

ESTABILIDAD DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE NUKIYAMA-TANASAWA. TRANSICIÓN AL ESCALAMIENTO

O. Sotolongo^{*}, E. López^{**}, F. Barreras^{**} y J. Marín^{*}

^{*} Departamento de Física Teórica. Universidad de la Habana. ^{**} Departamento de Física. Universidad de Matanzas.

Resumen

Se demuestra experimentalmente el carácter de la transición a través de sucesivas bifurcaciones de una distribución de gotas atomizadas del tipo Nukiyama-Tanasawa a una distribución escalada, en forma semejante a la transición de comportamiento periódico a comportamiento caótico por duplicación del período.

Abstract

The character of the transition from Nukiyama-Tanasawa type distribution function in pressure atomization processes is shown. The transition was performed through successive bifurcations in a similar way as the transition from periodic to chaotic behavior by a process of period doubling.

INTRODUCCIÓN

Considerado como un problema tecnológico la generación de energía mediante la combustión de aceites combustibles líquidos persigue como objetivo primordial el fraccionar el volumen de combustible a utilizar con el propósito de aumentar la superficie efectiva que presenta la masa del mismo al contacto con la atmósfera comburente y por tanto a los efectos de intercambio térmico con el medio.

Con tal propósito el combustible es atomizado para lograr la subdivisión forzada del mismo en pequeñas gotas las que dispersas en el comburente forman una mezcla uniforme donde puede propagarse la llama.

Dependiendo del principio de construcción y de trabajo, el dispositivo atomizador logra formar el referido conjunto de gotas tras la generación de un cono o una lámina de fluido que es rota en el proceso. Los mecanismos de ruptura de la geometría del fluido inicialmente formada a la salida del atomizador logran la formación de las gotas en estrecha dependencia con los parámetros de operación del dispositivo, la viscosidad del fluido, el coeficiente de tensión superficial del mismo entre otras magnitudes [1].

El conjunto de gotas formado ha sido históricamente caracterizado por diversas magnitudes, siendo la más conocida el llamado "Diámetro Medio de Sauter" (d_{32}) [1,2] y más recientemente, utilizando distribuciones estadísticas ajustadas y caracterizadas además por otros parámetros. Entre ellas se toman como las más comunes las de Rosin-Rammler y Nukiyama-Tanasawa [3]. Esta última en su forma más general se expresa:

$$n = \frac{dN}{dd} = Bd^2 \exp(-cd^a) \quad (1)$$

siendo n el número de gotas con diámetro entre d y $d + \Delta d$, B es una constante, C se conoce como "parámetro de talla" y a es el parámetro que identifica a la distribución.

Es de señalar que, a pesar del desarrollo experimental en los últimos años en los temas relacionados con: sistemas dinámicos, comportamiento caótico de los sistemas, etc., la aplicación de las técnicas y conceptos relativos a estos temas se ha hecho de forma relativamente insuficiente [4].

estos temas se ha hecho de forma relativamente insuficiente [4].

El presente trabajo centra su atención sobre el proceso de atomización por presión y estudiamos el comportamiento de la distribución de gotas bajo la influencia de los parámetros de operación del dispositivo atomizador. Se demuestra que los conceptos y puntos de vista hasta ahora utilizados en este campo son insuficientes para estudiar la dinámica de formación de sprays y deben completarse con conceptos involucrados en procesos que presentan escalamiento, tales como: "exponente crítico" y "autosemejanza" por sólo citar dos ejemplos. Esto tiene consecuencias inmediatas en los procesos de combustión de combustibles líquidos[5].

DISEÑO EXPERIMENTAL

La Fig.1 muestra un diagrama de la instalación de atomización a escala de laboratorio. En ella se utiliza un quemador de atomización por presión, el cual consta de una bomba de engrane con control de presión (1) para el trasiego del combustible y una boquilla Danfoss (2) al final del conducto de descarga (3). El fluido de ensayo es almacenado en el interior de un recipiente calefactor con control termostático de temperatura (4) y se han obviado los aditamentos de tiro inducido de aire que forman parte del quemador original. Las muestras se obtienen tras la obturación del cono de atomización por un mecanismo (5) que garantiza un tiempo de exposición del portamuestra (6) de $3 \cdot 10^{-2}$ s aproximadamente.

Teniendo en cuenta dicho montaje experimental, existe entonces un conjunto de magnitudes involucradas en las características del resultado. Ellas son: el diámetro del chorro atomizado (D_j), la presión de atomización (p), y los parámetros del fluido, densidad (ρ), coeficiente de viscosidad dinámico (μ) y el coeficiente de tensión superficial (σ).

Con este conjunto de magnitudes solamente pueden establecerse dos monomios adimensionales linealmente independientes. Ellos son: el número de Ohnesorge:

$$Z = \frac{\mu}{\sqrt{\rho\sigma D_j}} \quad (2)$$

y el número:

$$\Pi = \frac{pD_j}{\sigma} \quad (3)$$

No resulta ocioso apuntar que pueden obtenerse otros números adimensionales para el diseño experimental; pero en el trabajo se utilizan los mencionados en atención a su uso común en problemas de atomización, en el caso de Z , y por su comodidad para variar en nuestra instalación, en el segundo caso.

