

## ESPECTRO DE TAMAÑOS DE GOTAS DE DISTINTAS LLUVIAS EN BUENOS AIRES

CARMEN Y. C. de MENZIES (\*) y EMILIO A. CAIMI (\*\*)

Con el método de la formación de bolitas de engrudo mezclado con un colorante soluble en agua se muestreó siete lluvias distintas de las que se obtuvo en total 38 espectros.

En los casos que los períodos de muestreo pudieron prolongarse el tiempo suficiente durante una misma lluvia, se constató con bastante nitidez la presencia de tres tipos de distribuciones de masa acumulada: i) un espectro cuasi monodisperso cuyo diámetro de gota máximo fue de 2 milímetros, espectro que se presentó comunmente hacia el final y ocasionalmente al principio de la precipitación. ii) una segunda distribución cuyo diámetro máximo, a veces excepcionalmente alto, (llegó hasta 5,8 milímetros), con el 50% de la masa de agua distribuído entre pocas gotas grandes y que se produjo en los momentos de precipitación más intensa. iii) una distribución predominante constituída por gotas de hasta 3 milímetros de diámetro.

The method of the dough pellets with a soluble dye mixed in it, was used for the determination of raindrop size spectra in seven different rainfalls; 38 spectra were obtained.

When the sampling period was long enough, it was possible to put in evidence three different types of distributions of the accumulated mass of water: i) a quasi monodisperse spectrum with two millimeters as the largest drop diameter. This type of spectrum was obtained near the end of the rainfall and occasionally at the beginning. ii) a second type was obtained when the rainfall was rather intense and characterized by an exceptional high figure of the largest diameters (5,8 millimeters in one occasion) and the 50% of accumulated, mass of water is distributed among a few large drops. iii) a prevailing spectrum formed by drops up to three millimeters of diameter.

(\*) Servicio Meteorológico Nacional y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

(\*\*) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

## INTRODUCCION

El conocimiento de la distribución de tamaños de gotas de lluvia tiene especial importancia para los estudios de Física de Nubes y para la aplicación del radar a la medición de precipitación.

Los métodos experimentales para determinar la distribución pueden, en general, ser divididos en dos grupos, en función de su continuidad en el tiempo:

- a) los métodos discontinuos que por lo general se basan en la observación individual de la marca que deja impresa cada gota en el sensor utilizado. v. g. el papel de filtro con eosina, (Wiesner, 1895, Blanchard 1949b).
- b) los métodos continuos que se basan por lo general en la interacción entre algún tipo de energía y las gotas que atraviesan un volumen dado de aire, v. g. el disdrómetro, (Bradley y Stow, 1974). También es un método continuo el del espectrógrafo de gotas de Bowen y Davidson (1951).

Cada uno de estos métodos presenta ventajas y desventajas con respecto a los otros. Los del primer grupo ofrecen la manifiesta ventaja de ser mucho más económicos y más exactos, pero trabajar con ellos es muy laborioso. Los del segundo grupo, si bien son más sensibles y de un costo inicial mucho mayor, resultan a posteriori marcadamente más económicos pues son registradores y evalúan automáticamente, no sólo el espectro de tamaños en un instante dado, sino su variación en función del tiempo, permitiendo apreciar como varía la dinámica de la nube precipitante.

En mérito a las posibilidades con que se contaba, se optó por utilizar uno de los del primer grupo, el de las bolitas de engrudo, creado por Bencley (1904) y perfeccionado por Law y Parsons (1943) y por Blanchard (1949a). En líneas generales consiste en recoger gotas de lluvia en un colchón de harina no compactada (para eliminar problemas de salpicaduras) a la que se le agregó un colorante soluble en agua como el azul de metileno.

