



CARACTERIZACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN A LA EXACTITUD Y A LA PRECISIÓN EN EL RESULTADO DE LA MEDIDA DE TENSIÓN SUPERFICIAL CON INSTRUMENTOS BASADOS EN EL MÉTODO ADSA

JOSÉ ALBERTO DÍAZ GARCÍA, MARCO ANTONIO ÁLVAREZ VALENZUELA,
JOSÉ LUIS PÉREZ DÍAZ

Universidad Carlos III de Madrid
Departamento de Ingeniería Mecánica
Avda. Universidad, 30. 28911 Leganés, España

(Recibido 3 de noviembre de 2011, para publicación 20 de diciembre de 2011)

Resumen – En este artículo, se recogen los factores que afectan a la desviación de la medida de la tensión superficial obtenida con instrumentos basados en el método ADSA, se analiza la influencia de cada uno de ellos en el proceso de medida y se cuantifica su efecto en términos de precisión y exactitud de la medida. Además, se identifican criterios erróneos sugeridos en otros estudios para la determinación del tamaño de gota a emplear en la medida de la tensión superficial y se proponen alternativas para la determinación del citado tamaño correcto de gota, que para cada fluido se tiene que utilizar con el método ADSA.

Palabras clave – Tensión superficial, gota suspendida, ADSA, precisión, exactitud, tamaño gota.

1. INTRODUCCIÓN

La tensión superficial es un parámetro muy importante en las interacciones entre líquido-líquido y líquido-sólido. El conocimiento de dicho parámetro, es por lo tanto imprescindible en la ingeniería, sobre todo, para el desarrollo y fabricación de productos tales como tintes, aceites, jabones, adhesivos, revestimientos, ... que se utilizan en procesos industriales tales como el colado, la inyección, el pintado, el tinto, el pegado, la lubricación, ... y así conseguir que estos procesos sean lo más eficiente posibles. Por lo tanto, no hay prácticamente sector industrial que se pueda considerar agnóstico a su influencia, desde el sector de la alimentación (elaboración y emvasado), pasando por el sector textil (estampados) y acabando en el sector farmacéutico (difusión eficiente de medicamentos).

La motivación de este análisis, proviene de la necesidad de identificar los factores que afectan al resultado de la medida de la tensión superficial (TS) obtenida con instrumentos basados en el método ADSA (*Axisymmetric Drop Shape Analysis*), para así poder servir como guía de usuario, al personal que se enfrenta con el manejo de tales instrumentos.

Esta necesidad, adquiere todo su sentido, cuando se ve la inexplicablemente elevada variabilidad de los resultados obtenidos en las medidas de TS realizadas con instrumentos ADSA sobre una única gota de fluido.

En primera instancia, se podría pensar como causa de este efecto, el que la gota de muestra no sea del todo estable durante la realización de las medidas, pero como veremos, la responsabilidad de la variabilidad en el resultado no es tan simple y no se puede achacar en exclusiva a ese factor de inestabilidad.

Este estudio, analiza en detalle todas las fases del proceso de medida, con el fin de identificar las causas que alteran el resultado, así como, el modo y el grado en que afectan a la incertidumbre de la medida.

El conocimiento de los factores que son responsables de la variabilidad en el resultado de la medida de TS, permitirá, no sólo reducir la incertidumbre al corregir su efecto mediante la aplicación de buenas prácticas en el proceso de medida, sino y quizá lo más importante, que al establecer también su amplitud, permite determinar la aplicabilidad de los instrumentos que se basen en el método ADSA, ya que obvia-

mente, no se podrá esperar detectar variaciones de la TS inferiores a la amplitud de la variabilidad de los factores que influyen en la medida.

Por último, se expondrá la manera correcta de aplicar el criterio del número de Bond para diferentes fluidos, a la hora de identificar si el resultado de TS obtenido con el método ADSA es válido o no.

2. METODO ADSA

2.1. Antecedentes

Se han descrito muchos métodos para el cálculo de la tensión superficial de los líquidos, [1] como por ejemplo, el método del peso de la gota, el ascenso capilar, el método del anillo de Nouy, la placa de Wilhelmy y el de la gota suspendida entre otros. El método de la gota suspendida, es uno de los más utilizados por su versatilidad. Fue sugerido por Worthington [2,3] y Ferguson [4] y se basa en la medición del contorno de una gota que cuelga de un capilar. Andreas *et al.* [5] lo optimizaron integrando la ecuación de equilibrio mecánico para dos fluidos homogéneos separados por una interfaz (ecuación de Young–Laplace) [6,7] obteniendo una forma de gota teórica. Esta gota teórica, es comparada con la forma de gota experimental. En la actualidad existen varios tipos de análisis de gotas con simetría axial o ADSA (*Axi-symmetric Drop Shape Analysis*), siendo una técnica eficaz para la medición de propiedades relacionadas con la interfaz de la gota, pero también presenta carencias, como es la elevada sensibilidad del resultado a factores externos y que son objeto de análisis en este estudio.

2.2. Principio de medición

El fundamento científico del método ADSA, consiste en utilizar la propiedad de que el perfil que adquiere una gota de un fluido suspendida de un capilar, es función -entre otras cosas- de la TS.

