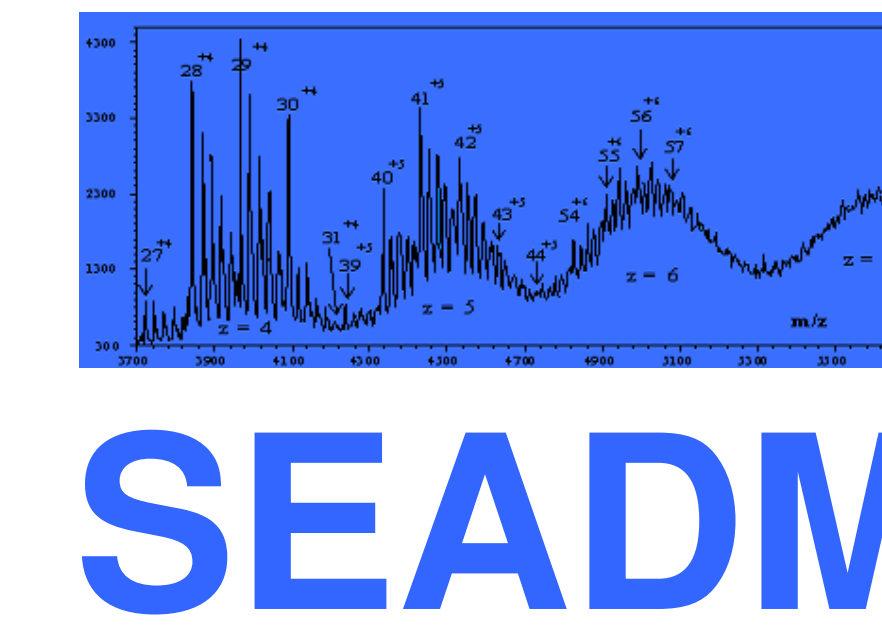


# Impactador virtual de enfoque aerodinámico con alto numero de Reynolds y amplio rango.

G.Vidal<sup>1,2</sup>, J.Fernandez de la Mora<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>SEADM, Boecillo, Spain; <sup>2</sup>Yale University, New Haven, CT



Contacto: guillermo.vidal@seadm.com

## Resultados 1

Se ha realizado un enfocador axisimétrico de tres etapas de estrechamiento que opera laminarmente hasta  $Re \sim 100.000$ . Y se ha estudiado numéricamente el comportamiento del mismo.



Figura 1. Geometría propuesta para enfocador compuesto de alto  $Re$  y amplio rango.

Según las simulaciones realizadas, colocando un colector en la zona en la que se estabiliza la posición del foco:

- Se consigue un diámetro de zona manchada menor al 20% del diámetro de salida de la tobera compuesta para un rango de  $St$  comprendido entre 2 y 1000.
- Se consigue un diámetro de zona manchada menor al 10% del diámetro de salida de la tobera compuesta para un rango de  $St$  comprendido entre 3.5 y 350.