## PARTE EXPERIMENTAL

## Calibración

La relación entre la masa de las bolitas y el diámetro de la gota madre se determinó mediante una calibración previa, haciendo caer gotas de tamaños conocidos obtenidas con capilares de diámetros distintos, desde una altura de 3 metros. (Se eligió esta altura porque se supone que en ese nivel la velocidad de caída de la gota es muy aproximadamente su velocidad terminal).

La curva de calibración puede verse en la Figura 1. Como la masa de harina contenida en la bolita de engrudo es función del volumen de la gota de agua que la produjo y éste a su vez, función del cubo del radio de la gota supuesta esférica, se usó un sistema de coordenadas semicúbico.

La función de regresión es:

$$D = 1,2 ( m^{1/3} )$$

donde D = diámetro en milímetros de la gota  
m = masa en miligramos de la bolita de engrudo.

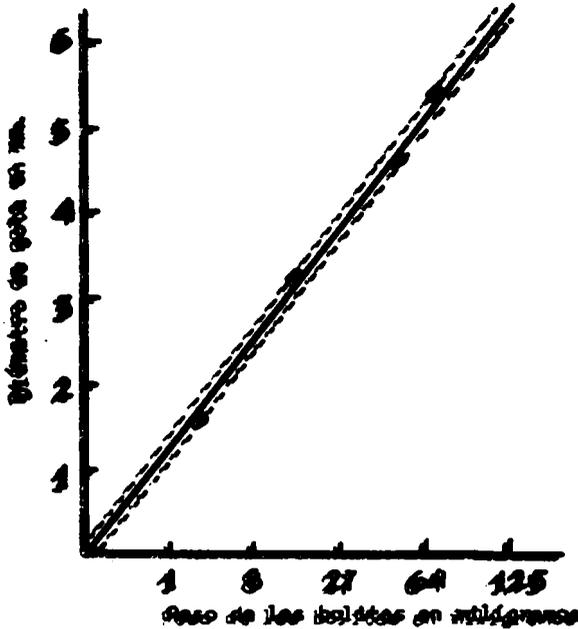


Figura 1: El peso de las bolitas de engrudo en función del diámetro de las gotas de agua que las producen. Resultado de la calibración.

El coeficiente de correlación es  $r = 0,9$  y el error de adecuación es  $S = 0,15$

#### Técnica experimental

Con la mezcla de harina y colorante se lloran parcialmente recipientes de aproximadamente 4 centímetros de alto y 10,5 ó 13 centímetros de diámetro, que se exponen a la lluvia durante un lapso  $\Delta t$  que oscila entre 5 y 60 segundos, según sea la intensidad de la lluvia, tratando siempre de evitar la superposición o unión de gotas.

Una vez recogida la muestra se procede a dejarla en reposo durante 48 horas aproximadamente, para que las bolitas fragüen y se sequen completamente. Después de ese lapso, se tamiza la mezcla con un cedazo de malla 50 para separar las bolitas y se efectúa una primera clasificación por tamaños tamizándolas sucesivamente con cedazos de mallas número 6; 8; 10; 14; 20; 25; 30 y 35. En cada uno de los grupos así formados se hace una segunda clasificación más fina, visualmente. A continuación se pesan las bolitas así agrupadas en clase de tamaños, tratando de hacer pesadas individuales. En el caso de las bolitas más pequeñas, las que quedan entre los tamices 25, 30 y 35, es suficiente con hacer pesadas en grupo, calculando posteriormente el peso promedio y el subsecuente diámetro promedio.

#### Mediciones en lluvias naturales

A partir de setiembre de 1975 se comenzó a realizar muestreos en lluvia natural y se determinó el número  $N$  de gotas de diámetro  $D$ . Se tomó muestras en la Capital Federal y el sitio de medición fue el parque de Ciudad Universitaria ubicado en Núñez (12 msn,  $34^{\circ}34' S$  y  $58^{\circ}25' W$ ).

En general, las gotas más pequeñas recogidas, tenían un diámetro menor de 0,4 milímetros y la más grande 5,8 milímetros. Por comodidad se las agrupó en clases de 0,5 milímetros.