La relación concreta, se obtiene por un lado de la relación entre la tensión superficial y la diferencia de presiones que marcan la curvatura de una interfaz entre dos fluidos:

$$\gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \Delta P \quad (1)$$

en donde R_1 y R_2 son los dos radios principales de la curvatura de la interfaz y ΔP es la diferencia de presiones en la interfaz.

Y por otro lado, de la relación que determina la ΔP en un fluido cuando no se encuentra afectado por ninguna fuerza externa aparte de la gravedad:

$$\Delta P = \Delta P_0 + g \cdot z \cdot \Delta \rho \quad (2)$$

donde ΔP , entonces, se expresa como una dependencia lineal con la altura, z , respecto del plano de referencia elegido y siendo ΔP_0 la diferencia de presión en el plano de referencia.

Juntando ambas relaciones, (1) y (2), se obtiene que para un determinado valor de γ (TS), la forma de la gota suspendida tiene una geometría concreta definida por los radios de curvatura, y también a la inversa, que es exactamente como funciona el método ADSA, es decir, extrayendo de la forma de la gota real para cada z los radios de curvatura R_1 y R_2 , obtengo la TS [8].

2.3. Método de medición

El método de medición ADSA, consta de la siguiente serie de operaciones ordenadas de manera secuencial: calibración, ajuste de contraste, introducción de parámetros del fluido y del entorno, ajuste del tamaño de la gota y medición.

- La calibración es la operación previa a cualquier medición de TS, que consiste en registrar la imagen de un patrón de dimensiones conocidas, para que en posteriores medidas de otras formas desconocidas se pueda obtener su dimensión al comparar el tamaño de su imagen con la registrada inicialmente del patrón.

- El ajuste de contraste, es necesario para definir la imagen de la gota en pantalla de la manera más clara posible, con el fin de que el algoritmo que realiza la aproximación analítica, aprecie el contorno de la gota claramente y se ajuste lo máximo posible.
- La introducción de parámetros del fluido y del ambiente, como hemos visto, son necesarios según el principio de medición, para completar la ecuación que relaciona la TS con la forma de la gota.
- El objetivo del ajuste del tamaño de la gota, se fundamenta en la necesidad de hacer que la forma de la gota se vea afectada -se deforme- por la acción de la gravedad y evitar la forma esférica que surge cuando las acciones dominantes son las de TS.

3. INFLUENCIA DE LAS FASES DE MEDICIÓN EN EL RESULTADO

Al tratar de obtener el valor de la TS enfrentándose por primera vez al método ADSA, se aprecia una elevada dispersión que se manifiesta incluso cuando se realiza una serie de mediciones bajo estrictas condiciones de repetibilidad, es decir: misma muestra, mismo observador, mismo instrumento, mismas condiciones de contorno, mismo lugar y las repeticiones de las medidas realizadas en un corto intervalo de tiempo. Esto obliga a buscar las razones de tal variabilidad.

A continuación se van a analizar cada uno de los pasos del método de medida anteriormente definidos, con el objetivo de que el conocimiento preciso de éstos y el cuidado en su aplicación, reducirán la desviación (valor medio de las medidas - valor real) y la dispersión (medidas - valor medio de las medidas) de los resultados.

3.1. Calibración

El método ADSA, realiza la fase de calibración ayudándose de una pequeña esfera de dimensiones definidas a modo de patrón.

Utilizando como referencia esa imagen de tamaño conocido, se puede en operaciones posteriores, hacer por extrapolación el cálculo de otros volúmenes, como puede ser el de la imagen de la gota suspendida.

Este proceso en principio inocente, esconde una gran fuente de desviación que afecta a la Exactitud de la medida final, ya que si no se tiene especial cuidado en colocar la gota sobre la que se va a realizar la medida, exactamente a la misma distancia del foco a la que se puso la esfera patrón durante la calibración, hace que las dimensiones de la imagen de la gota sobre las cuales se van a hacer los cálculos, serán en apariencia mayor o menor que la que debería tener si se colocase en el sitio correcto. La calibración afecta por lo tanto a la Exactitud.

3.2. Ajuste de contraste

Como ya se ha dicho, el método ADSA extrae de la imagen procedente del perfil real de la gota, la ecuación que más se aproxima al citado perfil y a partir de esta ecuación, se obtiene el valor de la TS.

Como veremos a continuación, la falta de definición del contorno de la imagen de la gota suspendida, dificulta el proceso de aproximación que realiza el algoritmo para ajustar el contorno a una curva analítica. Este proceso como veremos, afecta sobre todo a la Precisión del resultado obtenido ampliando la incertidumbre del mismo.

Para evaluar el orden de magnitud de la influencia del grado de ajuste de contraste del perfil de la gota, se van a realizar ensayos con una gota rígida, para así evitar que la variabilidad esperada en la toma de medidas, sea influida por cualquier otro factor que no sea el que estamos tratando de analizar.

La gota rígida se forma a partir de resina bi-componente, que se deja polimerizar en el extremo de un capilar, en dirección vertical y sentido descendente, para que actuando la fuerza de la gravedad sobre la masa, adquiera forma típica de gota.

Para asegurar que no se produjese la más mínima modificación en la forma de esta gota rígida durante los ensayos, se dejó curar la resina durante dos semanas en condiciones ambientales de laboratorio.