En el trabajo experimental se utilizó como fluido de ensayo parafina líquida a la temperatura estable de 413 K manteniendo así el valor de Z constante, para un diámetro fijo de salida del combustible y variando mediante el control de presión de la bomba el valor de Π , barriendo desde 9.63 hasta 36.13.

Cada muestra fue estudiada bajo observación y medición directa del conjunto de gotas obtenido en un microscopio óptico de resolución apropiada para un aumento adecuado y se definió como diámetro de la gota a la dimensión de la misma para una distancia de barrido prefijada; esto es, se utilizó el criterio de Krumbein para establecer la talla de las mismas.

RESULTADOS

Los datos experimentales fueron procesados matemática y estadísticamente para determinar la distribución de gotas según el diámetro (d). Los resultados se muestran en las figuras (2)-(8), obtenidas bajo diferentes valores de Π , estableciendo una secuencia en el proceso estudiado.

La Figura (2) muestra claramente la existencia de un máximo absoluto como corresponde con lo reportado internacionalmente, para un diámetro de gotas de 218.87 μm .

Siendo B , C y a en la expresión (1) parámetros ajustables de acuerdo a cierta data experimental; la Figura 3 muestra entonces el ajuste matemático

de la función de Nukiyama-Tanasawa a los datos experimentales obtenidos para $\Pi=9.63$ y ploteados en la Figura 2, para valores de: $B=0.4713$; $C=0.6729$ y $a=0.3999$.

La Figura 4 presenta la distribución correspondiente a un estado ligeramente diferente del reflejado en la Figura 2, obtenido para $\Pi=11.44$ y muestra como característica significativa el desdoblamiento del máximo inicial en dos máximos locales correspondientes a los valores del diámetro de gotas $134.66 \mu m$ y $214.79 \mu m$.

La Figura 5, lograda siendo $\Pi=12.65$; sucede en la secuencia temporal de la transición mostrada ya por las Figuras anteriores y revela como rasgo de importancia la repetición del proceso verificado anteriormente; el desdoblamiento de cada pico o más concretamente la multiplicación de estos un número par de veces. Aparecen dos máximos totalmente resueltos para valores del diámetro de $105.99 \mu m$ y $281.60 \mu m$ y otros dos muy pequeños, para valores del diámetro de $720.64 \mu m$ y $984.06 \mu m$.

El proceso se repite sin dudas y la Figura 6 muestra, tras la variación de Π al valor de 14.45 , una aparición de múltiples crestas en la función de distribución, mientras los picos predominantes se presentan esta vez con valores de $117.02 \mu m$ y $314.69 \mu m$.

La Figura 7, reportada para $\Pi=18.07$, viene a ser la antesala de lo que refleja la Figura 8

($\Pi=36.13$) y esta a su vez una imagen gráfica de la huella de un estado caótico sobre el conjunto de gotas obtenido en la fractura del volumen del líquido atomizado. Un ajuste de los puntos correspondientes a esta figura muestra que la función de distribución es de la forma:

$$n(d) \propto d^{-x} \quad (4)$$

donde $x=2.36$ representa cierto "exponente crítico" asociado a la existencia de escalamiento en la distribución [5] y obtenido tras el ajuste mencionado con coeficiente de regresión lineal $r=0.9979$.

CONCLUSIONES

Como puede observarse, en los procesos de atomización de líquidos por presión, distribuciones del tipo Nukiyama-Tanasawa son válidas para el rango de presiones de atomización bajas (pequeños valores de Π); de modo que Π puede servir como parámetro de control. Se demuestra entonces que al variar Π se provocan sucesivas bifurcaciones en la función de distribución y el sistema transiciona a un estado final con presencia de estructuras escaladas de gotas. De manera que los parámetros canónicamente establecidos en los procesos de atomización, tales como el "diámetro medio de partículas" o diámetro más probable, deben verse completados con la adición de nuevos conceptos como los de "escalamiento" y "autosemejanza". El comportamiento del spray recuerda, con sus debidas traducciones, la transición de comportamiento periódico a comportamiento caótico a través de bifurcaciones sucesivas en un sistema dinámico.

