

✓

C.N.E.A. BIBLIOTECA	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO 1968

W

DEPARTAMENTO DE REACTORES

LABORATORIO DE FLUIDODINAMICA

Enero de 1968



FENOMENOS CRITICOS DE TRANSFERENCIA CALORICA

A PRESTIONES CERCANAS A LA ATMOSFERICA

Arnaldo R. Blumenkrantz

Hugo A. Gvirtzman

David G. Parkansky

CNEA - Re - 29

RESUMEN

En una sección de ensayos de geometría circular, se estudió la variación del flujo calórico crítico en función de la velocidad y de la temperatura a la entrada, se trazaron sistemáticamente las curvas de característica interna (o curvas en S) para distintos valores del flujo calórico, llegando en cada caso hasta la condición crítica, y se analizó el comportamiento de los distintos parámetros físicos para discriminar las zonas de aparición de los diferentes tipos de fenómeno crítico: Burnout primario, secundario e inestabilidades de caudal.

INTRODUCCION



Los fenómenos críticos de transferencia calórica que se producen en los reactores nucleares que funcionan a baja presión han sido explicados por distintos experimentadores, ya sea

- 1) en función de las condiciones locales del escurrimiento (Ebullición primaria), por el paso del régimen de ebullición nucleada al de ebullición por film, o del régimen anular dispersado al dispersado, según que la temperatura del líquido refrigerante sea menor o igual a la temperatura de saturación. Es de destacar que en estas hipótesis se aplican directamente los conceptos usados a presiones más elevadas.
- 2) o también, en la hipótesis de la redistribución de caudal, como un fenómeno en el que interviene el caudal total, por un mecanismo de bloqueo, explicable por la relación entre las curvas de característica interna presión-caudal del canal calentado y las condiciones de presión impuestas por el circuito externo, o por inestabilidades globales de tipo más general. En estos casos se estaría en presencia de un fenómeno secundario, en el que el calentamiento crítico es consecutivo a una inestabilidad de caudal.

Con el objetivo de contribuir a una mayor comprensión de los fenómenos críticos de transferencia calórica que limitan la potencia de los reactores experimentales refrigerados por agua a presiones cercanas a la atmosférica y delimitar las fron-

teras de aparición de los distintos fenómenos críticos: Burn-out primario, redistribución de caudal e inestabilidades, se analizó sistemáticamente dichos fenómenos en un canal calentado, con escurrimiento descendente, sin by-pass.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El equipo usado es el circuito de experiencias transientes descrito en Ref. 1, ligeramente modificado para ser usado en régimen permanente, escurrimiento descendente.

Dicho circuito permite imponer una presión constante de referencia a la entrada de la sección de ensayos, presión que se puede variar a voluntad dentro de ciertos límites. En el mismo se ha prestado particular atención a la conexión de la sección de ensayos con el dispositivo de presurización, ya que es sabido que la introducción de pérdidas de carga entre ambos puntos puede originar funcionamientos inestables y perturbar la interpretación de los resultados experimentales.

En cuanto al instrumental, las mejoras se refirieron especialmente a la medición del caudal en un punto tan cercano como fuese posible a la sección de ensayos, e incluso en la sección misma, por considerar que el Pottermeter, ubicado a cierta distancia de ella, podría ser incapaz de "ver" los transientes rápidos (teniendo en cuenta la presencia de medios compresibles).

Con este objeto se desarrolló un caudalímetro térmico, constituido por una termocupla de Cromel Alumel soldada directamente a la pared calefactora y ubicada a la entrada de la sección de ensayos. Se usó también con el mismo fin la pérdida de carga en el sector no calentado ubicado inmediatamente aguas arriba de la sección, que se midió por un transductor PACE de pequeño rango (0,03

psid plena escala). La señal de los transductores de presión ha sido filtrado para eliminar ruidos, colocando capacitores en paralelo. De este modo se eliminó prácticamente las frecuencias superiores a 15 cps.

Cabe señalar que la zona de interés vinculada con el fenómeno de inestabilidades de caudal, se ubica en los alrededores de 1 cps.

La figura 1. presenta la sección de ensayos usada, con indicación de la ubicación de las tomas de presión y temperatura. El canal calentado, de acero inoxidable y sección de paso circular, tenía las dimensiones siguientes:

Largo: 27 cm.

Diámetro interior: 0,9 cm.

Diámetro exterior: 1,0 cm.

Se presenta a continuación la lista del instrumental de medición y registro usado en las experiencias.

Caudalímetros Pottermeter de distintos rangos

Transductores de presión PACE de - 5 psid, - 1 psid, - 0,5 psid, - 0,1 psid, - 0,03 psid rango plena escala.

Modulador-demodulador PACE

Termocuplas de Cu-C, Bristol Armox, de 0,025"

Termocuplas de Cr-Al

Registrador oscilográfico Beckman Offner de 8 canales

Registrador potenciométrico electrónico Westronics

Voltímetro Hewlett Packard

Resultados Experimentales

Los ensayos realizados han permitido determinar el flujo calórico correspondiente a la aparición del fenómeno crítico en función del caudal refrigerante, estando fijados la temperatura y presión a la entrada de la sección de ensayos y para las condiciones de geometría correspondientes a dicha sección.

El detector de Burnout, constituido por cuatro termocuplas de pared conectadas en serie y cubriendo la porción inferior de la pared calefactora (salida), fué calibrado para provocar el corte automático de la potencia de calentamiento cuando y por lo menos una de dichas termocuplas detectase que se excedían localmente las condiciones de ebullición nucleada, entrando así en la zona de film boiling.

En la sección de ensayos N°1, el procedimiento seguido consistió en fijar un valor inicial del caudal, e ir aumentando la potencia calefactora hasta que se produjese el fenómeno crítico. En la sección de ensayos N°2, en cambio, se fijó previamente un valor del flujo calórico, manteniendo para ello un caudal suficientemente alto y la aproximación al fenómeno crítico se efectuó por disminución gradual del caudal de refrigerante.

La tabla I y las figuras 3 y 4 presentan los resultados correspondientes. Como era de prever, se observa que, dentro de

los errores experimentales, los flujos calóricos críticos obtenidos no son influenciados por el método de aproximación usado.

Con el objeto de discriminar los distintos tipos de fenómeno crítico encontrados y determinar las fronteras de aparición de los mismos, se efectuó un análisis cualitativo, prestando especial atención a los siguientes criterios de distinción:

- a) disminución brusca del caudal en el momento del Burnout (indicador de un fenómeno crítico secundario).
- b) oscilaciones del caudal.
- c) ubicación del punto de Burnout sobre la curva característica interna del canal correspondiente al flujo calórico en cuestión y análisis de la misma en relación con la característica externa del circuito (redistribución).

En la zona de bajos flujos calóricos ($q \sim 40 - 50 \text{ watt/cm}^2$), el fenómeno crítico encontrado es una oscilación autosostenida muy violenta, observable en todos los parámetros leídos (caudal, temperatura de pared, Δp_{canal}), similar a las inestabilidades de caudal denominadas fenómeno de expulsión por Ph. Vernier [Ref. 3]. La periodicidad de los fenómenos oscilatorios observados es tanto más perfecta cuanto menor es el flujo calórico (y el caudal) correspondiente.