Una vez que teníamos la gota lista, se tuvo especial cuidado en la forma de sujeción, para ello, además de amortiguar la bancada y aprovechando que no es necesario ningún tipo de jeringa para contener liqui-

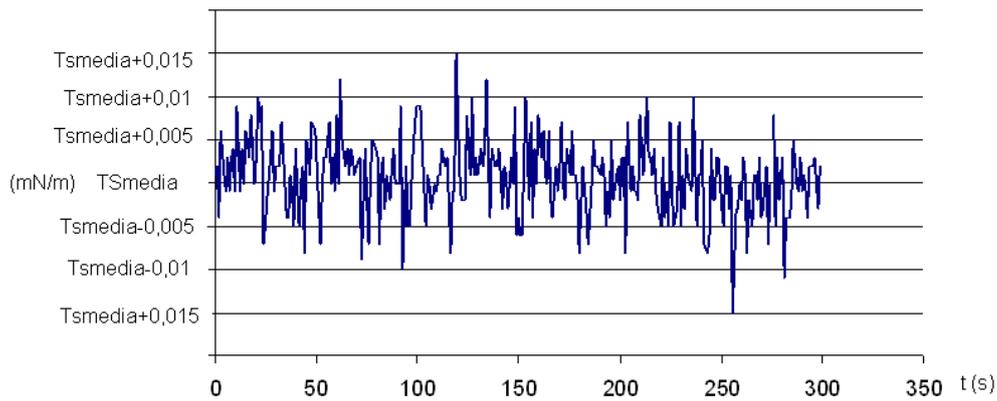


Fig. 1. Valores de TS obtenidos de gota rígida.

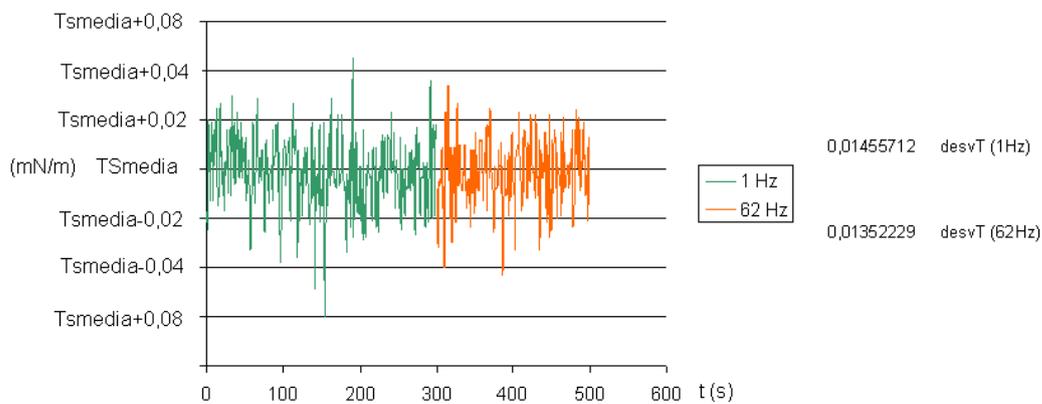


Fig. 2. Valores de TS obtenidos de gota rígida a distinta frecuencia de muestreo.

do, se evitó suspender la gota del brazo de sujeción en voladizo del instrumento. Con esta disposición, se reduce el riesgo de que se transmitan vibraciones al soporte de la gota, ya que no solo se reduce el brazo, sino que se elimina la disposición en voladizo. Por otro lado al apoyarse directamente el soporte de la gota sobre la base del instrumento, que es donde se colocó la bola patrón para calibrar, es más fácil ajustar la posición de la gota a la posición del patrón.

Habiéndonos asegurado que los factores ambientales no nos iban a influir, se procede a realizar una serie de medidas repetidas con el resultado que se refleja en la Fig. 1.

Se repite el mismo experimento pero reduciendo el tiempo entre toma de muestras y comparando la variabilidad, obteniendo los resultados que aparecen en la Fig. 2.

Por último, se obtienen resultados para diferentes grados de ajuste de contraste del perfil de la gota, que era el objetivo inicial y son los que aparecen en la Fig. 3.

A la vista de los resultados obtenidos, se puede extraer como primera conclusión que:

El grado de definición afecta al resultado obtenido (Fig. 3) pero no variando el valor medio, por lo que la Exactitud de la medida, no se ve alterada por el algoritmo de ajuste, pero sí su Dispersión, pudiéndose tomar $\pm 0,0044$ mN/m, como cota de Precisión mínima cuando se realiza un ajuste de definición con contraste al máximo.

Además se pueden obtener las siguientes conclusiones de los ensayos realizados con una gota rígida:

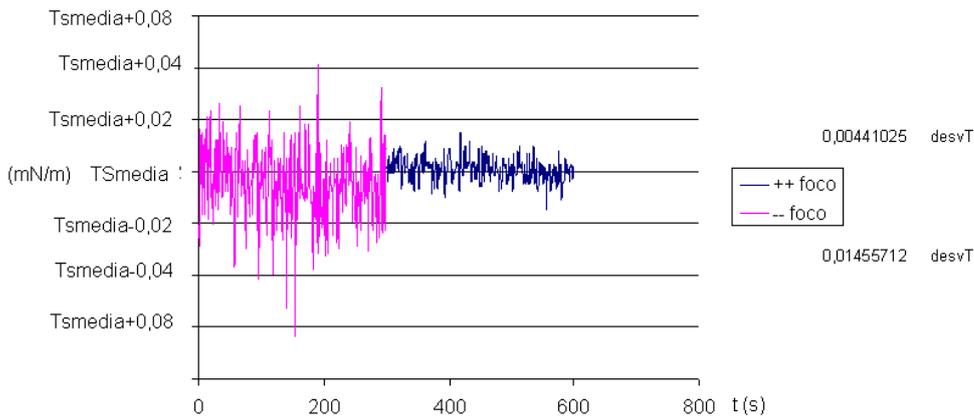


Fig. 3. Valores de TS obtenidos de gota rígida.