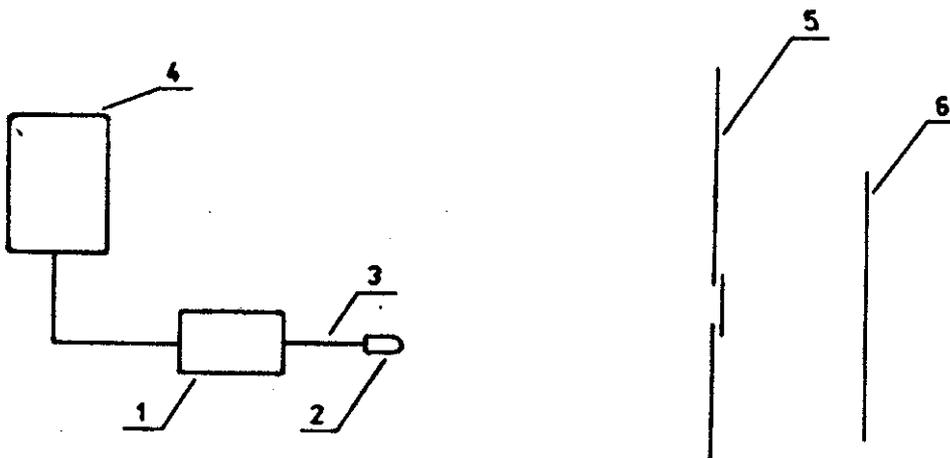


Figura 1: Diagrama de la instalación experimental utilizada. (1) Bomba de combustible, (2) Boquilla de atomización, (3) Tubo de descarga del combustible, (4) Recipiente calefactor, (5) Mecanismo de obturación, (6) Portamuestras.

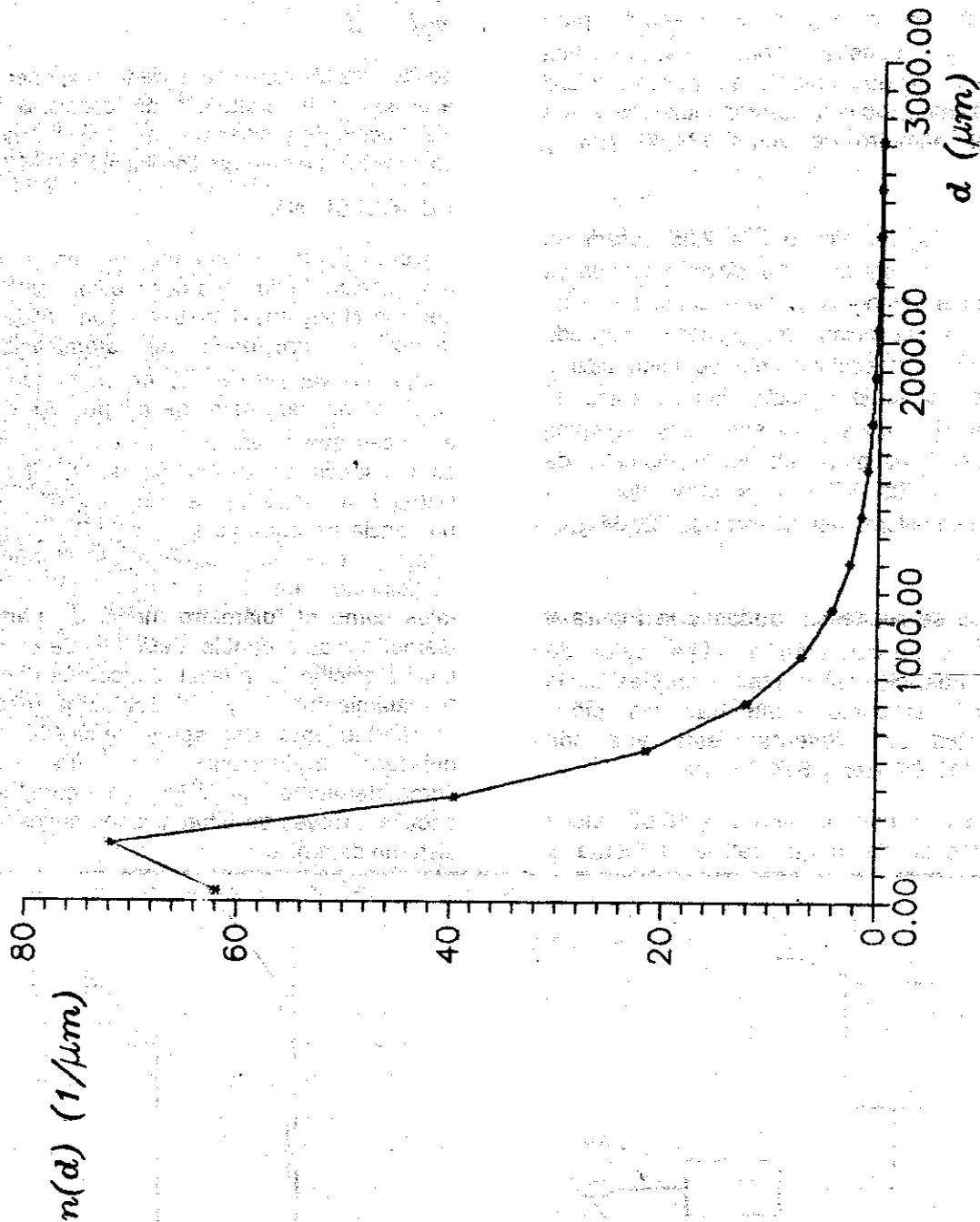


Figura 2. Función de distribución de gotas según el diámetro para $\Pi=9.63$.

