

#### TAMAÑO Y CONCENTRACIÓN DE NANOBURBUJAS ANÁLISIS CON ANÁLISIS DE SEGUIMIENTO DE NANOPARTÍCULAS (NTA) MULTILÁSER

##### Introducción

Las nanoburbujas son cavidades submicrónicas llenas de gas en un medio acuoso. Gracias a su formulación y fabricación, permanecen suspendidos en líquido durante mucho tiempo. Hay más de 18.000 artículos científicos sobre nanoburbujas que cubren una amplia gama de aplicaciones. Desde mitigar el exceso de toxinas en los lagos hasta mejorar los beneficios para la salud de sus bebidas cotidianas, pasando por la limpieza sin frotar y aplicaciones de bienestar y salud [1], las nanoburbujas están destinadas a alterar las normas industriales con sus características fisicoquímicas únicas. Consulte la Tabla 1 para conocer algunas posibles aplicaciones. Con una adecuada comprensión y control de la formación y la estabilidad de las nanoburbujas, ahora se pueden alcanzar aplicaciones que tradicionalmente eran imposibles.

	Rangos de Tamaño Definidos	Características	Aplicaciones de Ejemplo
<b>Burbujas Convencionales más Grandes</b>	>100 µm	Sube rápidamente a las superficies y colapsa.	Alimentos y bebidas, detergentes, reciclaje, minería.
<b>Microburbujas</b>	1-100 µm	Se eleva lentamente y se contrae hasta convertirse en nanoburbujas [2] o colapsa.	Cosméticos, Tratamiento de Aguas Residuales.
<b>Nanoburbujas*</b>	<1 µm	Permanecer suspendido durante un período prolongado donde la difusión supera a la flotabilidad.	Entrega de medicamentos, terapia génica no viral, ultrasonido, purificación de agua, separación de agua y aceite, artículos de limpieza, alimentos y bebidas, cosméticos, agricultura.

**Tabla 1: Características y comportamientos generales de las burbujas convencionales, micro y nanoburbujas. [4]**

\*Cabe señalar que el término "nanopartículas" a menudo se refiere a partículas de menos de 100 nanómetros. Como referencia, la norma ISO 20480-1 define las burbujas de menos de 1 micrón como "burbujas ultrafinas" [4]. Hoy en día, las nanoburbujas de menos de 100 nanómetros se consideran una categoría distinta en la familia de las "burbujas ultrafinas".

##### Fondo

Hay varias formas de crear nanoburbujas y algunas se enumeran a continuación:

1. Cavitación acústica/ultrasonido
2. Agitación mecánica de alto cizallamiento [3]
3. Electrólisis
4. Nanoburbuja cerámica porosa [6]

La estabilidad de las nanoburbujas depende de cinco factores principales [5]:

1. Fuerzas de Van der Waals
2. Fuerzas electrostáticas
3. Fuerzas de hidratación
4. Interacción hidrofóbica
5. Fuerzas estéricas

En algunos casos, para aumentar la estabilidad de las nanoburbujas en un líquido, se utilizan tensioactivos adecuados para lograr condiciones de suspensión estables.

Esta nota analiza las nanoburbujas de gas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>) utilizadas para el tratamiento del dolor para demostrar la capacidad del análisis de seguimiento de nanopartículas (NTA) multiláser para caracterizar una mezcla de nano y microburbujas sin manipulación de muestras. Los resultados de este análisis, específicamente el tamaño medio y la concentración de las burbujas, ayudaron a determinar las mejores técnicas y formulaciones para generar nanoburbujas de gas estables en agua destilada.

##### Materiales y Método

Las muestras fueron preparadas por una empresa utilizando formulaciones y nanoburbujas patentadas. No se divulgaron ni la composición de la muestra ni el proceso de generación de burbujas. Las muestras se analizaron tal como se recibieron con el analizador de seguimiento de nanopartículas (NTA) multiláser ViewSizer 3000 para determinar el tamaño y la concentración de las burbujas. El NTA multiláser es una técnica novedosa que incorpora

tres láseres de diferentes longitudes de onda y cámara a color para visualizar el desplazamiento de partículas a partir de 10 nm a 15 micras. El desplazamiento se



**Figura 1. La Cubeta ViewSizer 3000 Incluye un Inserto Negro que Alberga una Barra Agitadora Magnética para Mantener Suspendidas las Partículas más Grandes y Mezclarlas Entre Videos.**

interpreta como movimiento browniano o, para partículas más grandes, sedimentación o formación de crema y, por lo tanto, se puede convertir fácilmente al tamaño de partícula para cada burbuja, lo que permite un análisis de distribución de tamaño de alta resolución. Cada muestra se transfirió directamente a la cubeta del sistema sin preparación adicional ( Figura 1). En este estudio, recopilamos 100 videos por muestra. La temperatura se controló a 22°C durante cada medición.