Se agrupó los casos presentados de acuerdo con situaciones sinópticas tipo para tratar de determinar a posteriori, un espectro medio para esas situaciones.

Se consideró así:

- i) lluvias de tipo ciclónico
- ii) lluvias de masa de aire inestable
- iii) lluvias prefrontales

#### Lluvias de tipo ciclónico

A este tipo correspondieron las del 19 de setiembre de 1975 y la del 31 de marzo de 1976. La lluvia caída registrada en los pluviómetros de la estación meteorológica del Aeroparque Jorge Newbery fue de 3,5 milímetros entre las 9.00 y las 12.00 HOA para el 19 de setiembre; cantidad harta escasa como para poder calcular, con los datos de la faja registradora, la variación con el tiempo con un margen de error aceptable. Además hubo necesidad de exponer la bandeja muestreadora hasta 50 segundos para recoger gotas en un número significativo.

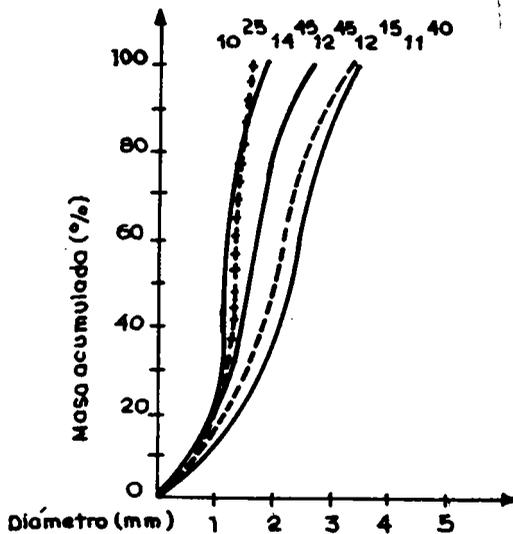


Figura 2: Curvas de distribución de masas de agua acumuladas correspondientes a la lluvia de tipo ciclónico del 31-3-1976.

El 31 de marzo de 1976 se tomó muestras en dos períodos: en el primero entre las 9.00 y las 10.55 HOA registrándose una precipitación de 3,3 milímetros y en el segundo, entre las 11.35 y las 14.55 HOA el total recogido fue de 11,7 milímetros. Las curvas que dan cuenta del comportamiento de la masa de agua acumulada pueden agruparse en tres clases, ver Figura 2.

a) un espectro poco disperso al comienzo y al final del período, con gotas de hasta 1,2 milímetros de diámetro.

b) las curvas que corresponden a instantes de máxima intensidad de precipitación, (0,6 milímetros en 5 minutos a las 11.40 HOA y 0,8 milímetros en igual lapso, a las 12.15 HOA), que muestran que el espectro se ensancha hasta diámetros de 3,6 milímetros y el 50% de la masa de lluvia caída corresponde a pocas gotas de diámetros mayores de 2,2 milímetros.

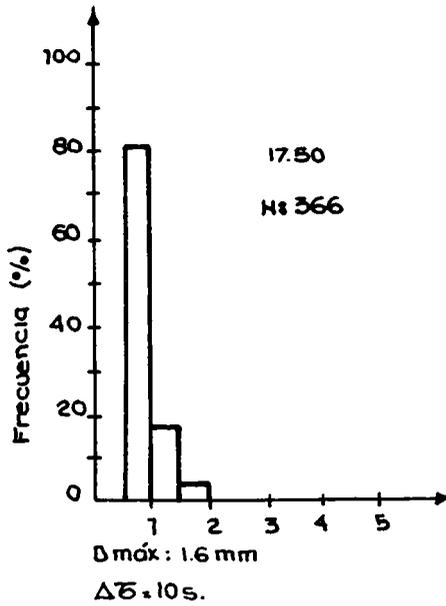


Figura 3: Histograma correspondiente a la muestra de las 17.50 HOA de la lluvia de masa de aire inestable del 18-9-1975.