- El factor instrumental, a través del proceso que lleva a cabo la aproximación a una curva teórica desde el perfil de la imagen real, es responsable de cierta variabilidad en el resultado, es decir, existe un cierto grado de variabilidad inherente en el método ADSA que no se debe ni a factores humanos ni factores ambientales (Fig. 1).
- Por otro lado, el grado o amplitud de esta variabilidad no se ve afectado por la frecuencia en la toma de medidas (Fig. 2), es decir, el algoritmo que realiza la aproximación, no se ve alterado por la frecuencia de toma de medidas, ni en el valor medio, ni en el valor de la dispersión, o lo que es lo mismo, cada uno de los procesos de ajuste es independiente del anterior no importando lo cercano en el tiempo que se haya hecho el antecesor.

3.3. Parámetros iniciales

Los parámetros de la ecuación que relaciona la TS con la forma de la gota, también influyen en la variabilidad de la medida [12].

Como hemos visto la densidad de los dos fluidos, (la gota y el entorno) son parámetros necesarios para el cálculo de la TS (2), pero además, dentro de ellos está la influencia de otros parámetros derivados, como pueden ser, la temperatura y la presión, por lo que a la hora de introducir los valores de densidad, hay que tener muy presente que hay que corregirlos con las condiciones ambientales de presión y temperatura correspondientes al instante en el cual se van a realizar las medidas.

Por otro lado, también aparece como parámetro la aceleración de la gravedad (2) y que por lo tanto, también hay que introducir con las cifras significativas que correspondan en el lugar de medida.

La influencia por lo tanto de los parámetros iniciales, se traduce en una afectación de la Exactitud.

3.4. Fuerzas aplicadas

El tamaño de la gota objeto de medida, tiene que cumplir la condición de que no sean dominantes los efectos de TS ya que si esto ocurre, la forma que toma la gota es esférica y no se puede inferir a través de la forma del perfil ningún valor de TS.

Para poder obtener información de qué valor tiene la TS, ésta tiene que competir con la acción de la gravedad, generándose en esta “lucha” la forma particular del contorno de las gotas.

La formulación, (1) y (2), refleja estas acciones y sólo éstas, por lo que cualquier otra acción, puede alterar el resultado sin haber sido tenidas en cuenta. Entre ellas, se pueden encontrar las acciones inerciales debidas comúnmente a movimientos procedentes de vibraciones mecánicas pero tampoco se pueden descartar las de origen electrostático.

En resumen, habría que reducir/eliminar en la medida de lo posible (por medido de: amortiguamiento, pantallas, tomas de descarga, ...), cualquier acción que no este contemplada en la formulación en la que se basa el ADSA para el cálculo de la TS, en caso contrario, el resultado vendrá afectado por una desviación con relación al valor verdadero.

Obviamente el orden de magnitud de la influencia de este factor sobre el resultado no se puede concretar, pero sí se puede estimar que puede llegar a ser la mayor de todos los analizados.

4. OTROS FACTORES QUE AFECTAN A LA VARIABILIDAD DEL RESULTADO

4.1. Vibraciones

Mención aparte precisa este aspecto, debido a que el método ADSA se caracteriza por la necesidad de efectuar las medidas de TS sobre una gota colgando de un capilar y esta disposición se demuestra inestable para el mantenimiento de una gota durante el tiempo de toma de medidas.

La culpa de esta inestabilidad radica en las vibraciones. Estas, pueden alcanzar la gota básicamente de dos maneras, bien a través de la estructura del instrumento -si son vibraciones mecánicas- o a través del aire -si las vibraciones son por ondas de presión-.

Ambas perturbaciones, complican el proceso de toma de medidas, ya que al vibrar la gota, ésta tiene tendencia a desprenderse del capilar obligando a comenzar de nuevo la toma de datos en aras de cumplir las condiciones de repetibilidad exigibles en todo experimento.

La tendencia a desprenderse, es mayor cuanto mayor es su volumen, por lo que las vibraciones dificultan también el poder llegar a alcanzar una gota de tamaño suficientemente grande como para que se cumpla la premisa de que las fuerzas másicas tienen que ser mayores que las de TS.

Independientemente de estos efectos que básicamente generan dificultad en la toma de medidas, el efecto más importante de las vibraciones desde el punto de vista de su influencia sobre la Precisión y la Exactitud del resultado, es el que incide sobre la forma de la gota. La gota al vibrar, sufre deformaciones elásticas, comprimiéndose y estirándose según cualquier dirección [9]. De todas ellas, únicamente las deformaciones según el eje vertical de simetría, se pueden considerar que no violan el requisito de axil simetría que precisa el método ADSA para el cálculo de la TS. El resto de las deformaciones son generadoras de variabilidad en el resultado de la medida ya que el método ADSA, en su algoritmo de cálculo, genera la tridimensionalidad rotando alrededor del eje vertical la imagen plana que registra en pantalla, y por lo tanto, si la gota esta deformada según cualquier dirección que no sea la dirección vertical, el resultado del cálculo no genera la forma real, ofreciendo resultados erróneos.