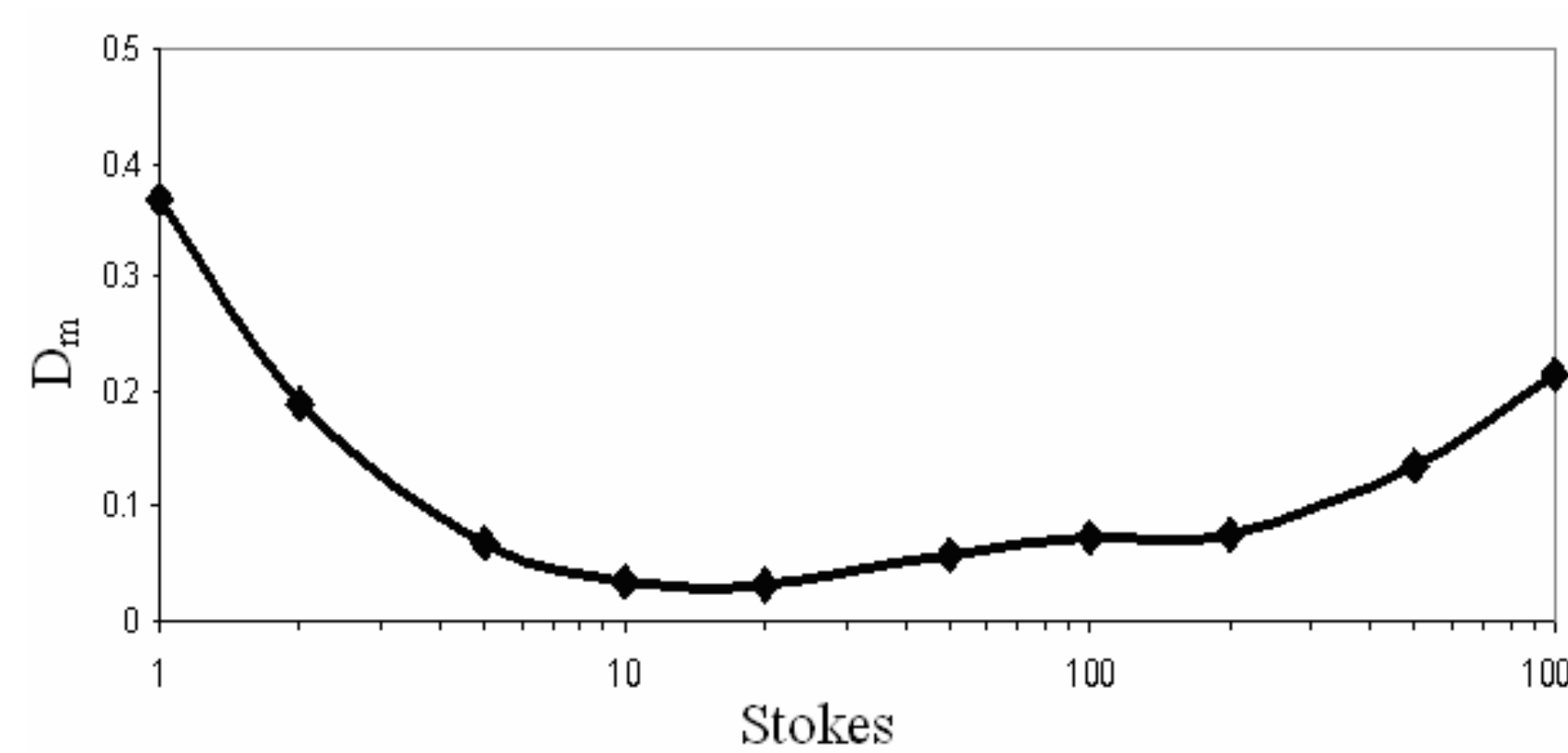


Figura 2. Diámetro de zona manchada en colector adimensionalizado con diámetro de salida de enfocador compuesto como función del  $St$ . Simulación para enfocador de amplio rango con  $Re = 7000$ , y ley de resistencia aerodinámica no lineal válida para  $Re$  de partícula ( $< 800$ ).

Se ha realizado el diseño de un enfocador singular.

Colocando un colector en la zona en la que se produce el enfoque acoplado:

- Se observa un primer valle correspondiente al enfoque a bajo  $St$  de la etapa mas pequeña.
- Se observa un segundo valle para  $St \sim 50$  muy singular.