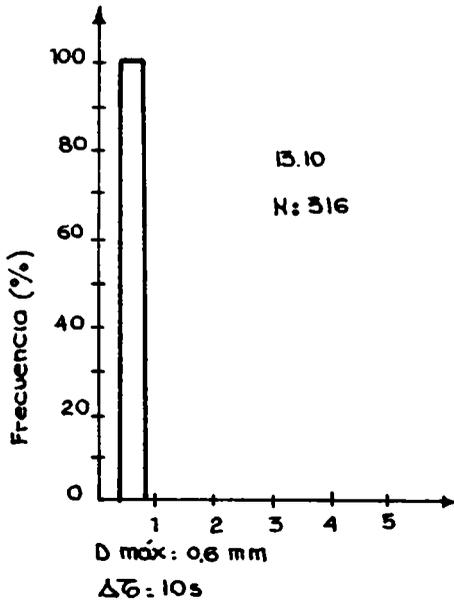


Figura 4: Histograma correspondiente a la muestra de las 13.10 HOA de la lluvia frontal del 18-10-1975.

c) un espectro corriente que se extiende hasta 2,5 - 2,7 milímetros de diámetro de gota.

#### Lluvia de masa de aire inestable

Sólo se registró el caso del 18 de setiembre de 1975. Una observación interesante que surge del análisis de los espectros de esta lluvia es que diez minutos antes de cesar (17.50 HOA), el espectro es monodisperso; ver Figura 3.

#### Lluvias prefrontales

A este agrupamiento corresponden las lluvias del 18 y 26 de octubre de 1975 y las del 2 y 19 de febrero de 1976.

Para el día 18 de octubre se totalizó un registro de 5,4 milímetros entre las 14.00 y las 15.00 HOA. La intensidad máxima, 2,5 milímetros en 5 minutos, se registró a las 14,25 HOA.

El espectro obtenido al comienzo de la precipitación mostró un carácter netamente monodisperso según puede apreciarse en la Figura 4.

El 26 de octubre se registró una precipitación de 1,5 milímetros en un lapso de una hora por la mañana, y de 8,6 milímetros en una hora y media por la tarde. Las curvas de distribución de masa acumulada revelan también tres tipos de distribución, según muestra la Figura 5.

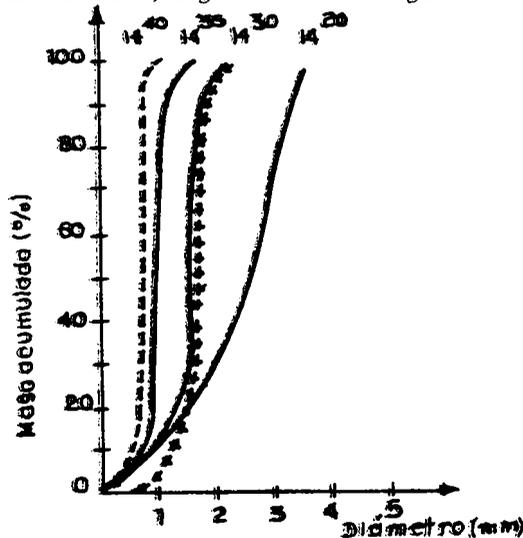


Figura 5: Curvas de distribución de masas de agua acumuladas correspondientes a la lluvia prefrontal del 26-10-1975.

El 2 de febrero de 1976 llovió desde las 16.45 hasta las 18.00 HOA, un registro total de 14,3 milímetros y la mayor intensidad para un periodo de 5 minutos fue 5,7 milímetros a las 17.30 HOA, que es la máxima ocurrida en todas las lluvias expuestas en este trabajo. Nuevamente aparecieron tres tipos de distribución acumulada, semejantes a los que ya fueron expuestos.