Para flujos calóricos mayores ($q > \sim 80 \text{ watt/cm}^2$) el fenómeno crítico encontrado es un aumento brusco de la temperatura de pared, medida por el detector de Burnout, indicador de un deterioro repentino en las condiciones de transferencia calórica. Cabe señalar que en todos los casos observados en esta gama ($80 \leq q \leq 220 \text{ watt/cm}^2$), el caudalímetro térmico detectó simultáneamente un aumento brusco de la temperatura de pared a la entrada del canal, señal de una fuerte disminución del caudal del refrigerante.

Los resultados obtenidos sugieren la posibilidad de una transición gradual entre los dos fenómenos extremos, es decir entre las oscilaciones de expulsión estacionarias y la excursión de temperatura desprovista de fenómenos oscilatorios, a medida que variamos el flujo calórico.

Las fig. 5, 6, 7 y 8 muestran los pasos de esa transición:

50 watt/cm²: Oscilaciones de caudal y presión Δp muy violentas, que se mantienen casi indefinidamente una vez alcanzadas las condiciones críticas.

Sin embargo, en todos los casos observados, al cabo de un tiempo mas o menos largo, el detector de Burnout reaccionó ante un pico de temperatura de pared.

80 watt/cm²: La excursión de temperatura de pared, más nota que en el caso anterior, se alcanza al cabo de oscilaciones del caudal y la presión que no tienen la violencia del caso citado precedentemente.

120watt/cm²: Se observan oscilaciones muy moderadas y regulares de Δp_{2-3} , que al cabo de cierto tiempo desembocan en un fenómeno oscilante más intenso, del que participan todos los parámetros. El detector de Burnout actúa al cabo de un número muy reducido de estas últimas oscilaciones.

200-220watt/cm²: El fenómeno de Burnout, caracterizado por una excursión de temperatura de pared, es neta y no viene precedido por oscilaciones.

Simultaneamente se observa una disminución brusca del caudal (registrada por el caudalímetro térmico) y un aumento brusco y muy importante de la caída de presión en la sección de ensayos (Δp_{1-4} y Δp_{2-3}).

Para aplicar el criterio de inestabilidad de Leddineg (redistribución de caudal) se estudió en forma sistemática la pérdida de carga en el canal calentado, con o sin ebullición y se trazaron las curvas características internas para distintos valores del flujo calórico, cubriendo la gama correspondiente a los ensayos de Burnout. Los resultados obtenidos están graficados en las fig. 9 a 16. La tabla II presenta los valores numéricos.

Se observa que en la zona de altos caudales y altos flujos calóricos ($Q \sim 200 \text{ watt/cm}^2$), el fenómeno crítico se produce en la primera rama descendente de la curva característica interna, para valores de Δp del orden de $25 \text{ cm. H}_2\text{O}$.

Con relación a este valor, la altura manométrica de la bomba es muy elevada y en estas condiciones la característica externa del circuito es muy vertical. La redistribución de caudal sería por lo tanto a excluir en este caso. Por otra parte, la brusca disminución de caudal detectada descarta asimismo la explicación por un fenómeno puramente local (paso del nucleate boiling al film boiling).

Observaciones similares efectuadas por FABREGA, LAFAY, y VERNIER [Ref. 4] los condujeron a explicar el fenómeno crítico en estas condiciones (presurización aguas arriba de la sección de ensayos), por un fenómeno de inestabilidad más general en el que intervendría el presurizador. En relación con este tema cabe destacar que en nuestras experiencias hemos podido detectar en estas condiciones ($Q \sim 200 \text{ watt/cm}^2$) un aumento brusco de Δp_{canal} en el momento de Burnout. Esta observación sugeriría que el fenómeno crítico se produce por bloqueo del canal.

 Trabajo adicional sería necesario en el estudio de las curvas de característica interna correspondientes a la zona de bajos flujos calóricos ($\sim 40 - 50 \text{ watt/cm}^2$), ya que las observaciones realizadas indicarían que un pequeño cambio en los parámetros del sistema hace cambiar totalmente la forma de las curvas obtenidas (fig. 12 y 16). Se observa en dichas

figuras que en ciertos casos se detectó incluso la inversión de Δp para muy bajos caudales.

Se está realizando actualmente un estudio sistemático de la influencia de diversos parámetros (incluso los introducidos por los dispositivos de medición) sobre las curvas características en la zona mencionada.

Se observó que la pérdida de carga entre los puntos 2 y 3 (ver Fig. 1), que corresponde exclusivamente a la porción calentada de la sección de ensayos, tiene un comportamiento mucho más estable que la pérdida de carga global entre los puntos 1 y 4, correspondiente al conjunto de la sección. Ello se explicaría tal vez por el funcionamiento termodinámicamente inestable del tramo 3-4, donde el vapor podría recondensarse.

Estas observaciones sugieren la conveniencia de disminuir en el futuro la longitud del tramo no calentado de la sección de ensayos.

REFERENCIAS

- 1 - BAUMENKRANTZ A. - Dispositivos para el estudio de Burnout.
Informe Programa de Reactores, CNEA.
- 2 - VERNIER Ph. - Compte rendu de la Mission en Argentine du 28 Novembre au 23 Décembre 1966.
Note TT/67 - 7 - A/FhV
- 3 - MURTADO P. y VERNIER Ph. - Régime d'expulsion et Burn-out en convection naturelle à basse pression.
Rapport TT N° 50
- 4 - FABREGA, LAFAY, VERNIER - Remarques sur la détermination des échauffements critiques dans les réacteurs de recherche.
Rapport TT N° 49

