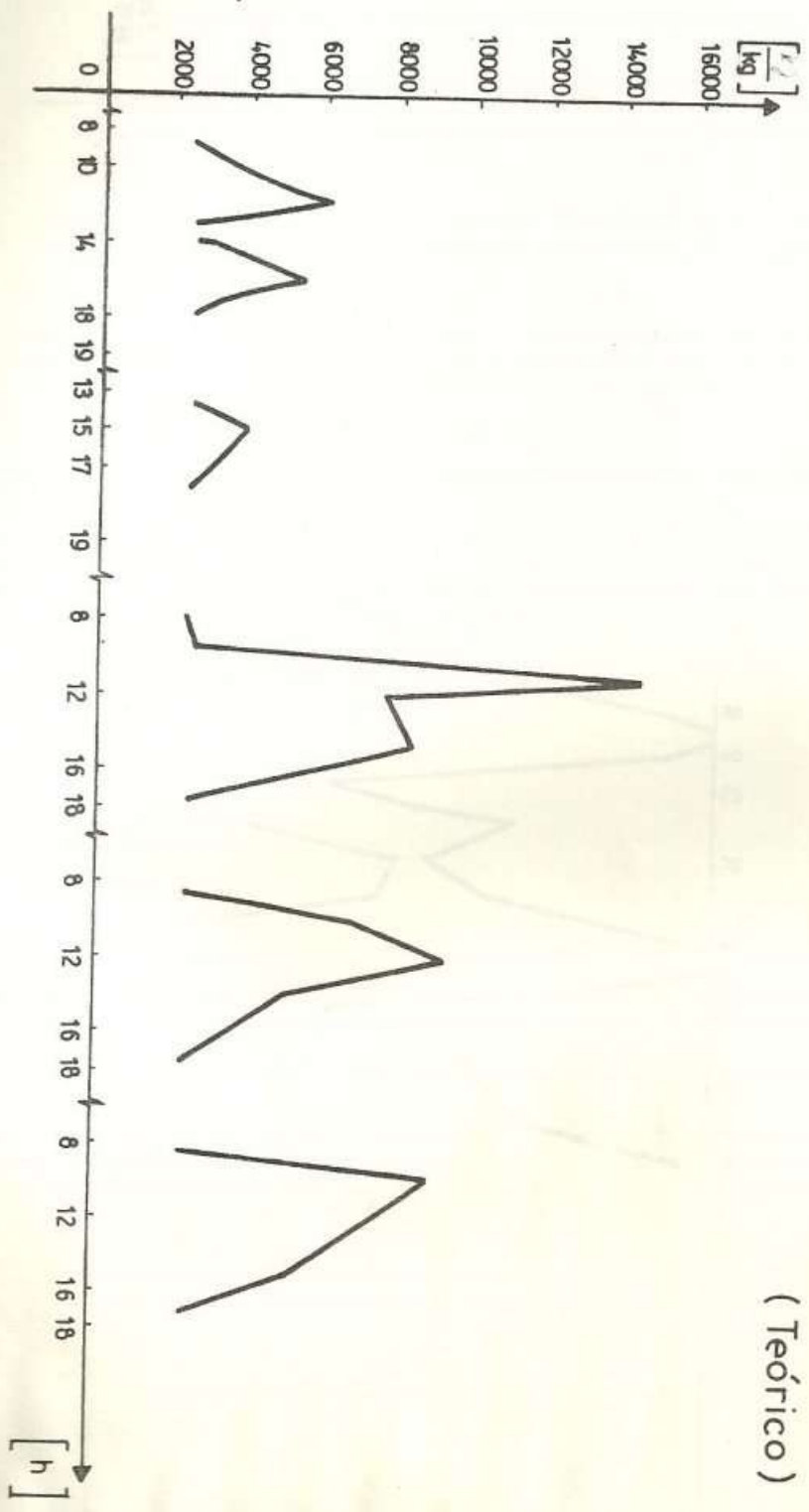


FIG. N° 5

CALOR GASTADO EN EL RECINTO DE SECADO - (Experimental)