El 19 de febrero llovió entre las 16.30 y las 19.40 HOA, un total de 0 milímetros. Por razones ajenas a la investigación debió suspenderse la toma de muestras a las 17.20 HOA. También en este caso pudo observarse

tres tipos de distribución en la masa de agua acumulada.

La tabla I trata de sintetizar las características más salientes de los espectros de tamaños de gota obtenidos en los muestreos señalados. En ella deberá entenderse que:

$N_T$ : número total de gotas recogidas

$D_{\text{máx}}$ : diámetro máximo de gota observado

$D_m$ : diámetro de la gota de volumen mediano de la muestra

$\%N, D > D_m$ : porcentaje que representa el número de gotas cuyo diámetro es mayor e igual a  $D_m$

$\Delta D_{\text{sf}}$ : intervalo de los diámetros de frecuencias mayores

$\Delta t$ : tiempo de duración de la toma de muestra

$N/s$ : número de gotas recogido por segundo. Sólo se tabula  $N/s > 25$

#### CONCLUSIONES

En todos los casos en que el período de toma de muestras pudo prolongarse por un tiempo suficiente, aparecen con suficiente nitidez tres tipos de distribución de la masa de agua acumulada, durante una misma lluvia;

i) una distribución cuasi monodispersa, comparable a la de la "lluvia mono dispersa ideal" de Diem (1968) que se presentó generalmente hacia el final de la precipitación y ocasionalmente al principio, con un diámetro máximo de gota que excepcionalmente alcanzó los dos milímetros.

ii) en los instantes en que la precipitación alcanzó su máxima intensidad se observó un espectro en el que el 50% de la masa de agua acumulada se distribuyó entre pocas gotas grandes alcanzando en un caso el valor excepcionalmente grande de 5,8 milímetros de diámetro, muy cercano al límite de ruptura de las gotas en su caída en aire quieto.

iii) durante la mayor parte del tiempo de ocurrencia de la precipitación predominó un espectro constituido por gotas cuyo tamaño se extendió hasta 3 milímetros de diámetro.

Aunque los muestreos realizados hasta aquí son escasos como para poder generalizar conclusiones, podría inferirse de ellos que:

1º: el predominio de gotas de tamaños más pequeños se da en los casos de lluvias prefrontales.

2º: el mayor número de gotas recogido por segundo se da también en el mismo tipo de lluvias.

#### Comentario

El objeto de este trabajo fue verificar la eficiencia de métodos de determinación de tamaños de gotas de lluvia. Las lluvias muestreadas se seccionaron en función de las posibilidades del grupo investigador y no de la intensidad de las precipitaciones que fueron, en general, de baja intensidad. Deberá tratarse de confirmar los resultados obtenidos hasta el presente en especial en el caso de lluvias intensas.