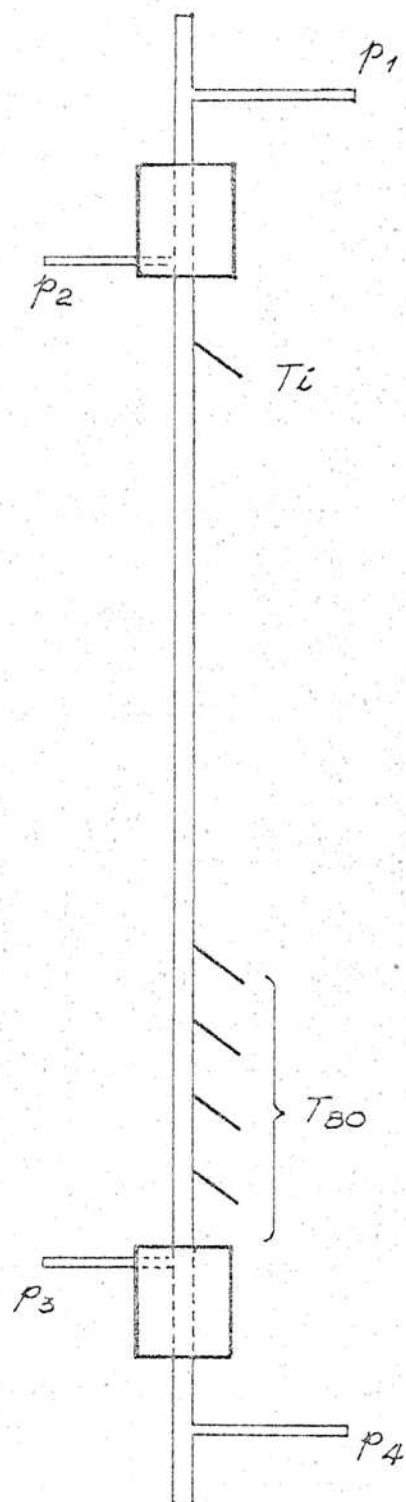


Fig. 1: Sección de Ensayos

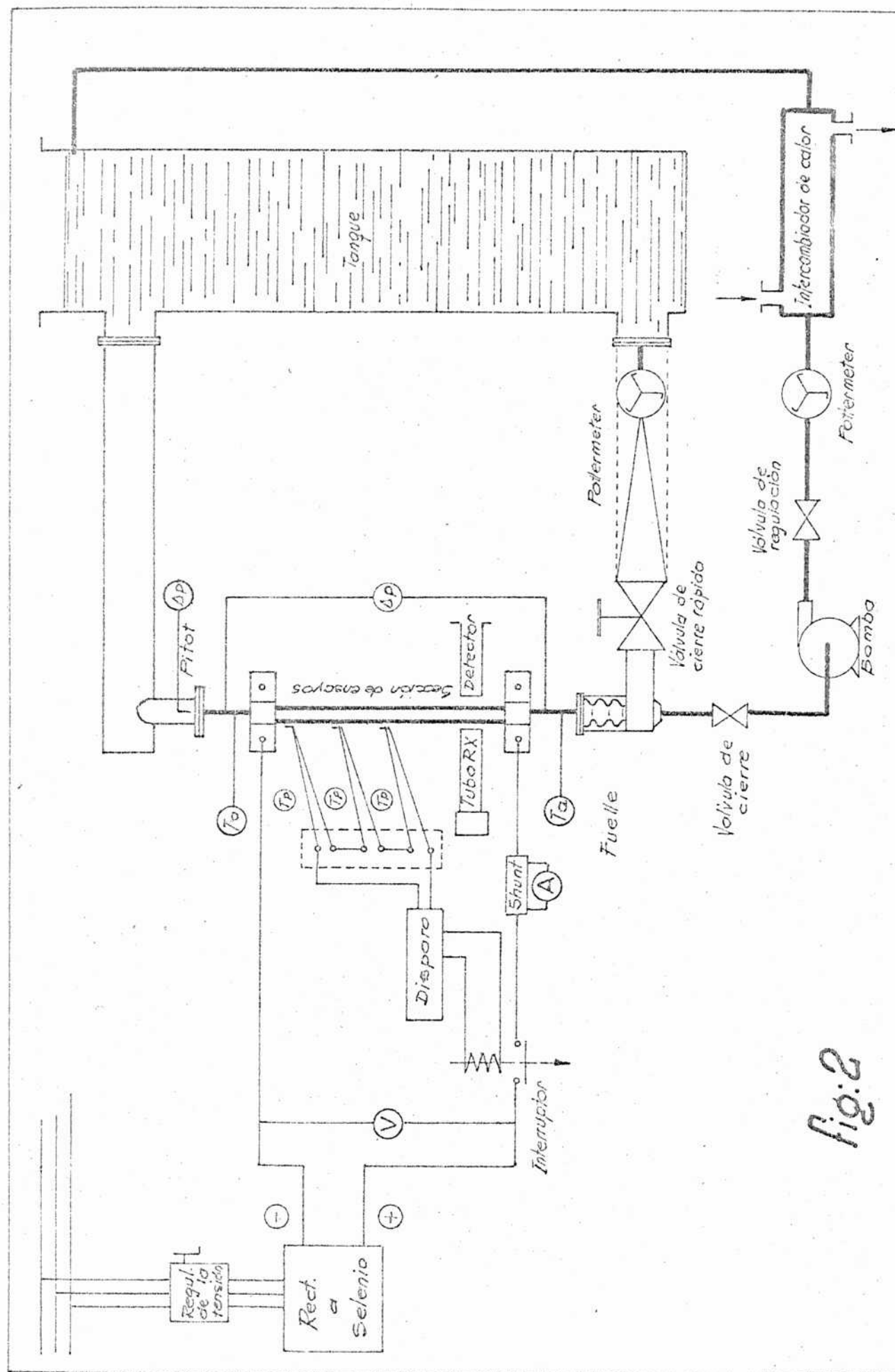


Fig:2

CIRCUITO DE ESTUDIOS TRANSIENTES

Q_{200}
[W/cm²]

200

200

100

0

△ △
△ +

○ ○

+

○ ○

○ ○

△ △

○

○ ○

○ ○ ○

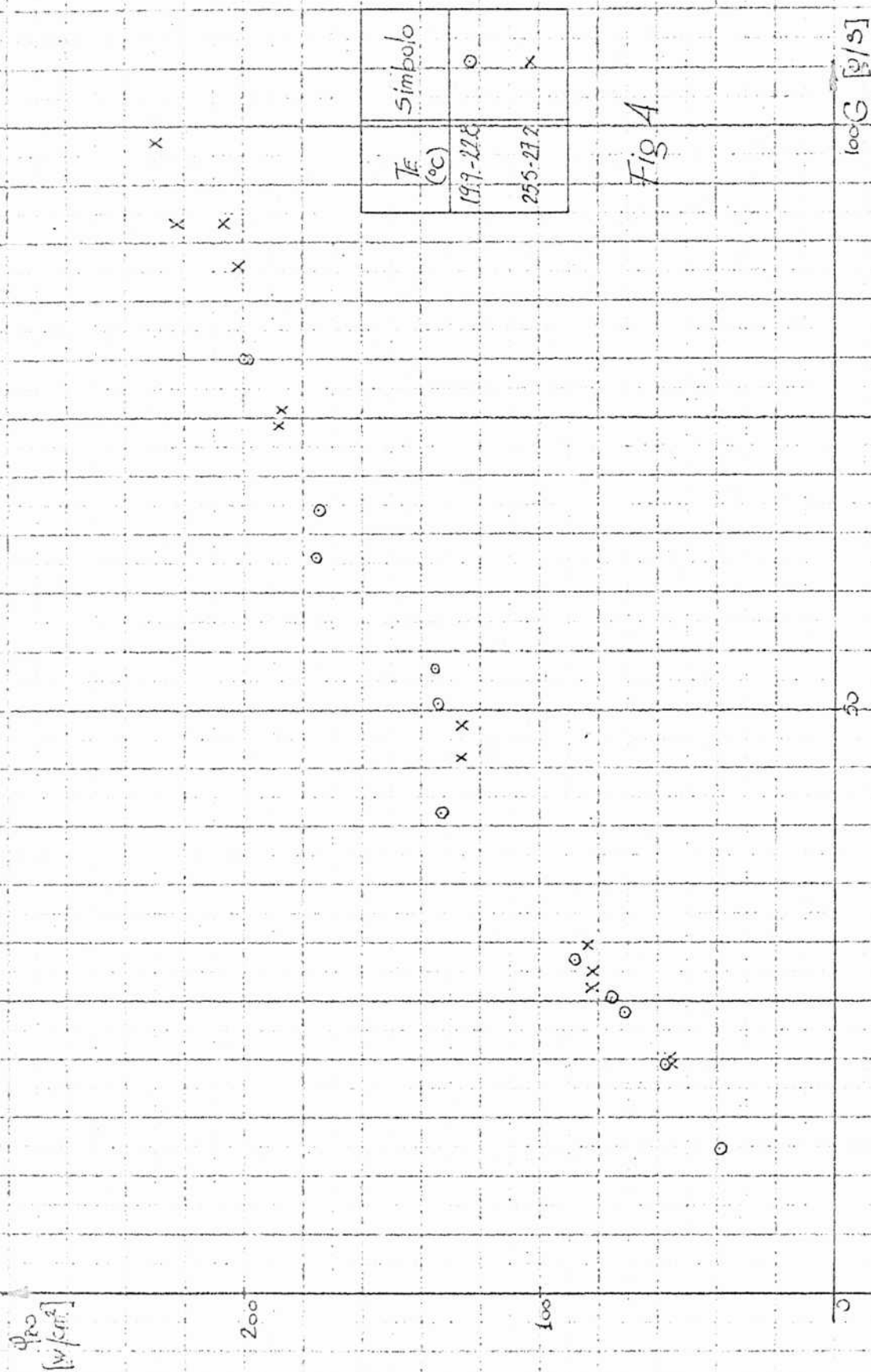
TE (°C)	Symbol
14-145	△
164-178	○
198-203	+