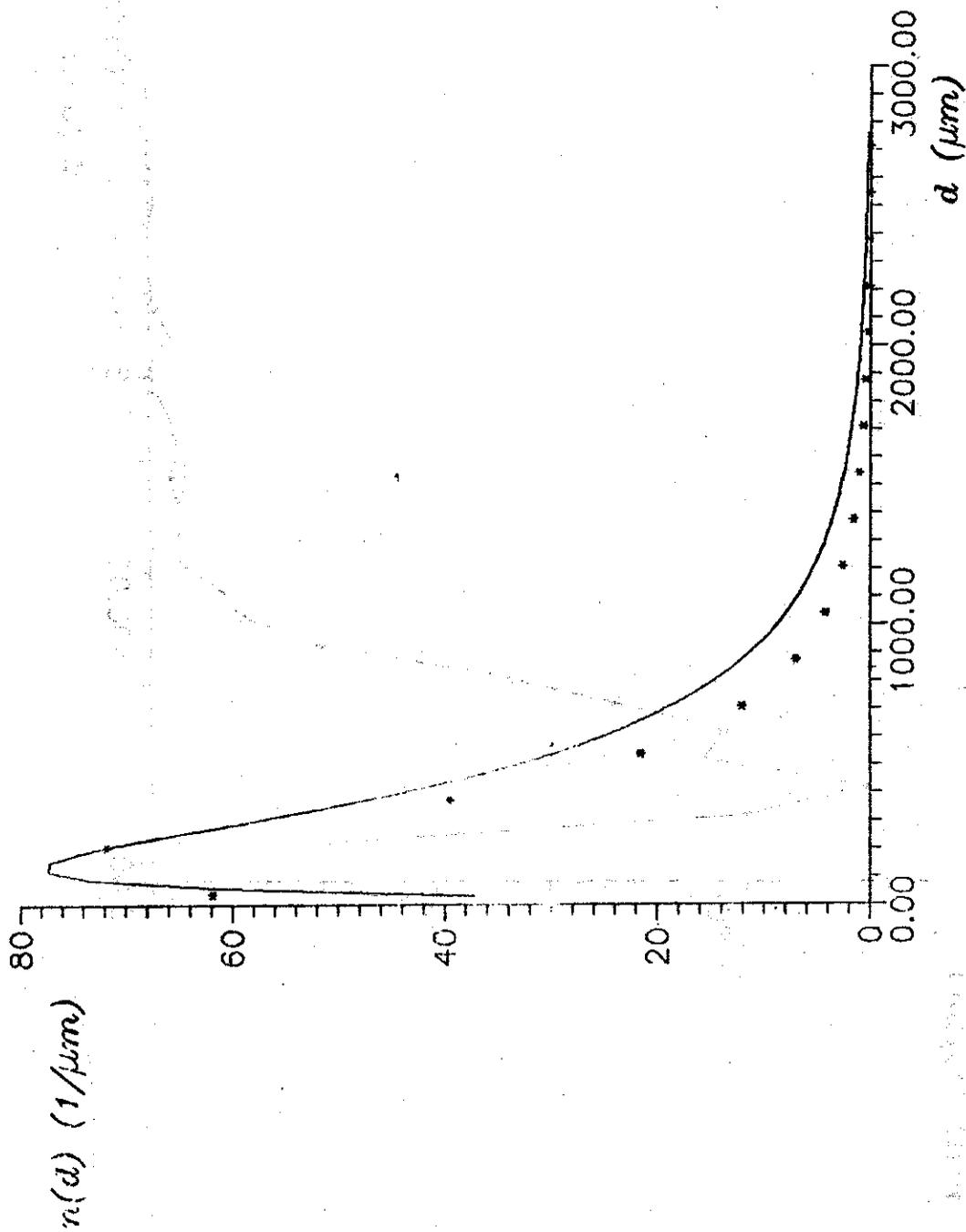


Figura 3: Función de Nukiyama-Tanasawa ajustada (línea continua en la figura) a los datos experimentales (puntos en la figura) obtenidos para $\Pi = 0.63$.