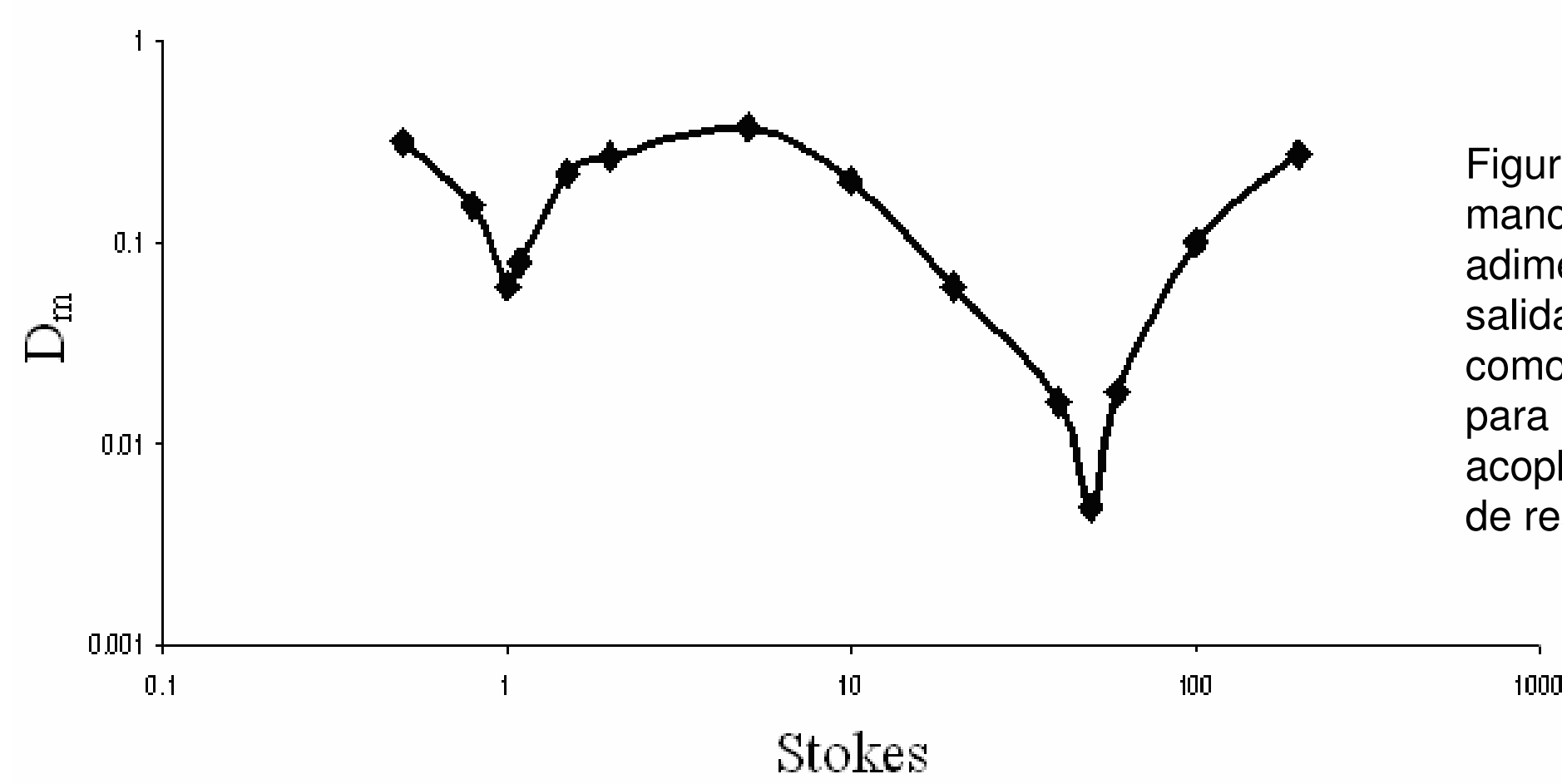


Figura 3. Diámetro de zona manchada en colector adimensionalizado con diámetro de salida de enfocador compuesto como función del  $St$ . Simulación para enfocador con singularidad acoplada. Flujo sin viscosidad y ley de resistencia aerodinámica lineal.

## Conceptos de diseño

### Contracciones

Una contracción suficientemente abrupta en un conducto puede producir efectos de **enfoque** a la vez que mantener la **configuración fluida** libre de desprendimientos y **estable** para altos Reynolds.