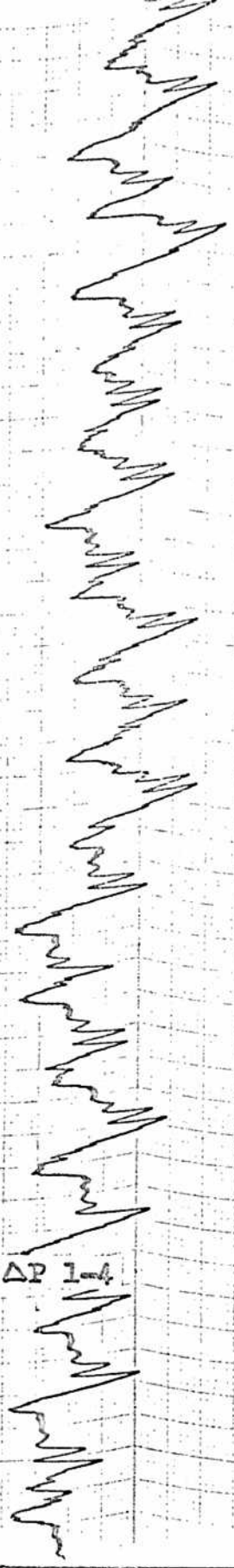
Fig. 3

100

100

G [B/M]





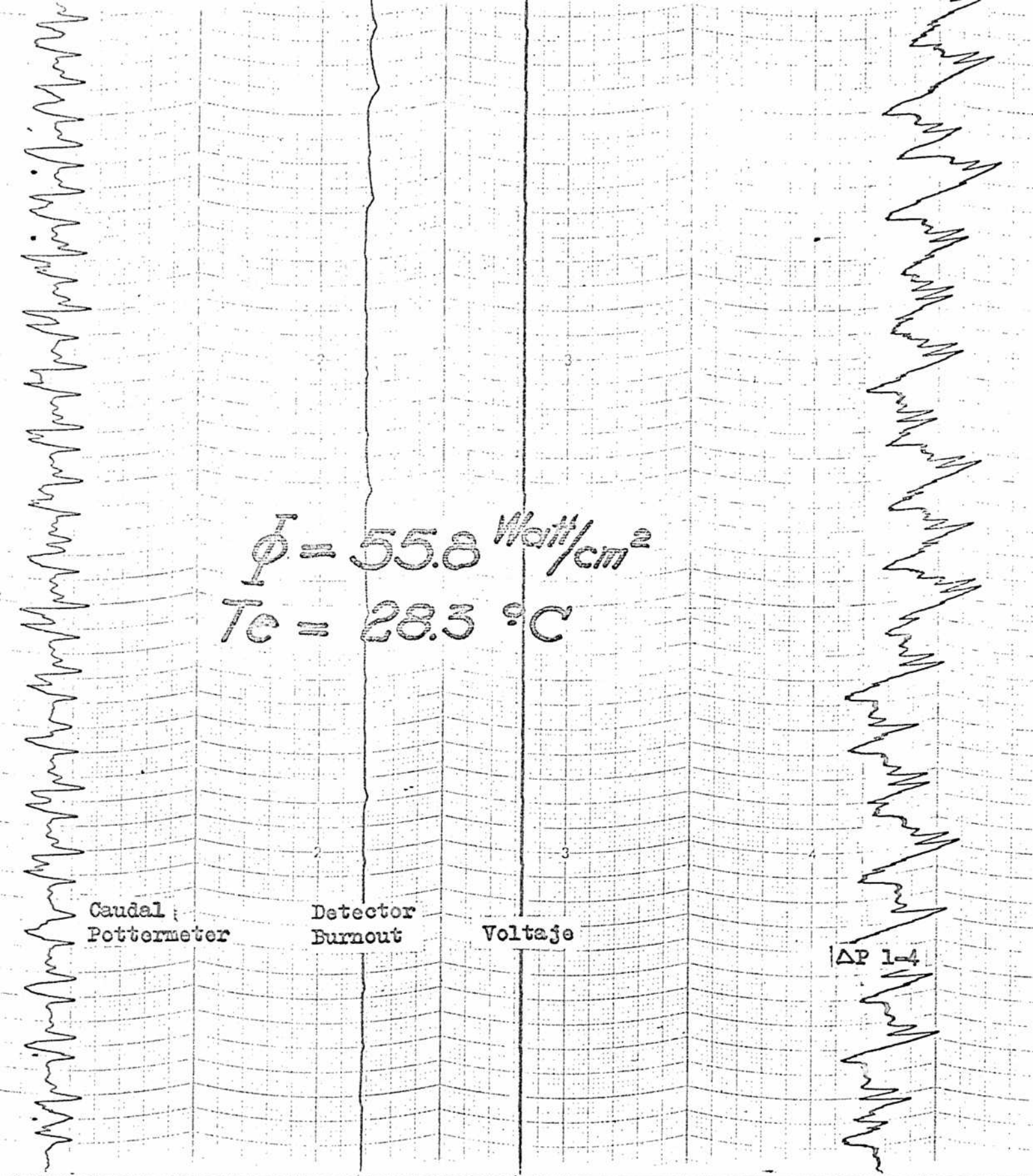
$\Delta P 1-4$



$\Delta P 2-3$

Caudalímetro
térmico

Caudalímetro
térmico



The figure shows a three-panel strip of graph paper. Each panel has a vertical axis labeled '2' and '3'. The left panel contains a waveform labeled 'Caudal Pottermeter'. The middle panel contains a waveform labeled 'Detector Burnout'. The right panel contains a waveform labeled 'ΔP 1-4'. In the center of the strip, the following handwritten text is present:

$$\phi = 55.8 \text{ Watt/cm}^2$$
$$T_e = 28.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Caudal
Pottermeter