Esta sensibilidad a las vibraciones, obliga a instalar sistemas de aislamiento mecánico para controlar en la medida de lo posible el efecto que las perturbaciones estando su efecto concentrado en la amplitud de la Precisión. [14]

4.2. Ajuste del tamaño de la gota

Dentro de la fase “fuerzas aplicadas”, hemos indicado la necesidad de que la gota tenga el tamaño suficientemente “grande” como para que a través de su contorno, se refleje el efecto particular (para cada fluido y entorno) de la tensión superficial. Pero esta definición de “tamaño suficientemente grande” no es nada precisa.

Partiendo de un tamaño de gota de fluido lejos de la forma esférica, observamos que al aumentar el volumen de ésta con el tiempo (Fig. 4), los valores de tensión superficial presentan la variabilidad típica entre medidas sucesivas (Fig. 5), pero siendo la citada variabilidad función del volumen de la gota y resultando en una tendencia a aumentar cuanto más pequeña es la gota. Esto nos lleva a establecer, que la influencia del tamaño de la gota en la variabilidad de la medida aplica en la parte de la Precisión.

Por otro lado también se aprecia (Fig. 5) una tendencia a variar el valor medio resultante, afectando por lo tanto el tamaño de la gota además de a la Precisión, a la Exactitud del resultado.

El resumen de la influencia de todos los factores analizados, se recoge en la Tabla 1.

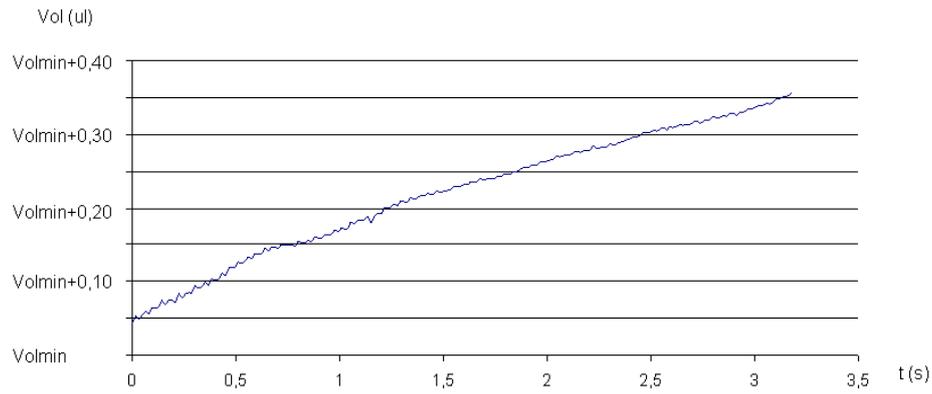


Fig. 4. Variación del tamaño de la gota.

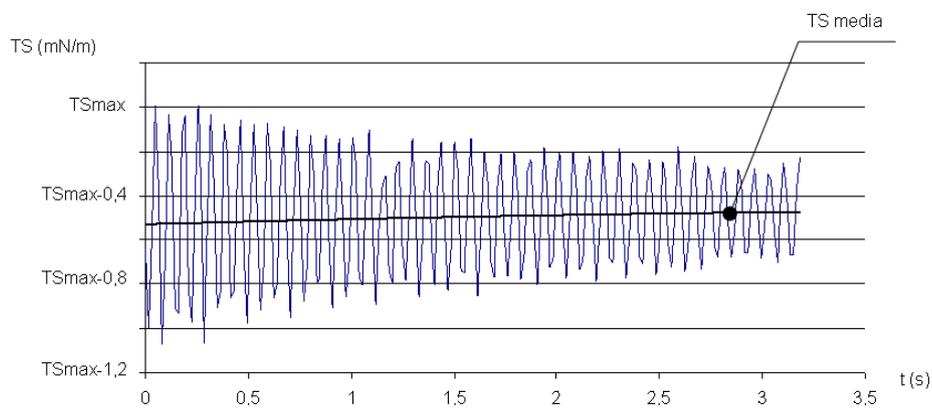


Fig. 5. Variación de la TS según varía el tamaño de la gota.

Tabla 1. Variables del proceso de medida y su influencia sobre la exactitud y precisión del resultado.

FACTOR	EXACTITUD	PRECISION
Calibración	X	
Ajuste de contraste		X
Parámetros iniciales	X	
Ajuste tamaño de gota (Gota Crítica)	X	X
Vibraciones		X

Tabla 2. Valores densidad y tensión superficial de referencia [13].