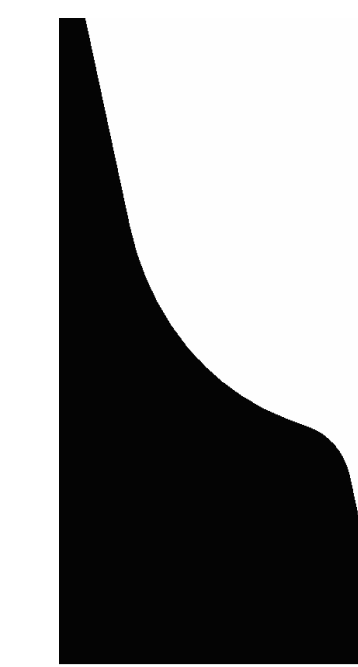
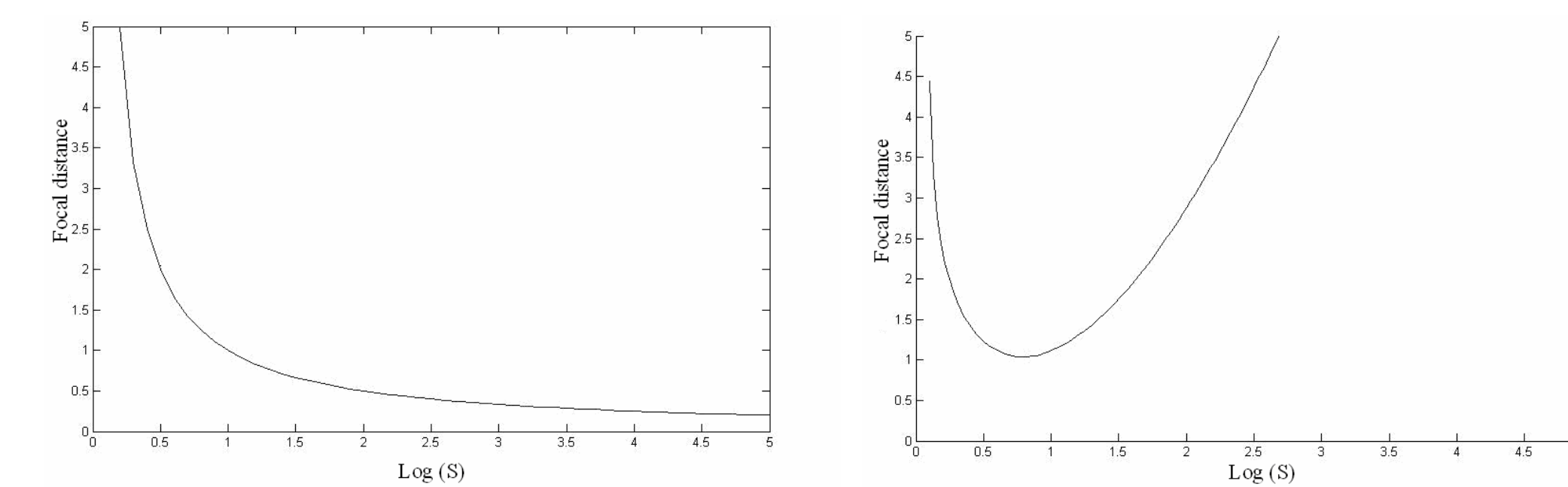


Figura 4. Ejemplo de geometría de contracción en que se presentan efectos de enfoque y la corriente se mantiene estable. El parámetro 'd' se define como el diámetro de entrada partido por el de salida.

Se ha estudiado numéricamente el comportamiento de aerosoles al atravesar una contracción aislada; las condiciones de impacto contra las paredes; y el comportamiento del foco. Se ha observado el fenómeno de arrastre del foco, gracias al cual se puede evitar el sobre-enfoque y la divergencia posterior al foco.