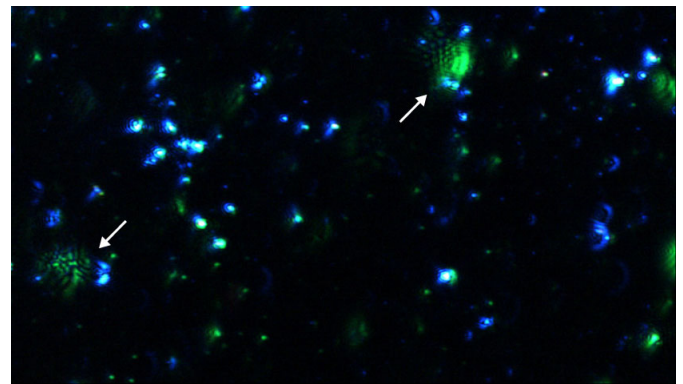
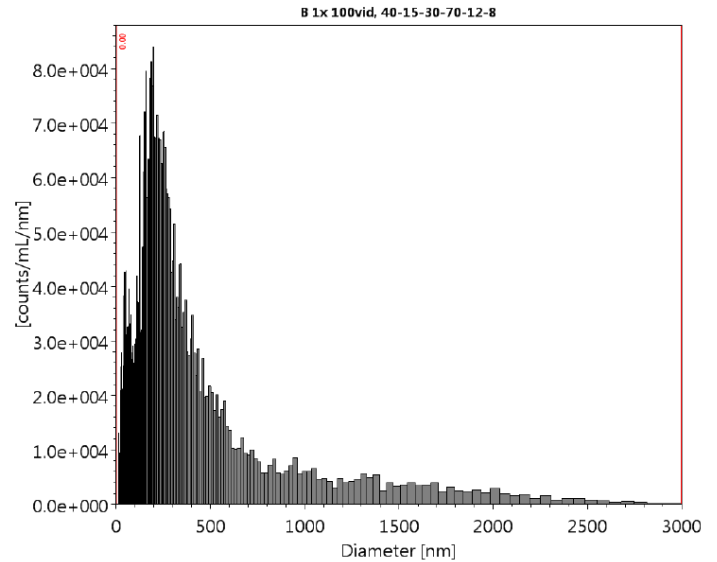
## Resultados y Discusión

Los resultados en la Tabla 2 a continuación confirmaron la existencia de nanoburbujas en el ambiente acuoso en concentraciones muy superiores a 3E+07 partículas de nanoburbujas/mL. Usando ViewSizer 3000, el fabricante pudo optimizar el proceso para aumentar la concentración de partículas de 2,77E+06 partículas/mL (Muestra A) a 2,90E+07 partículas/mL (Muestra B).

Nombre de la muestra	D10 [nm]	D50 [nm]	D90 [nm]	Tamaño medio [nm]	Concentración [partículas/mL]
A	142	483	1382	605	2.768E+06
B	129	332	1382	542	2.898E+07

**Tabla 2. Caracterización de las Muestras A y B Utilizando el ViewSizer 3000.**

A modo de ilustración, la muestra B se analiza en detalle. Una imagen capturada de uno de los cuadros de video grabados mostró que las nanoburbujas de la Muestra B tienen una amplia gama de tamaños (Figura 2).



**Figura 2. Caracterización de la Muestra B.**

Dado que NTA es un método individual partícula por partícula, un puñado de partículas más grandes no afectó negativamente a la medición de las partículas más pequeñas como en las mediciones de dispersión dinámica de la luz (DLS). El diámetro medio fue de 542 nm y la concentración total de partículas fue de 2,898E+07 partículas/ml.

Al comparar la muestra A con la muestra B con respecto al tamaño medio de las nanoburbujas, se puede observar que el tamaño medio de la muestra B es un 10% menor que el tamaño medio de la muestra A. Un tamaño medio mayor da como resultado soluciones acuosas de nanoburbujas de gas menos estables debido a la Ostwald efecto de maduración [7].

## Conclusión

El ViewSizer 3000 determinó con éxito el tamaño, la distribución de tamaños y la concentración de nanoburbujas en suspensión. De ahí que se ofrezca información sobre la longevidad de las nanoburbujas. Los datos recopilados muestran que estas nanoburbujas permanecen estables en líquido durante mucho tiempo,

desde la producción hasta el envío y el análisis de laboratorio. Los resultados del ViewSizer 3000 También proporcionó información para mejorar la metodología de generación de nanoburbujas.

## Referencias

[1] <http://www.periphex.com>.

[2] Parmar, Rajeev, and Subrata Kumar Majumder. "Microbubble Generation and Microbubble-Aided Transport Process Intensification—A State-of-the-Art Report." *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 64, 2013, pp. 79–97., doi:10.1016/j.cep.2012.12.002.

[3] Owen, Joshua, et al. "Reducing Tumour Hypoxia via Oral Administration of Oxygen Nanobubbles." *Plos One*, vol. 11, no. 12, 2016, doi:10.1371/journal.pone.0168088.

[4] ISO 20480-1: 2017 Fine bubble technology — General principles for usage and measurement of fine bubbles — Part 1: Terminology

[5] Nirmalkar, N., et al. "On the Existence and Stability of Bulk Nanobubbles." *Langmuir*, vol. 34, no. 37, 2018, pp. 10964–10973., doi:10.1021/acs.langmuir.8b01163.

[6] Published Patent US 2019-0060223

[7] [https://en.wikipedia.org/wiki/Ostwald\\_ripening](https://en.wikipedia.org/wiki/Ostwald_ripening)