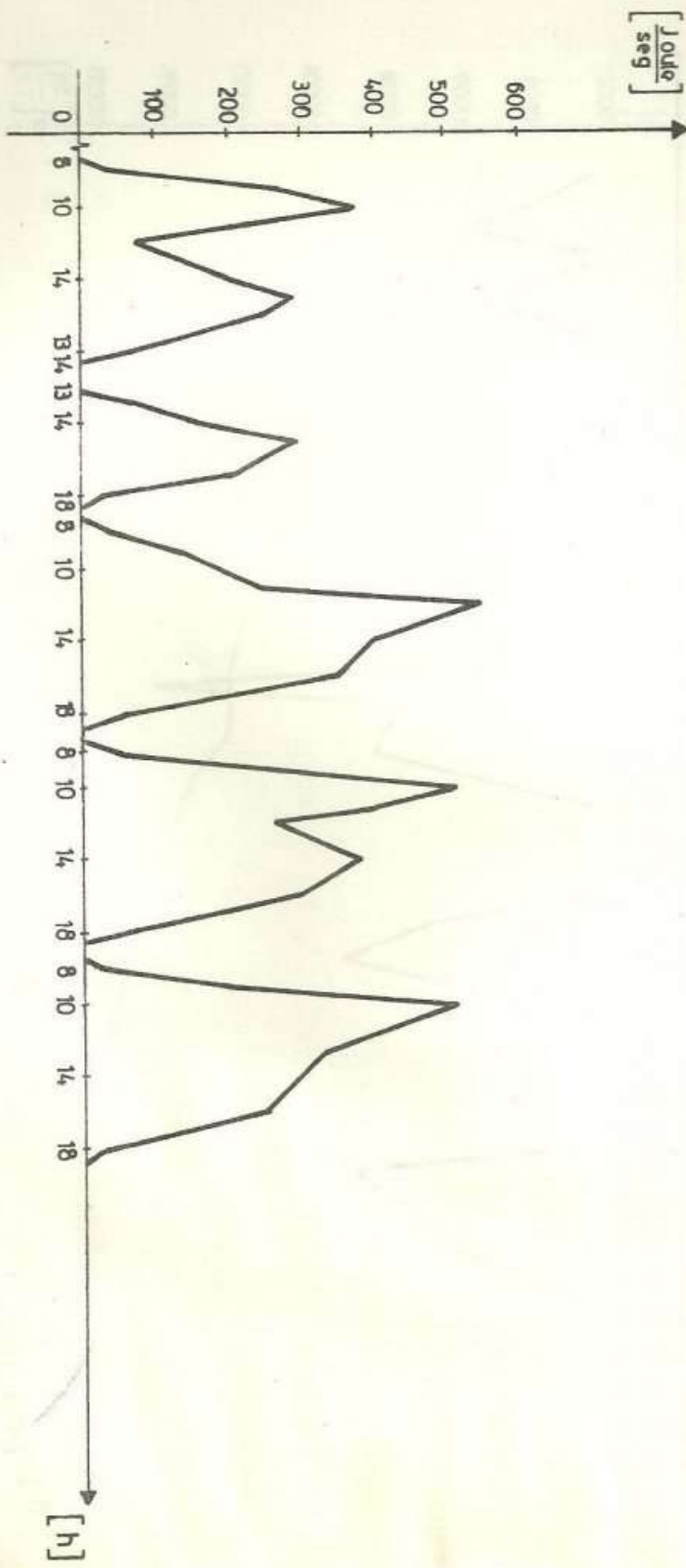


FIG. Nº 6



# VARIACION DE LA