Detector
Burnout

Voltaje

ΔP 1-4

Fig.5

ΔP 1-4

ΔP 2-3

Caudalímetro
térmico

hasta aquí
200 mV/cm

$$\Phi = 84 \text{ Watt/cm}^2$$
$$T_e = 26.3^\circ \text{C}$$

Caudal
Pottermeter

Detector
Burnout

Voltaje

ΔP 1-4

Fig.6

ΔP_{1-4}

ΔP_{2-3}

Caudalímetro
térmico =

Redund

Caudal
Pottermeter

Detector
Burnout

Voltaje

ΔP 1-4

ΔP

$$\Phi = 126.5 \text{ Watt/cm}^2$$

$$T_e = 26.2^\circ\text{C}$$

Fig.7

2

aje

ΔP 1-4

ΔP 2-3

Caudalímetro
térmico

aparente
de la
manera

$$\phi = 202 \text{ Watt/cm}^2$$
$$T_e = 26.3^\circ\text{C}$$

Caudal
Pottermeter

Detector
Burnout

Voltaje

ΔP 1-4

Fig.8

Symbol	Ref. temp.	$\delta W_{eff}/cm^2$	T_c °C
*	175-196	132.7-136	22
x	167-178		

cm
H₂O

Δp_{1+4}

50

40

30

20

10

0

100

200

300 g/s

Fig. 9

*

x

x

*

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

30 cm
H₂O

Δp_{1-4}

Símbolo	Ref. Ensy	$\frac{1}{2}$ Wall/cm ²	TE °C
•	199-215	74.4-81.5	23.2
x	216-229		