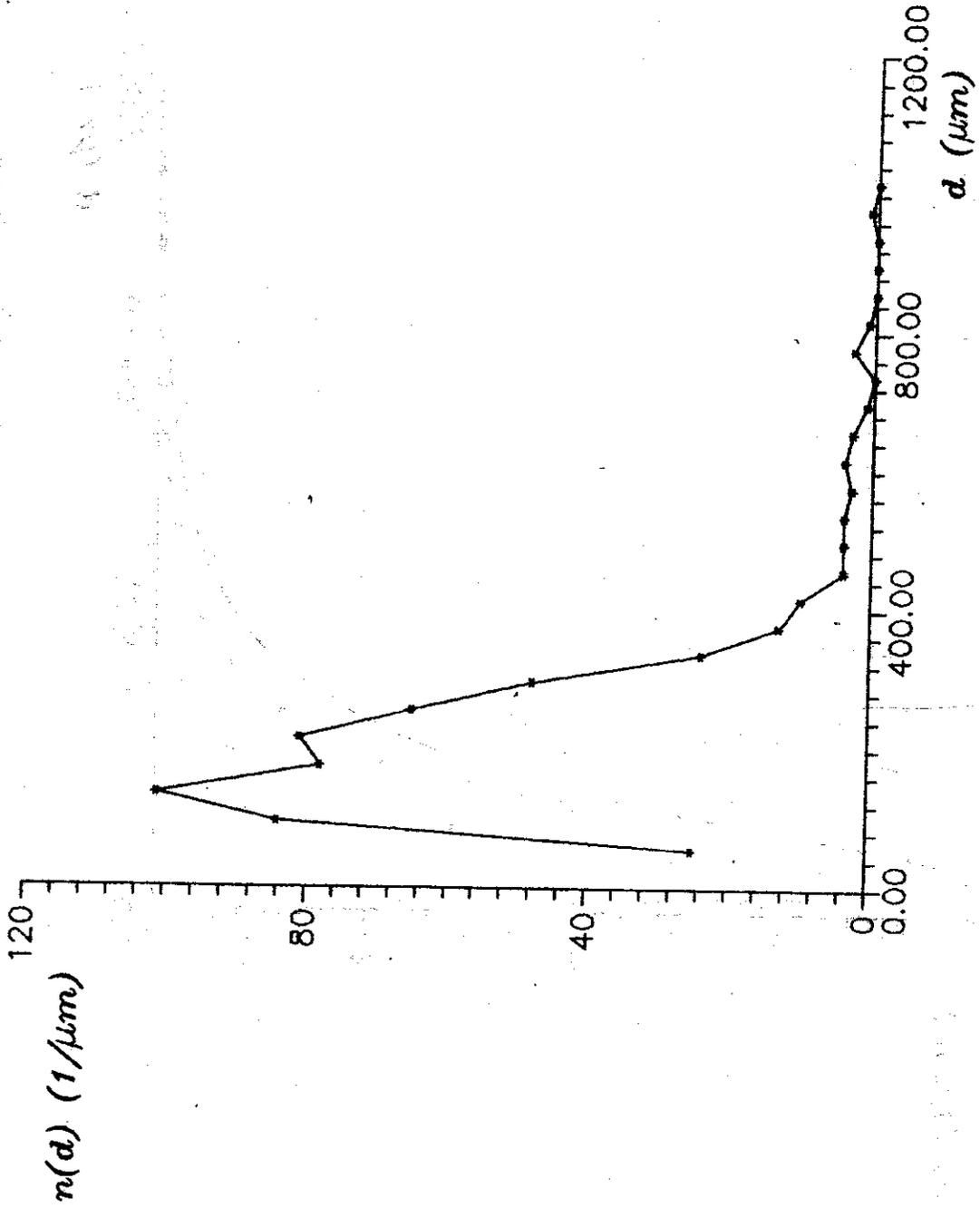


Figura 4: Función de distribución de gotas según el diámetro para $\Pi = 11.44$.