Liquid in contact with air	Densidad g/cm3	TS mN/m
Lubricating oil	0,8	25-35
Water	1	73 (20°C)
Soapy water	1.06	20-30
Olive oil	0,92	32.0

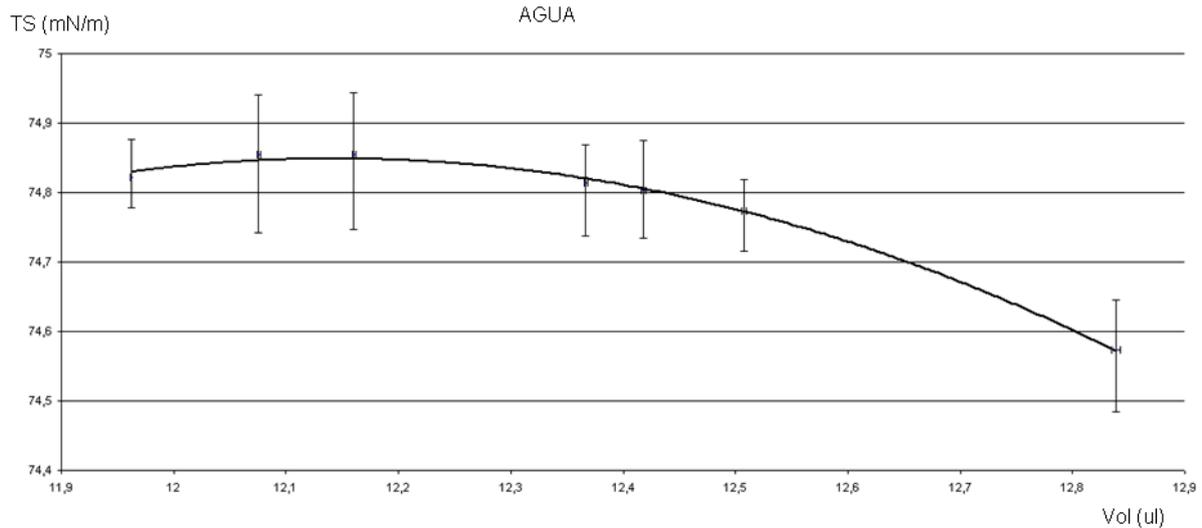


Fig. 6. Variación de la TS-media del agua con el volumen de la gota.

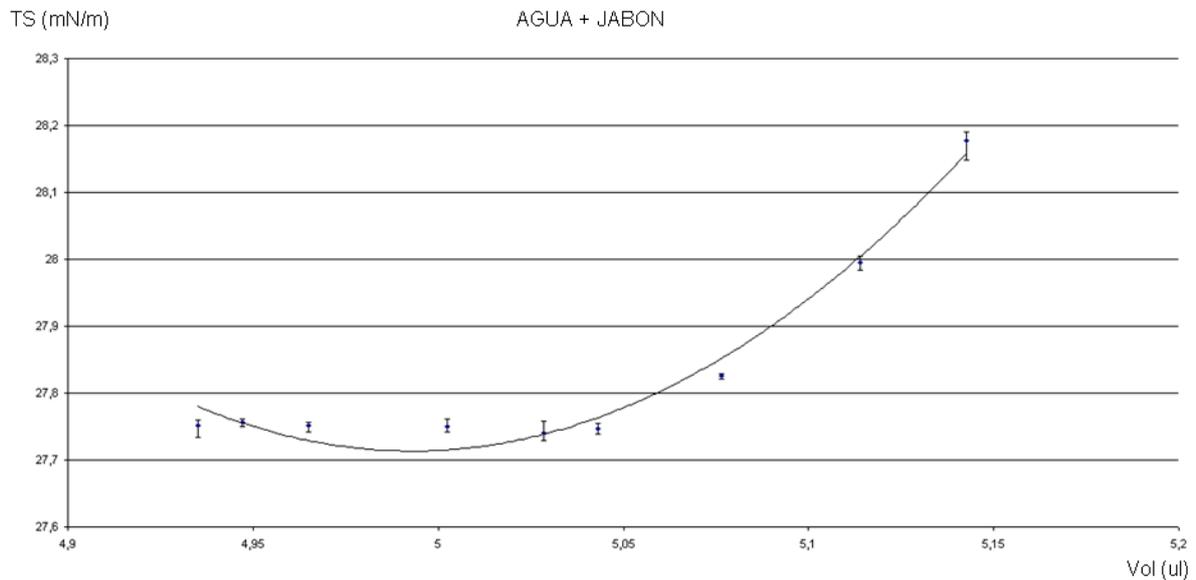


Fig. 7. Variación de la TS-media del agua jabonosa con el volumen de la gota.

4.3 Gota crítica

A continuación se analiza más en detalle la variación de la TS media, con el volumen de la gota. Para ello, se utilizan cuatro fluidos diferentes de los que se conocen los valores de tensión superficial obtenidos por métodos diferentes al ADSA (Tabla 2).

Los ensayos se hicieron bajo condiciones de repetibilidad, con una temperatura ambiente de 14°C y con el mecanismo amortiguado [14].

Registrando el valor de la TS hasta el límite del tamaño máximo de la gota, -condicionado éste por los factores vibratoriales-, se observan los comportamientos que aparecen en las Figuras 6, 7, 8 y 9.

En todas ellas, con independencia del tipo de fluido, existe siempre un valor de tamaño de gota que podemos denominar “crítica” y que corresponde al valor de tamaño de gota que hace independiente el valor de la TS con el volumen.