HUMEDAD ESPECIFICA

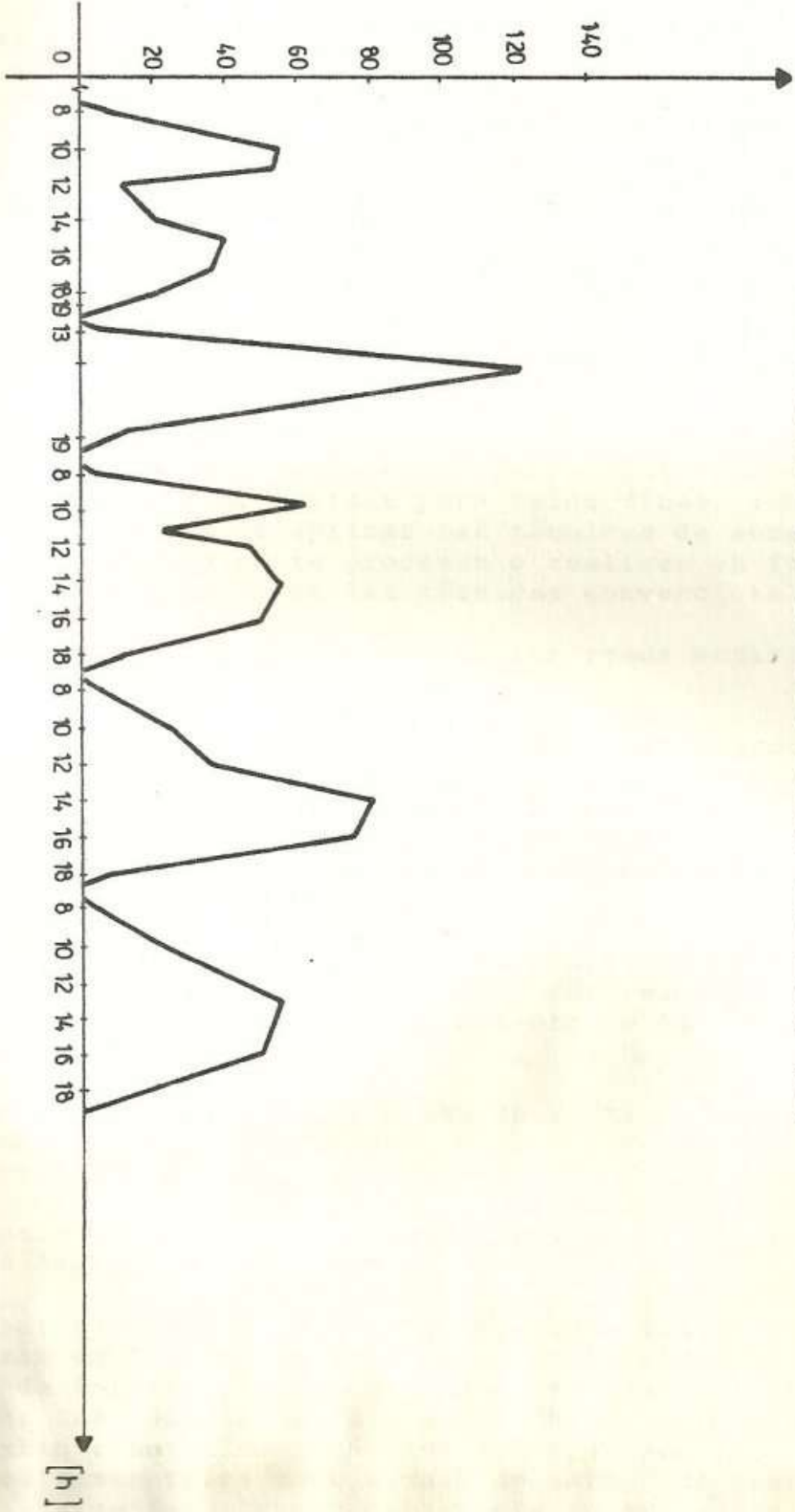


FIG. N° 7