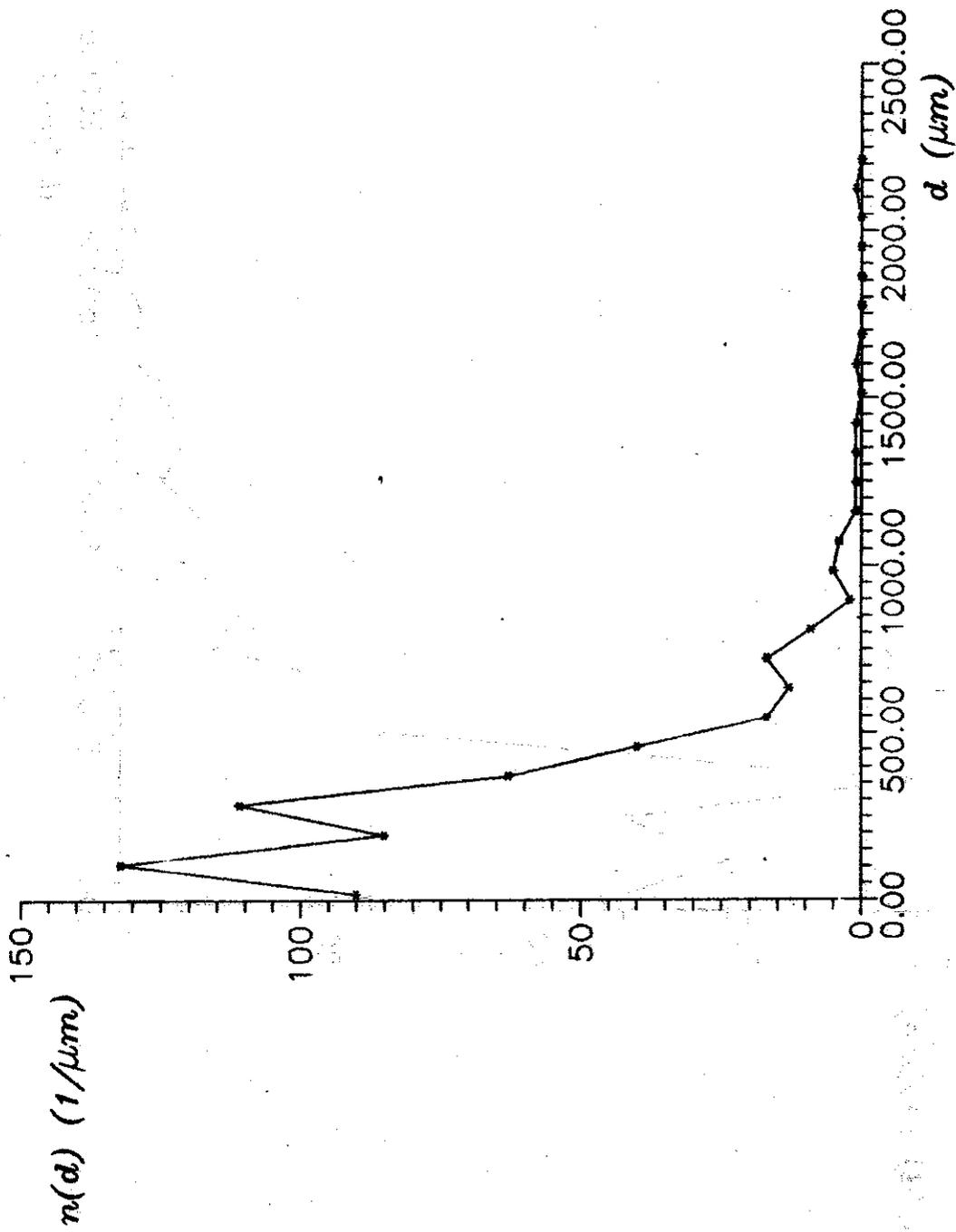


Figura 5. Función de distribución de gotas según el diámetro para $\Pi = 12.65$.