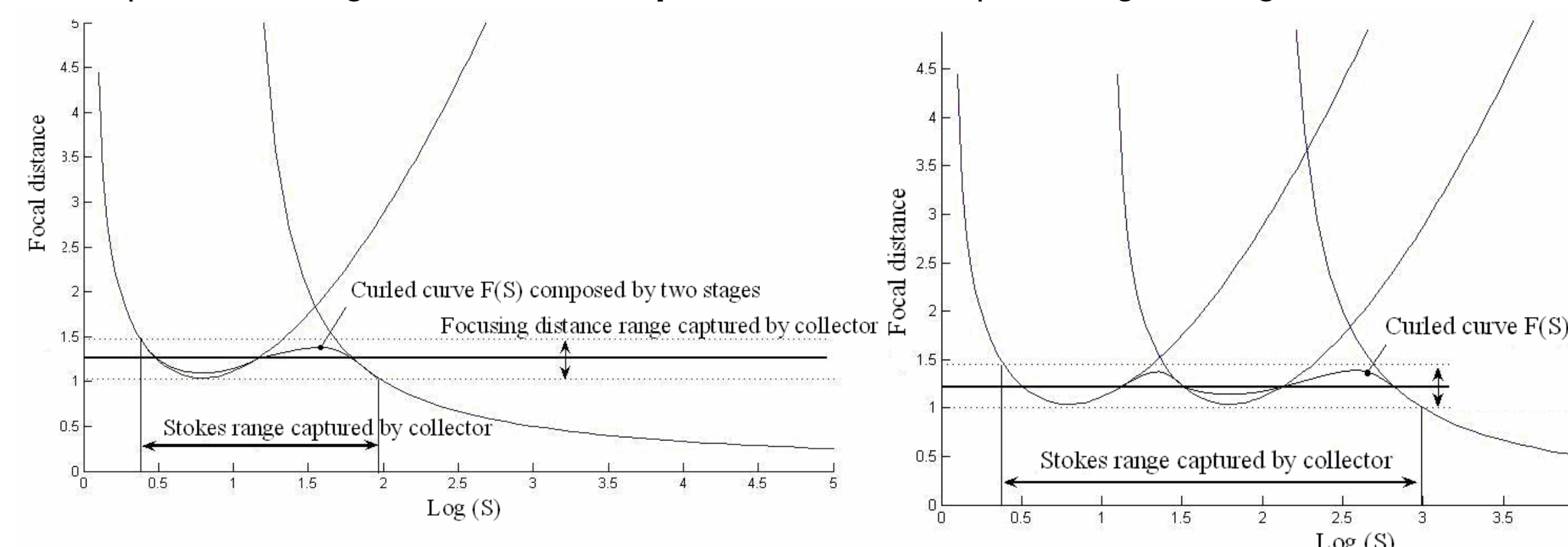
Figuras 5 y 6. Comportamiento de la distancia focal para dos estrechamientos en función del  $St$ . Cuando  $d > 1$  el comportamiento es similar al de las lentes aerodinámicas y la distancia focal decrece con el  $St$ . Cuando  $d \sim 1$ , la curva presenta un mínimo a partir del cual las distancias focales crecen con el  $St$ . A este cambio cualitativo de la curva  $f(S)$  lo llamamos arrastre.

### Enfocadores compuestos

Se puede estimar el comportamiento cualitativo de las curvas que definen la posición focal en función del  $St$  para un enfocador compuesto por una sucesión de contracciones a partir de las mismas curvas para cada contracción aislada.

### Enfocador de amplio rango

El método de diseño propuesto se basa en la sucesión de varias contracciones, El concepto de funcionamiento se explica gráficamente en las figuras 7 y 8. Se puede conseguir **estabilizar la posición del foco** para un gran rango de  $St$ .



Figuras 7 y 8. Muestran esquemáticamente el comportamiento de las curvas  $f(S)$  para enfocadores compuestos respectivamente por una contracción con  $d > 1$  seguida por otra con  $d \sim 1$  (Fig 7); y una contracción con  $d > 1$  seguida por otras dos con  $d \sim 1$  (Fig 8).