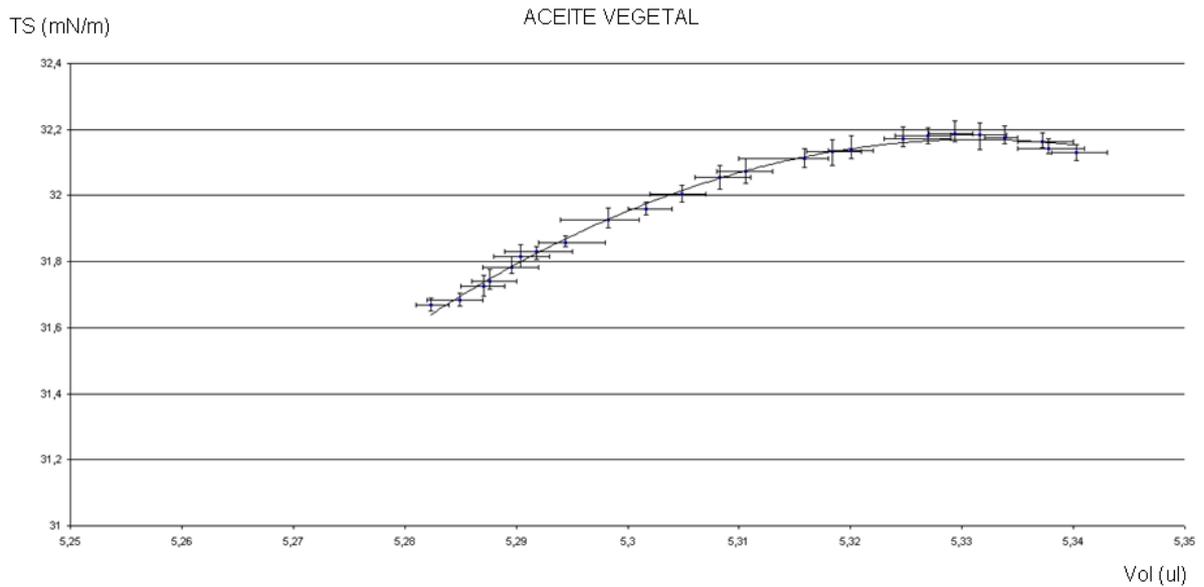


Fig. 8. Variación de la TS-media del aceite vegetal con el volumen de la gota.

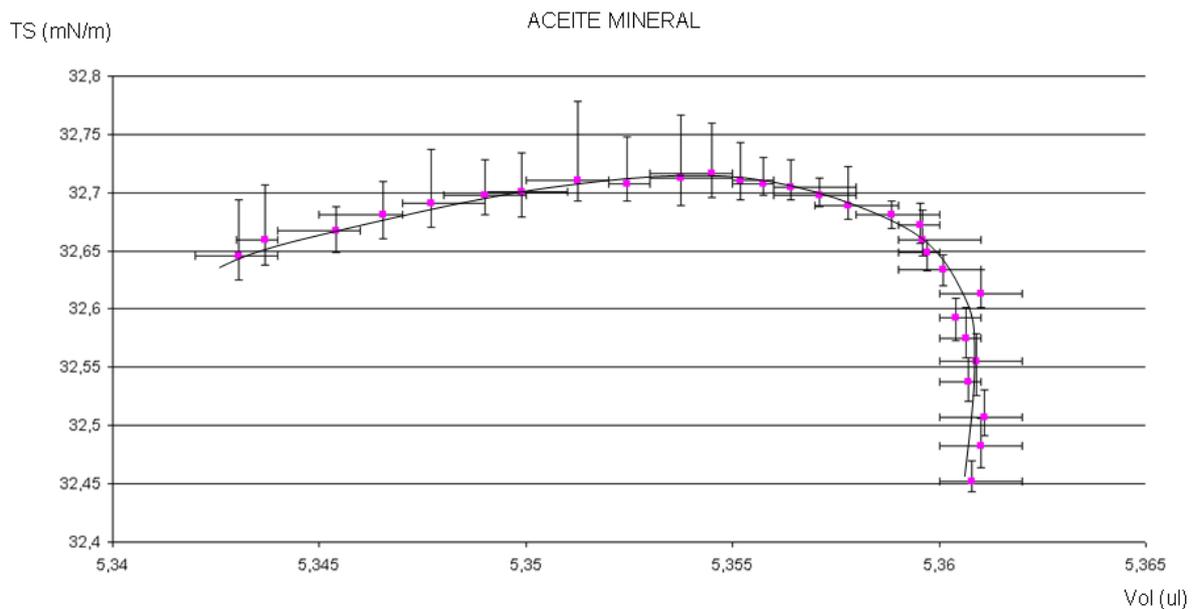


Fig. 9. Variación de la TS-media del aceite mineral con el volumen de la gota.

Esta propiedad $\delta TS/\delta Vol = 0$ no se obtiene para un rango de valores de Vol, sino para un valor concreto.

Este resultado, amplía la condición que con respecto al tamaño, se aplicaba para medir con el método ADSA, ya que hasta ahora lo único necesario, era tener una gota suficientemente grande, y a partir de estos resultados se amplía la condición a un valor concreto de tamaño de gota para cada fluido.

Este mismo requisito se manejaba en diferentes artículos [10-15] a través del número de Bond, pero indicando que era suficiente con asegurar un valor de Bond del orden de 0,2 para dar por válido el resultado que de TS se obtenía con este método.