FIG 10

9/5

150

100

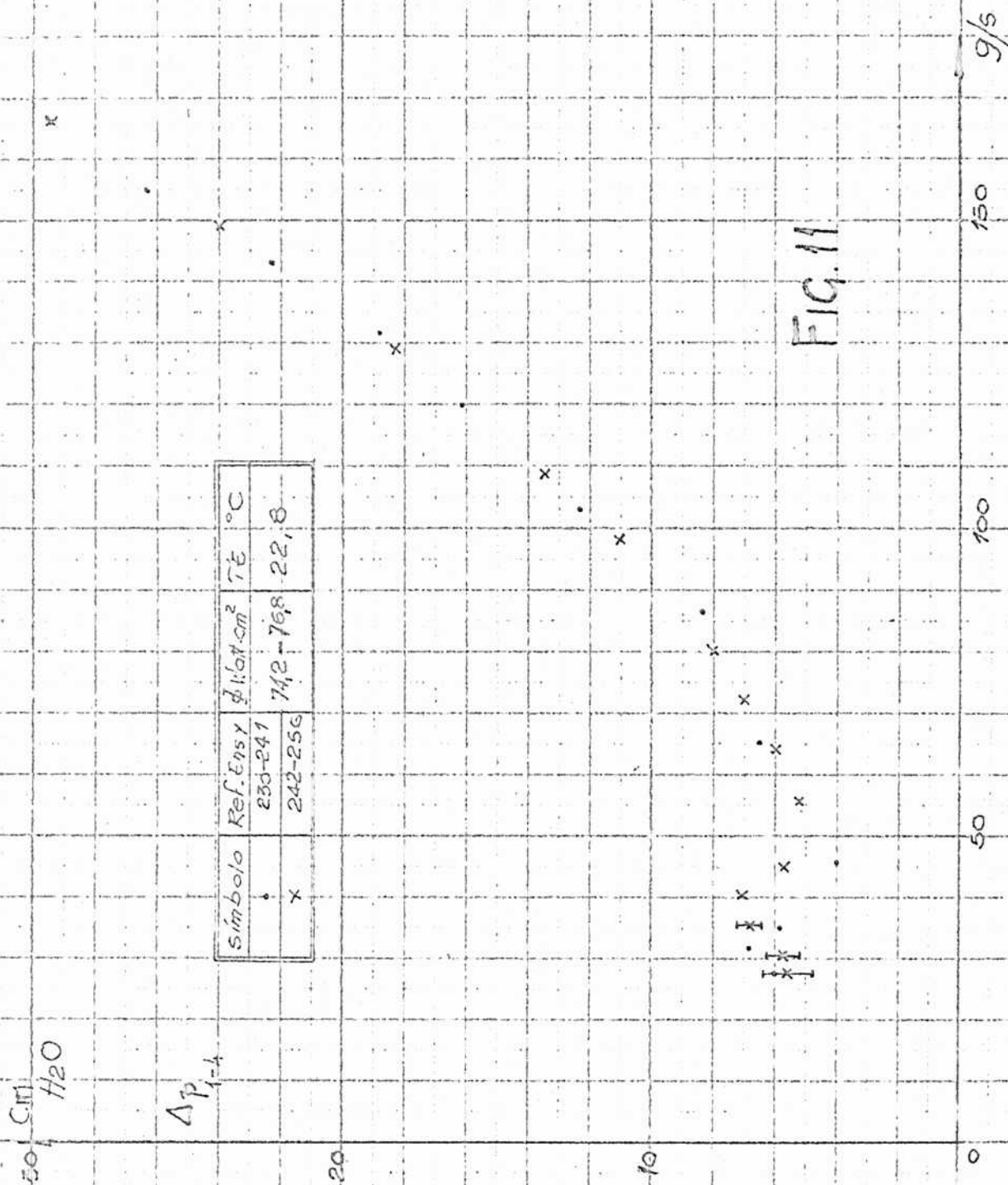
50

0

10

20

30



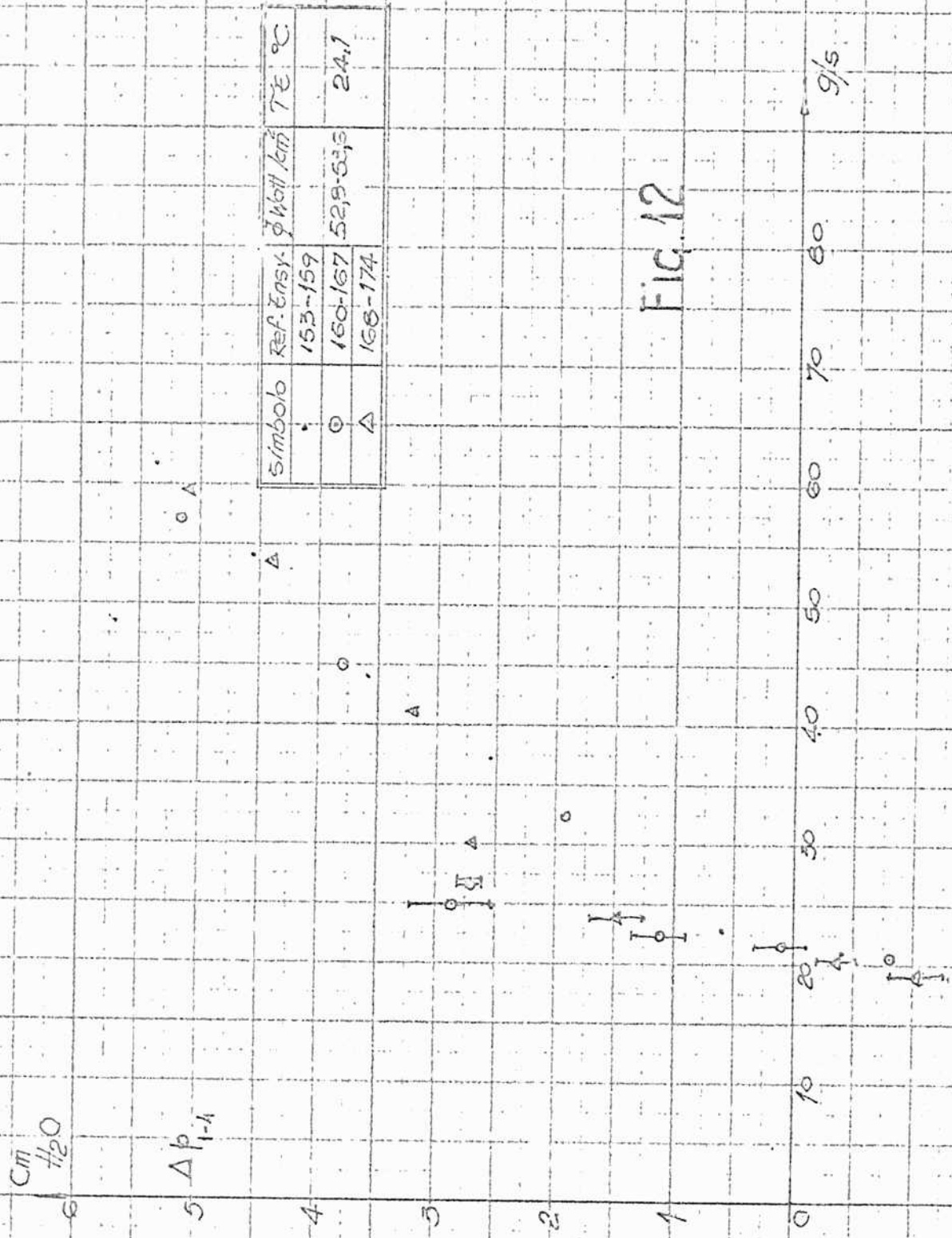


Fig. 12

10 Cu H₂O

Symbol	Ref	Vertical	
		Dist.	Comp.
117-4	117-4	117-4	117-4
x	117-4	117-4	117-4
A	117-4	117-4	117-4

x

A

x

x

o

o

o

o

o

o

o

o

Fig. 14

9/5

150

100

50

10

cm H₂O

A

A

A

A

A

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

FIG. 15

Simbolo		X ₁₀ P	q	T ₀ °C
API-4	AP-3.5			
Δ		325-337	839-82	26,5
+		338-348	83,3-824	26,5
□	X	549-556	84,6-84	26,3