TABLA I

Tipo de lluvia	Fecha	Ppción total	Hora HOA	$N_T$	$D_{m\acute{a}x}$ mm	$D_m$ mm	% N $D \geq D_m$	$\Delta D_{sf}$ mm	$\Delta \tau$ s	N/s 25
Prefrontal	18-10-75	5,4	13.10	316	0,6	0,6	100	0,5-1	50	30
			13.45	19	1,7	1,5	42,5	1,0-1,5	20	
			14.25	595	4,7	2,1	6,1	0,5-1	20	
			14.37	179	2,2	0,8	25,2	0,5-1	20	
	26-10-75	1,5	12.50	91	2,8	2,0	34,2	1-2,0	60	38
			14.20	565	4,8	2,8	1,6	0,5-1	15	
			14.30	158	2,8	1,8	7,0	$\leq 0,5$	15	
			14.35	629	2,4	1,0	28,0	0,5-1	15	
			14.40	45	1,3	0,8	37,7	0,5-1	15	
	2-2-76	14,3	16.50	240	3,4	2,1	8,3	$\leq 0,5$	10	39
			17.00	151	3,1	1,8	19,2	0,5-1	10	
			17.10	385	2,9	1,7	10,1	$\leq 0,5-1$	10	
17.20			480	3,3	1,9	10,4	$\leq 0,5$	10		
17.30			356	4,3	2,3	12,9	$\leq 0,5$	10		
17.40			213	2,8	1,6	24,4	$\leq 0,5-1$	10		
17.50			236	3,1	1,6	24,2	0,5-1	10		
18.00			162	2,2	1,2	25,9	0,5-1	10		
19-2-76	12,0	16.13	366	5,0	2,9	6,3	$\leq 0,5$	10	72	
		16.17	723	5,8	3,0	4,6	$\leq 0,5-1$	10		
		16.23	252	1,9	0,8	36,1	0,5-1	20		
		17.10	53	2,7	1,5	24,5	$\leq 0,5$	10		
		17.20	104	2,2	1,3	23,1	$\leq 0,5$	10		
Ciclónico	19-9-75	3,5	9.50	244	2,5	1,1	29,2	0,5-1	15	40
			10.15	316	2,3	1,1	27,8	0,5-1	50	
			11.50	386	1,1	0,7	34,7	0,5-1	40	
31-3-76	15,0	10.25	101	1,9	1,3	19,8	0,5-1	20	37	
		11.40	123	3,5	2,4	10,6	$\leq 0,5$	20		
		12.00	270	2,9	1,4	19,6	0,5-1	10		
		12.15	172	3,6	1,8	9,9	0,5-1	10		
		12.30	133	2,5	1,5	12,0	0,5-1	15		
		12.45	127	2,6	1,2	22,8	0,5-1	15		
		13.45	160	2,6	1,1	38,2	1-1,5	15		
		14.30	252	2,7	0,9	40,5	0,5-1	15		
		14.45	259	2,1	1,0	27,8	0,5-1	10		
		Masa de aire inestable	18-9-75	10,0	17.10	207	1,9	1,2		43,9
17.25	411				2,5	1,5	17,8	$\leq 0,5$	15	
17.30	264				5,1	2,4	4,9	0,5-1	10	
17.50	366				1,6	0,8	16,1	0,5-1	10	

## AGRADECIMIENTO

Los autores desean dejar expresa constancia de su agradecimiento con el señor Miguel E. Lefebre por el cuidado y la destreza con que construyó los equipos para la toma de las muestras.

## B I B L I O G R A F I A

- BENTLEY, W., 1904: *Studies of raindrops and raindrops phenomena*; *Mon. Weath. Rev.* Vol. 32 pp. 450-456.
- BLANCHARD, D.G., 1949 (a): *The distribution of raindrops in natural rain.* *Gen. Elec. Res. Lab.; A Project Cirrus Occasional Report N°15*, pp. 81 - 93.
- BLANCHARD, D.G., 1949 (b): *The use of sooted screens for determining rain-drop size and distribution.* *Gen. Elec. Res. Lab.; A Project Cirrus Occasional Report N°16*, pp. 94-101.
- BOWEN, E.G., DAVIDSON, K.A., 1951: *A raindrop spectrograph.* *Q. J. R. Met. Soc.* Vol. 77; pp. 445-459.
- BRADLEY, S.G., STOW, C.D., 1974: *Measurement of charge and size of raindrops, Part 1.* *Jr. of Appl. Met.*, Vol. 13, pp. 114-130.
- DIEM, M., 1968: *Zur Struktur der Niederschläge III.* *Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, Band 16*, pp. 347-390.
- LAWS, J.O., PARSONS, D.A., 1943: *The relation of raindrops size and intensity.* *Trans. Am. Geoph. Union*, Vol. 22, pp. 452-460.
- WIESNER, J. 1895: *Beiträge zur Kenntnis des tropischen Regens.* *Ber. Akad. Wissen. Wien, Band 104*, pp. 1397-1402.