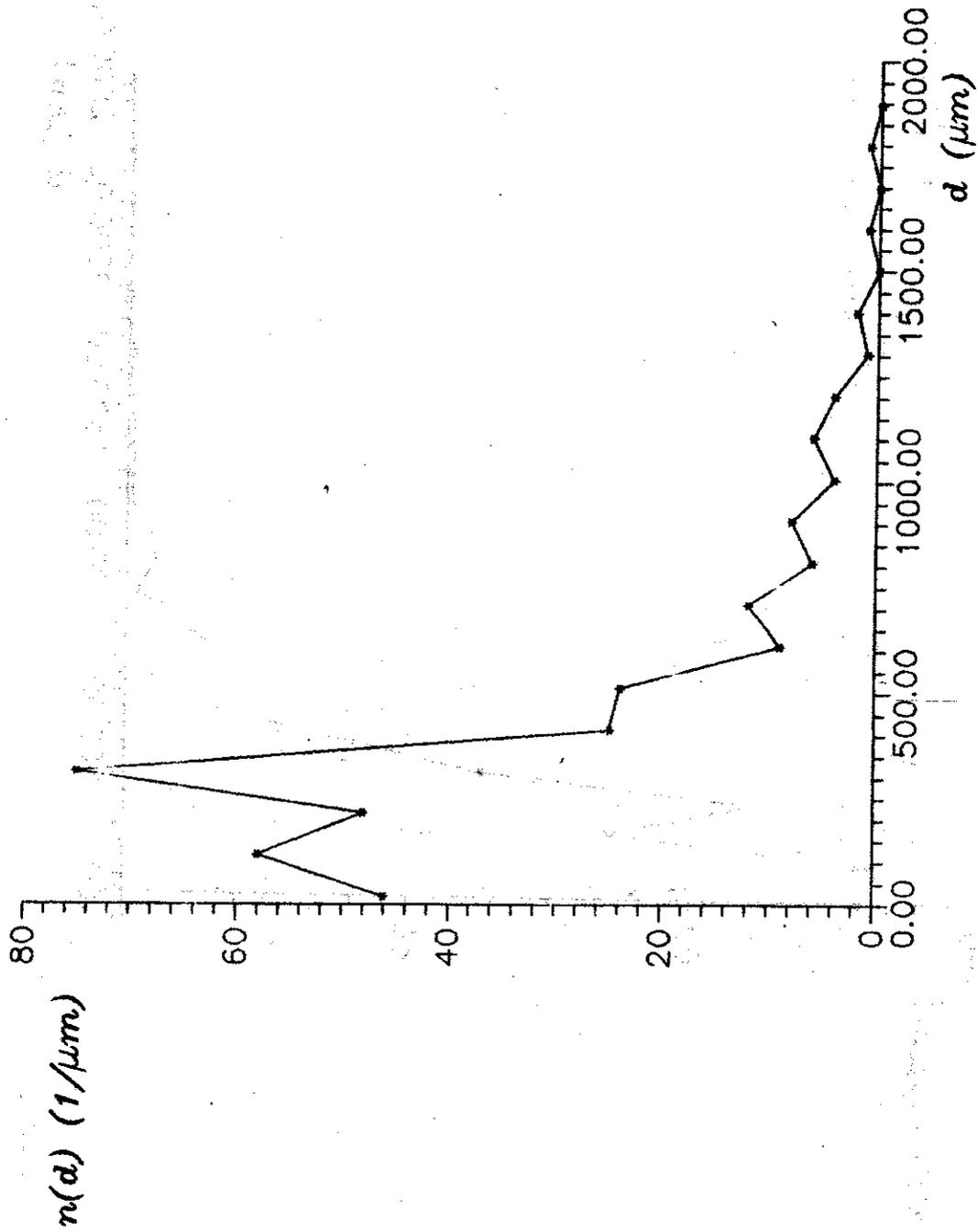


Figura 6. Función de distribución de gotas según el diámetro para $\Pi = 14.45$.

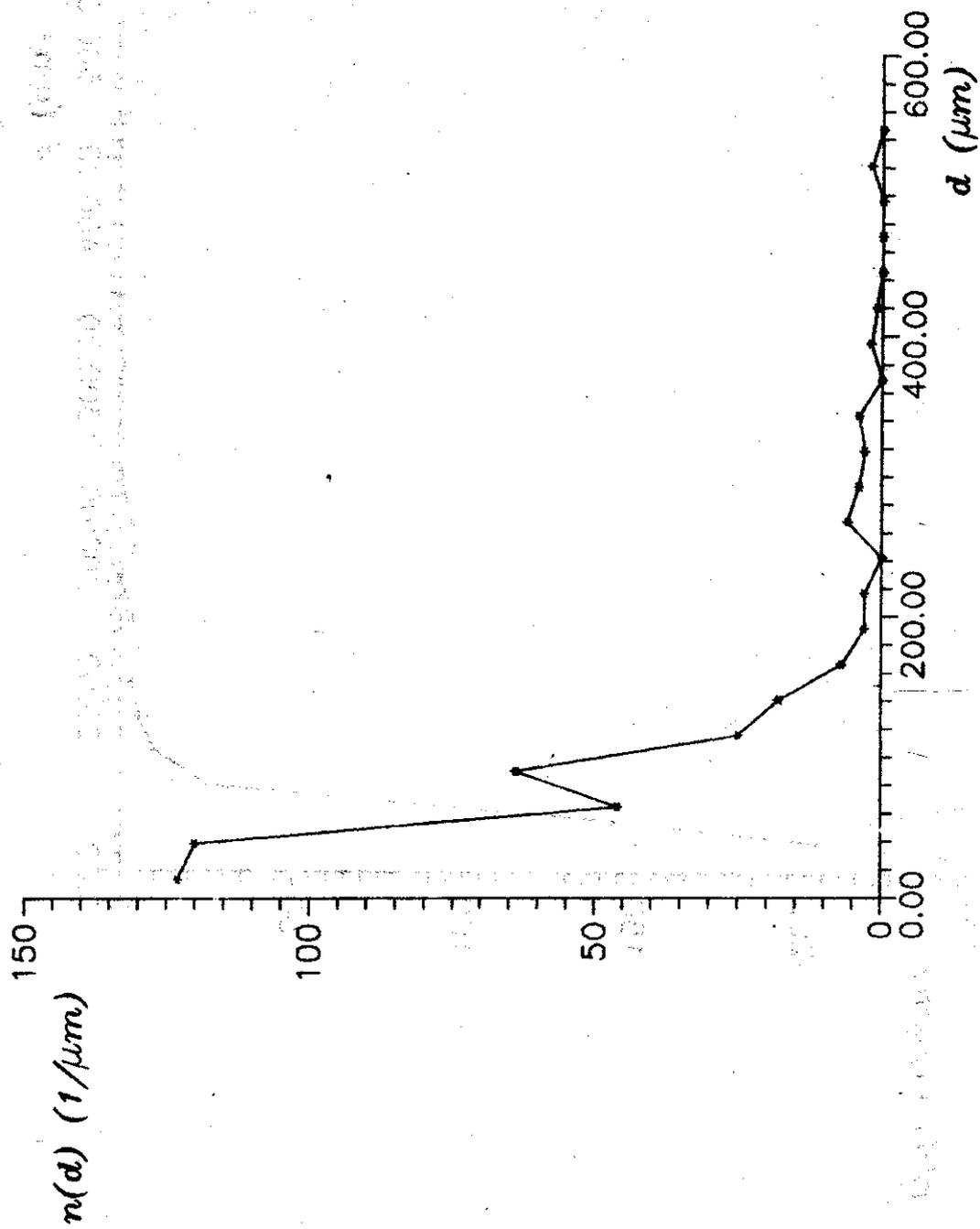


Figura 7. Función de distribución de gotas según el diámetro para $\Pi=18.07$.