0

50

100

150

200

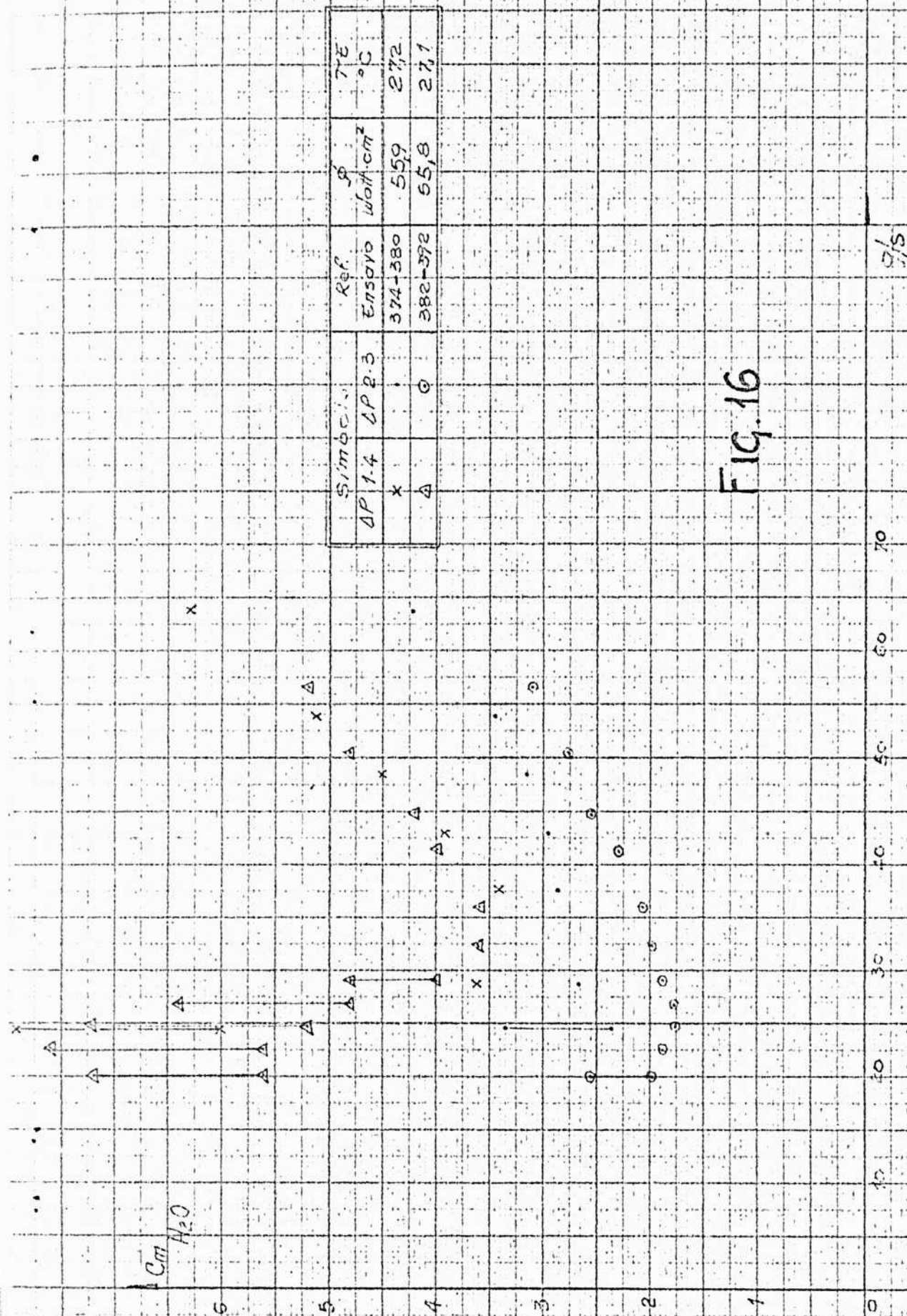


FIG. 16

SECCION DE ENSAYO Nº 1

Table I-a

N	T _E °C	G g/s	φ w/cm ²
1	19.8	85.60	230
2	14.5	87.90	243
3	14.5	85.60	245
4	14.5	87.90	254
5	14.0	28.40	138
6	14.0	31.40	139
7	16.8	9.03	49
8	17.2	9.03	43
9	16.4	55.90	150
10	40.0	9.20	42
11	40.8	75.50	159
12	41.5	75.50	158
13	40.8	60.70	139
14	17.3	76.80	219
15	17.3	76.80	211
16	17.8	60.70	156
17	17.5	44.50	139
18	17.5	41.80	139
19	17.2	27.00	121
20	17.3	62.00	159
21	20.3	67.40	182
22	20.3	110.50	283
23	17.0	8.52	35
24	17.5	15.20	83
25	17.5	15.20	70

SECCION DE ENSAYO No 2

Tabla I-b

N	T _E °C	G g/s	φ w/cm ²
1	22.0	41.10	133.8
2	22.8	25.20	75.4
3	23.5	28.40	88.0
4	23.5	50.40	134.6
5	23.5	53.60	135.7
6	20.6	62.90	176.4
7	19.9	66.90	174.9
8	21.8	80.10	199.8
9	21.8	80.10	199.2
10	21.8	19.60	57.6
11	22.0	24.10	71.5
12	22.8	12.30	39.7
13	25.5	48.70	126.2
14	26.2	45.80	126.5
15	25.7	75.70	187.4
16	25.7	74.40	188.2
17	26.5	91.60	222.2
18	26.5	98.60	229.8
19	26.5	26.30	82.0
20	26.5	27.50	82.4
21	26.3	29.80	84.0
22	26.3	68.10	202.0
23	26.0	91.60	206.8
24	27.2	19.70	55.9
25	27.1	20.10	55.8

TABLA II-a

N	T _E °C	ϕ w/cm ²	Q g/s	V cm/s	ΔP_{1-4} cmH ₂ O
60	22.5	41.7	58.4	91.9	4.29
61		41.7	53.6	84.3	3.73
62		41.5	50.0	78.7	3.28
63		41.5	46.5	73.1	3.05
64		41.5	40.2	63.2	2.54
65		41.4	36.3	57.0	2.37
66		42.2	26.8	42.1	1.73
67		42.1	21.4	33.7	1.44
68		42.1	16.1	25.3	0.81
69	22.5	43.3	57.2	89.9	3.33
70		43.3	45.6	71.6	2.41
71		43.1	27.7	43.5	1.61
72		43.0	20.5	32.3	0.81

TABLA II-b

N	T _E °C	ϕ w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP_{1-4} cmH ₂ O
73	21.6	53.0	60.7	95.5	4.07
74			51.3	81.5	3.32
75			43.4	68.3	2.82
76			21.4	33.7	0.61
77			19.6	30.9	- 0.30
78			23.8	37.4	1.41
79			20.7	32.6	0.41
80	21.6	54.1	67.4	105.9	5.25
81			58.1	91.3	4.42
82			48.2	75.9	3.53
83			39.3	61.8	3.00
84			33.9	53.4	2.61
85			31.3	49.2	2.22
86			27.3	43.0	1.32
87			21.4	33.7	- 0.41

TABLA II-c

N	T _E °C	β w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP_{1-4} cmH ₂ O
88	21.6	54.4	46.3	72.8	3.22
89			41.1	64.6	3.00
90			39.3	61.8	2.61
91			37.0	58.2	2.82
92			33.9	53.4	2.61
93			30.4	47.8	2.22
94			26.8	42.1	1.61
95			23.2	36.5	$\begin{cases} 0.61 \\ 0.81 \end{cases}$
96			21.4	33.7	0.00
97			20.4	32.0	$\begin{cases} -0.20 \\ -0.41 \end{cases}$
98			19.6	30.9	- 0.20

TABLA II-22

N	T ₂ °C	ρ w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP ₁₋₂ cmH ₂ O
99	21.5	55.5	48.2	75.9	3.45
100			44.7	70.2	3.32
101			37.9	59.6	3.00
102			33.9	53.4	2.82
103			30.4	47.2	2.67
104			26.8	42.1	2.51
105			23.6	37.1	2.23
106			22.3	35.1	0.70
107			21.4	33.7	0.00
108			19.6	30.9	0.60

TABLA II-3

N	T _E °C	φ w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP ₁₋₄ cmH ₂ O
109	22.0	45.5	58.6	92.2	4.12
110			41.1	64.6	2.61
111			29.9	36.0	1.32
112			17.0	26.7	{ 0.20 0.61
113			15.4	24.2	- 0.81
114	21.1	46.4	52.7	82.9	3.62
115			33.9	53.4	2.51
116			21.4	33.7	1.12
117			18.4	28.9	0.20
118			16.6	26.1	- 0.50

TABLA II-e

N	T _E °C	ρ w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP ₁₋₄ cmH ₂ O
119	21.1	46.0	42.2	66.3	2.56
120			36.6	57.6	2.27
121			27.7	43.5	1.08
122			21.4	33.7	1.77
123			17.9	28.1	0.20
124	21.1	46.0	48.1	75.6	1.68
125			41.1	64.6	1.40
126			33.6	52.8	1.12
127			23.6	37.1	0.90
128			17.7	27.8	$\begin{cases} 0.25 \\ 0.30 \end{cases}$
129			15.7	24.7	$\begin{cases} -0.20 \\ -0.25 \end{cases}$

TABLA II-f

N	T _E °C	ϕ w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP_{1-4} cmH ₂ O
130	21.1	38.4	52.7	82.9	3.38
131			48.2	75.9	2.95
132			35.7	56.2	2.16
133			26.8	42.1	1.57
134			23.2	36.5	1.40
135			19.6	30.9	0.29
136			16.1	25.3	0.98
137			14.3	22.5	0.50
138			12.5	19.7	0.00
139	21.1	38.4	51.8	81.5	3.38
140			47.3	74.5	2.95
141			41.1	64.6	2.56
142			35.2	55.3	2.16
143			28.6	45.0	1.77
144			23.6	37.1	1.57

TABLA II-c

N	T _E °C	ϕ w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP_{1-4} cmH ₂ O
145	21.1	38.4	21.1	33.1	0.98
146			25.0	39.3	1.57
147			20.2	31.7	0.78
148			17.9	28.1	0.78
149			16.1	25.3	1.28
150			14.3	22.5	0.78
151			13.4	21.1	0.10
152			12.3	19.4	0.00 0.59