### Enfocador muy singular

Para un  $St$  concreto. Una etapa enfoca a  $St$  bajos (en algún punto de la parte decreciente de la curva  $f(St)$ ), y la siguiente etapa enfoca a  $St \sim 50$  altos (en algún punto de la parte creciente de la curva  $f(St)$ ).

**Enfoque acoplado:** La partícula es enfocada singularmente dos veces para un  $St \sim 50$  correspondiente a la intersección de las dos curvas de la figura 7.

## Introducción.

El objeto de este estudio es el desarrollo de un concentrador de aerosoles de *amplio rango de tamaños y alto Reynolds ( $Re$ ) basado en un impactador virtual con enfoque.*

El incremento en concentración ( $C$ ) será tanto mayor cuanto mayor sea el enfoque conseguido en todo el rango operativo de número de Stokes ( $St$ ), ya que es compatible con un orificio colector menor.

Esto permite muestrear gastos volumétricos menores por dos razones:

- A iguales velocidades fluidas de succión en el colector, el gasto volumétrico es menor en un orificio menor.
- Por otra parte, la velocidad de muestreo necesaria para estabilizar la región de succión será menor al reducirse el  $Re$  local.

**La clave del diseño propuesto es obtener un enfocador con un gran rango de  $St$  que opere a alto  $Re$ .**

### Lentes aerodinámicas (Liu et al. 1995a, b):

Los concentradores de aerosoles de amplio rango de partículas basados en sucesiones de lentes aerodinámicas alcanzan grandes factores de concentración ( $C > 1000$ ), pero sólo admiten números de Reynolds (caudales) muy modestos ( $Re < 100$ ), debido a la transición a la turbulencia aguas debajo de la primera lente.

A grandes  $Re$  no puede usarse más que una etapa simple de enfoque, que sólo concentra un rango limitado de Stokes (Fernández de la Mora y Riesco-Chueca, 1988).

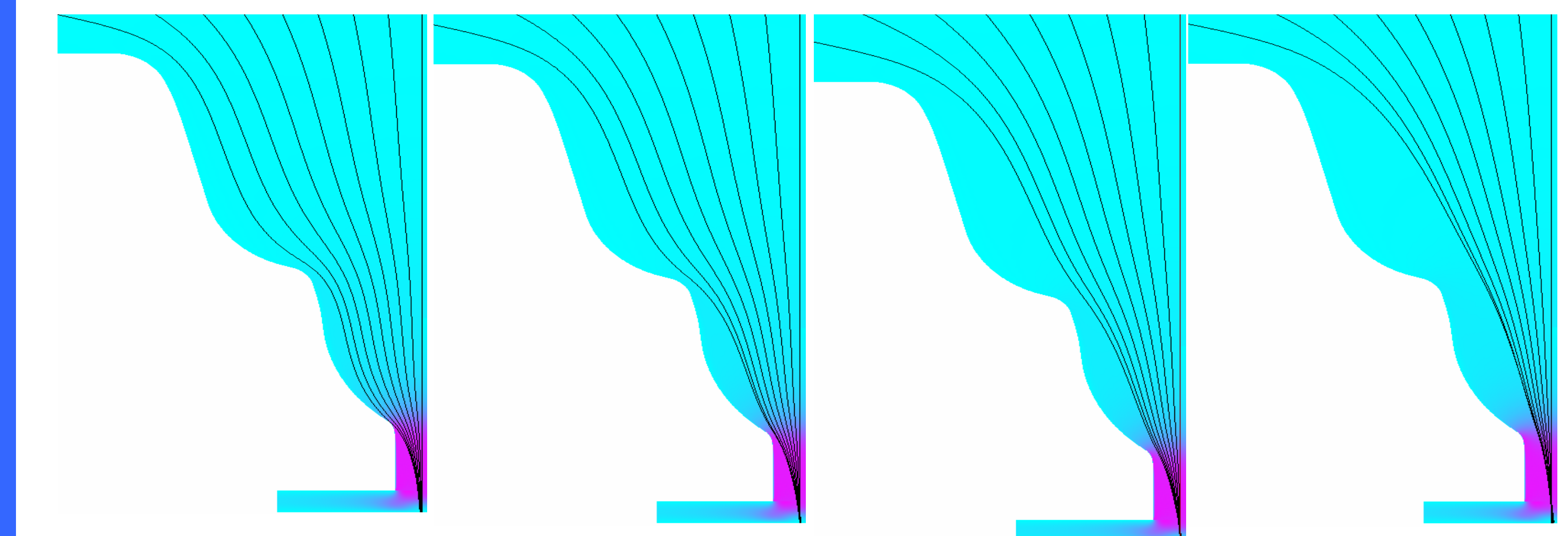
### Impactadores virtuales:

Permiten  $Re \gg 100$ , pero sólo alcanzan  $C < 30$ . El motivo es que la inestabilidad de la pared virtual exige factores de aspiración considerables ( $> 3\%$ ) (Romay et al. 2002).

Si se quieren obtener grandes incrementos de concentración se hace necesaria más de una etapa de concentración. Pero esto limita el Stokes máximo de trabajo, ya que las partículas mayores deben ser reconducidas a la siguiente etapa sin sufrir pérdidas en las paredes.

## Resultados 2

Las sucesión de figuras (Figura 9) muestra las trayectorias calculadas para  $St = [4; 30; 100; 300]$  respectivamente.



## Conclusiones

El uso de contracciones permite generar nuevas geometrías compuestas manteniendo la configuración aerodinámica estable y jugar con el enfoque.

La riqueza de las nuevas configuraciones compuestas permite controlar la posición focal y acoplar elementos. En este trabajo se proponen dos configuraciones con diferentes aplicaciones. El diseñador tiene nuevos grados de libertad con los que jugar para cada circunstancia.

## Método de trabajo.

### El proceso de diseño de la geometría final ha sido iterativo.

Dada una geometría se calcula numéricamente el campo fluido y las trayectorias de partícula.

El campo fluido es evaluado mediante criterios de estabilidad de capa límite.

A nivel cualitativo se sabe como afectan los parámetros de la serie de contracciones a la forma de enfoque y a los impactos contra paredes. Con base en estos datos se corrige la geometría para evitar impactos y obtener el enfoque deseado en el rango de  $St$  (caso de amplio rango), o conseguir acoplar los enfoques (caso enfoque singular).

## REFERENCIAS

- Fernández de la Mora, J. & Riesco-Chueca P. (1988) *Aerodynamic focusing of particles in a carrier gas*. J. Fluid Mech. 195, 1-21.
- Liu P., Ziemman, P.J. Kittelson, D.P. & McMurry, P.H. Generating Particle Beams of Controlled Dimensions and divergence: I. Theory of particle Motion in Aerodynamic Lenses and Nozzle expansions, Aerosol Sci. and Tech., 22,293-313 (1995a)
- Liu P., Ziemman, P.J. Kittelson, D.P. & McMurry, P.H. Generating Particle Beams of Controlled Dimensions and divergence: I. Experimental Evaluation of particle Motion in Aerodynamic Lenses and Nozzle expansions, Aerosol Sci. and Tech., 22,293-313 (1995b)
- Romay, F. J., Roberts, D. L., Marple, V. A., Liu, B. Y. H., and Olson, B. (2002). A High Performance Aerosol Concentrator for Bioaerosol Agent Detection, Aerosol Sci. Technol. 36:217-226.
- Fernández de la Mora, J. (1996). Drastic improvements on the resolution of aerosol size spectrometers via aerodynamic focusing: The case of variable-pressure impactors. Chemical Engineering Communications, 151, 101-124.
- Virgil A. Marple; Benjamin Y. H. Liu (1983) AEROSOLS In the Mining and Industrial Work Environments. Inertial Devices. Ann Arbor Science.