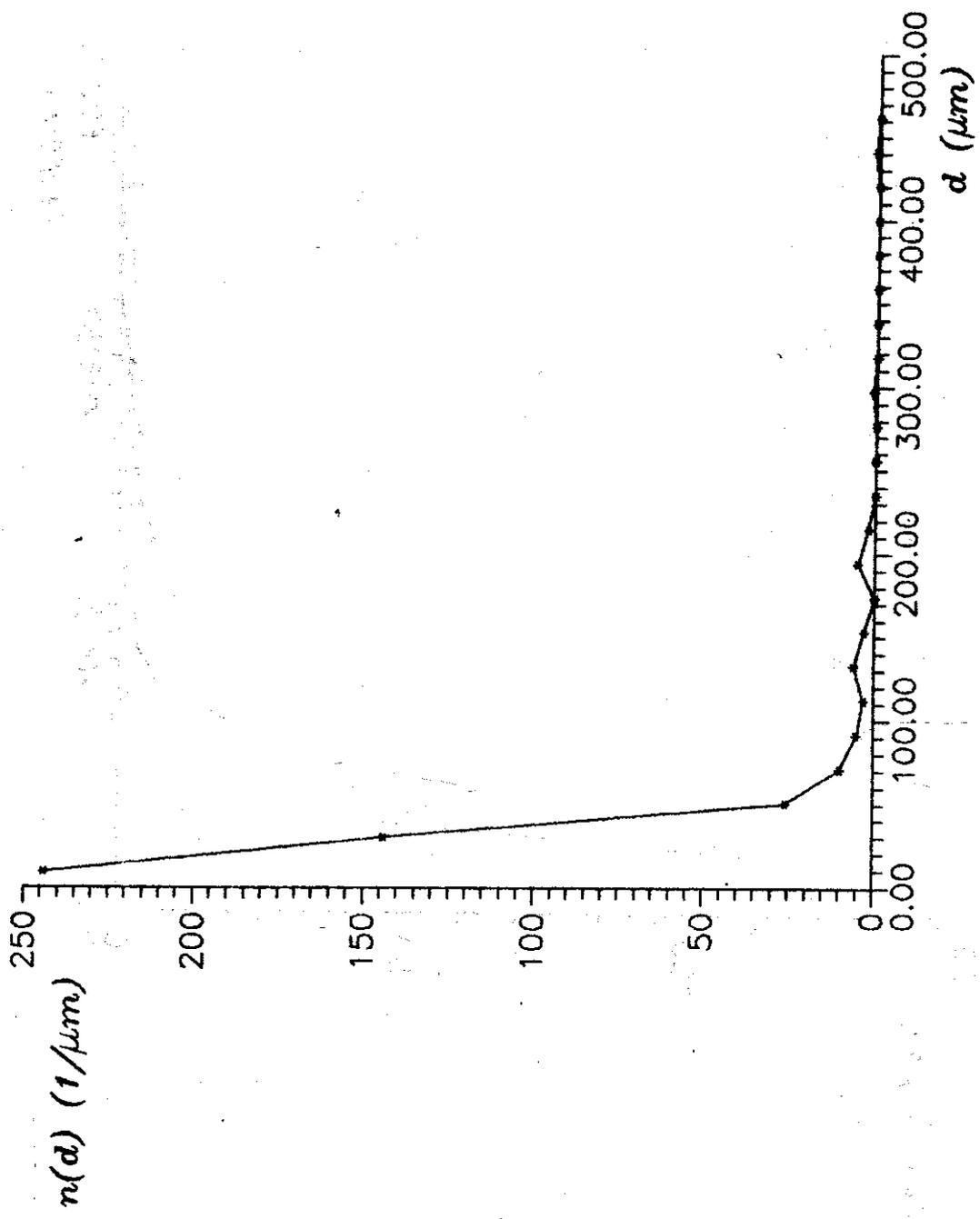


Figura 8. Función de distribución de gotas según el diámetro para $\Pi = 36,13$.

REFERENCIAS

G. Salvi, "La Combustión. Teoría y Aplicaciones", Dossat s.a., Madrid (1975).

R. H. Perry and D. Green, "Chemical Engineering Handbook", Ed. Revolucionaria, La Habana (1989).

X. Li, R. Tankin, Combustion Science and Technology 56,65 (1987).

"Proceedings of the Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics". Bull. of The American Physical Society, Texas, U.S.A., Nov. (1993).

O. Sotolongo, E. López y F. Barreras, Ciencias Matemáticas 11, 12 (1992)