TABLA II-h

N	T _E °C	Ø w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP ₁₋₄ cmH ₂ O
153	24.1	51.4	61.6	96.9	5.36
154			54.0	84.9	4.54
155			44.0	69.1	3.59
156			37.2	58.4	2.56
157			26.8	42.1	{ 2.82 2.61
158			22.7	35.7	0.61
159			20.9	32.9	- 0.41
160	24.1	51.4	57.2	89.9	5.16
161			45.0	70.8	3.80
162			32.2	50.6	1.90
163			26.4	41.6	{ 2.61 2.82
164			24.8	39.0	{ 3.22 2.51
165			22.3	35.1	{ 0.90 1.32
166			21.4	33.7	- { 0.30 0.10
167			20.5	32.3	- 0.81

TABLA II-1

N	T _E °C	Ø w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP ₁₋₄ cmH ₂ O
168	24.1	51.4	59.5	93.6	5.10
169			53.6	84.3	4.40
170			41.1	64.6	3.20
171			30.2	47.5	2.70
172			23.9	37.6	$\begin{cases} 1.24 \\ 1.70 \end{cases}$
173			20.2	31.7	$\begin{cases} -0.20 \\ -0.50 \end{cases}$
174			18.9	29.8	$\begin{cases} -0.30 \\ -1.30 \end{cases}$

TABLA II-1

N	T _g °C	Ø w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP ₁₋₄ cmH ₂ O	ΔP ₂₋₃ cmH ₂ O
277	25.5	126.2	171.7	270.0	36.70	20.76
278			143.1	225.0	26.80	18.40
279			114.5	180.0	19.30	14.81
280			85.9	135.0	15.00	11.15
281			73.8	116.0	{11.95 16.05	9.65
282			64.2	101.0	{10.95 15.00	8.87
283			54.9	86.4	27.70	9.26
284			50.4	79.2	{19.80 23.70	{6.30 8.27
286	26.2	126.5	154.5	243.0	30.95	18.64
287			112.6	177.0	19.50	13.82
288			92.8	146.0	16.85	10.72
289			73.1	115.0	17.35	8.67
290			59.5	93.6	20.80	7.88
291			54.4	85.5	22.70	7.88
292			50.4	79.2	{16.05 18.90	{4.72 6.70

TABLA II-k

N	T _E °C	Ø w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP ₁₋₄ cmH ₂ O	ΔP ₂₋₃ cmH ₂ O
294	25.7	187.4	160.3	252.0	38.70	19.90
295			143.1	225.0	35.95	18.83
296			125.9	198.0	33.70	17.65
297			106.8	168.0	22.50	15.76
298			94.8	149.0	20.80	14.58
299			87.1	137.0	{22.70 24.70	13.99
300			80.1	126.0	21.75	13.00
301			75.7	119.0	21.30	{12.20 13.40
302	25.7	188.2	156.3	245.7	38.40	20.10
303			135.1	212.4	35.65	18.52
304			114.5	180.0	{24.70 34.70	{16.55 16.94
305			103.0	162.0	22.70	15.76
306			92.9	146.0	21.30	14.66
307			85.9	135.0	{21.75 22.70	13.79
308			74.4	117.0	{19.80 21.75	{11.82 13.40

TABLA II-1

N	T _E °C	Ø w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP ₁₋₄ cmH ₂ O	ΔP ₂₋₃ cmH ₂ O
309	26.5	222.2	160.3	252.0	38.30	21.67
310			148.8	234.0	35.65	20.76
311			138.0	217.0	32.70	20.10
312			126.6	199.0	30.70	19.23
313			117.3	184.5	27.95	18.52
314			108.0	170.0	26.20	17.73
315			102.4	161.0	25.40	16.94
316			97.3	153.0	24.70	{15.76 16.94
318	26.5	229.8	154.5	243.0	36.40	21.95
319			139.0	218.7	32.70	20.88
320			126.0	198.0	28.70	19.70
321			114.5	180.0	26.20	18.32
322			104.7	164.7	25.20	17.34
323			102.4	161.0	24.70	16.94

TABLA II-LI

N	T _E °C	Ø w/cm ²	G g/s	V cm/s	Δ P ₁₋₄ cmH ₂ O	Δ P ₂₋₃ cmH ₂ O
325	26.5	83.95	155.7	244.8	30.50	20.72
326			138.5	217.8	25.50	18.52
327			128.8	202.5	22.30	16.74
328		83.23	114.5	180.0	18.70	13.87
329			106.0	166.5	16.03	11.62
330			91.6	144.0	12.06	8.67
331			80.1	126.0	10.00	7.29
332		82.50	70.4	110.7	8.68	6.15
333			64.2	101.0	7.40	5.52
334			54.9	86.4	6.20	4.53
335			45.8	72.0	5.15	3.94
336		82.00	38.9	61.2	8.22	3.62

TABLA II-m

N	T _E °C	Ø w/cm ²	G g/s	V cm/s	Δ P ₁₋₄ cmH ₂ O	Δ P ₂₋₃ cmH ₂ O
338	26.5	83.30	107.6	169.2	16.14	11.82
339			96.7	152.0	12.87	9.38
340			86.6	136.1	10.89	7.49
341			78.2	123.0	9.11	6.42
342			66.1	104.0	7.42	5.24
343		83.00	57.2	90.0	6.30	4.41
344			48.1	75.6	6.00	3.94
345			40.5	63.7	9.50	3.55
346			35.5	55.8	12.00	3.55
347			32.1	50.4	13.36	3.47
348		82.40	27.5	43.2	14.85	4.53
349	26.3	84.60	87.0	136.8	11.19	8.08
350			74.7	117.4	9.00	6.42
351		84.40	65.7	103.3	7.70	5.32
352			57.2	90.0	7.00	4.73
353			46.5	73.1	6.50	3.74
354		84.20	39.4	61.9	11.00	3.64
355			34.3	54.0	12.87	3.64
356		84.00	29.8	46.8	14.85	(3.94 4.53)

TABLA II-n

N	T _E °C	Ø w/cm ²	G g/s	V cm/s	ΔP1-4 cmH ₂ O	ΔP2-3 cmH ₂ O
357	26.3	201.9	148.3	233.1	32.47	21.12
358			126.0	198.0	27.32	18.87
359			108.8	171.0	25.25	17.34
360			103.0	162.0	24.75	16.55
361			97.3	153.0	23.76	15.76
362			91.6	144.0	23.26	{13.79 15.37
363		202.0	88.1	138.6	23.26	{13.40 15.37
364	26.0	206.1	164.8	259.2	41.10	22.46
365			148.3	233.1	31.88	21.28
366			131.6	207.0	28.12	19.90
367			127.1	199.8	27.72	19.50
368			120.0	189.0	26.73	18.56
369			108.7	171.0	24.75	17.85
370			103.0	162.0	24.26	17.14
371			97.3	153.0	23.26	15.76
372			93.3	146.7	22.77	{14.58 15.76
373		206.8	91.6	144.0	22.77	{13.79 16.15