A la vista de los resultados, esta suficiencia no es tal, ya que en los casos analizados se aprecia una desviación entre los números de Bond de los diferentes fluidos en el punto $\delta TS/\delta Vol = 0$ (que coinciden con los valores de referencia Tabla 2) que van de los $\pm 0,05$ en el mejor de los casos hasta los $\pm 0,3$, por lo

Tabla 3. TS referencia [13] y TS resultados gota “crítica”.

Liquid in contact with air	TS mN/m	TS mN/m (14°C)
Lubricating oil	25-35	32,71
Water	73 (20°C)	74,85
Soapy water	20-30	27,71
Olive oil	32.0	32,19

que no se puede considerar válido el criterio de un único valor del Bond para aceptar o rechazar una medida de TS con el método ADSA, siendo necesario por tanto para cada fluido, identificar el tamaño crítico de la gota para poder medir sobre ella la TS.

5. CONCLUSIONES

El presente artículo, ha expuesto las limitaciones y el modo de operar de instrumentos que obtienen el valor de tensión superficial basándose en el método ADSA.

Del análisis de las limitaciones, se ha obtenido un valor para la cota mínima de desviación en la medida de TS, que con independencia de los factores externos presenta el método ADSA. Este valor, del orden de $\pm 0,0044$ mN/m, depende del algoritmo de aproximación y que a su vez es función del grado de definición del contraste.

Finalmente y con relación al modo de operar este tipo de instrumentos, se ha expuesto la manera correcta de realizar la medición, al rechazar el criterio de “número de Bond único” para todos los fluidos y manifestar la necesidad de encontrar para cada fluido, el tamaño concreto de gota sobre la que realizar la medida.

Lo recogido en este artículo, sirve por lo tanto como guía de mejores prácticas para el operador de este tipo de instrumentos, con el fin de reducir la incertidumbre en el resultado obtenido.

REFERENCIAS

- [1] Adamson, A.W., Gast, A.P., *Physical Chemistry of Surfaces*. Sixth Edition, Los Ángeles, California, John Wiley & Sons, Inc. (1997)
- [2] Worthington, A.M., “On Pendent Drops”, *Proceedings of the Royal Society of London*, **32**, 362-377 (1881)
- [3] Worthington, A.M., “A capillary multiplier”, *Philosophical Magazine Series*, **19**(116), 43-46 (1885)
- [4] Ferguson, A., “Photographic measurements of Pendent Drops”, *Philosophical Magazine Series*, **23**(135), 417-430 (1912)
- [5] Andreas, J.M., Hauser, E.A., Tucker, W.B., “Boundary Tension by Pendant Drops”, *Journal Phys. Chem.*, **42**(8), 1001-1019 (1938)
- [6] Young, T., “An Essay on the Cohesion of Fluids”, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, **95**, 65-87 (1805)
- [7] Laplace, P.S., *Traité de Mécanique Céleste*, Paris, Gauthier Villars (1805)
- [8] Hoorfar, M., Kurz, M.A., Neumann, A.W., “Evaluation of the surface tension measurement of axisymmetric drop shape analysis (ADSA) using a shape parameter”, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* **260**, 277-285 (2005)
- [9] Moon, J.H., Kang, B.H., Kim, H.-Y., “The lowest oscillation mode of a pendant drop”, *Physics of fluids*, **18**, 021702 (2006)
- [10] Alvarez, N.J., Walker, L.M., Anna, S.L., “A non-gradient based algorithm for the determination of surface tension from a pendant drop: Application to low Bond number drop shapes”, *Journal of Colloid and Interface Science*, **333**, 557-562 (2009)

- [11] Yeow, Y.L., Pepperell, C.J., Sabturani, F.M., Leong, Y.-K., “Obtaining surface tension from pendant drop volume and radius of curvature at the apex”, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, **315**, 136-146 (2008)
- [12] Sachs, W., Meyn, V., “Pressure and temperature dependence of the surface tension in the system natural gas/water. Principles of investigation and the first precise experimental data for pure methane/water at 25°C up to 46.8 Mpa.”, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, **94**, 291-301 (1995)
- [13] Trefethen, L., Film Notes for Surface Tension in Fluid Mechanics. National Committee for Fluid Mechanics Films (1969)
- [14] Álvarez, M., Díaz, J.A., Pérez, J.L., “Análisis de la sensibilidad a las vibraciones del método de medición de tensión superficial mediante gota suspendida”, *Revista Mexicana de Física* (2010)
- [15] Hoorfar, M., Neumann, A.W., “Recent progress in Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA)”, *Advances in Colloid and Interface Science*, **121**, 25-49 (2006)

CHARACTERIZATION OF FACTORS AFFECTING THE ACCURACY AND PRECISION IN THE MEASUREMENT RESULT OF SURFACE TENSION WITH INSTRUMENTS BASED ADSA METHOD

Abstract – In this article, we list the factors that affect the deviation of the surface tension measurements obtained with instruments based on the ADSA method, we analyze the influence of each one of them and their effect is quantified in terms of precision and accuracy of the measure. In addition, it identifies the wrong criteria suggested in other studies to determine the droplet size to be used in the measurement of surface tension and alternatives are proposed for the determination of that drop right size for each fluid must be used with the method ADSA.

Keywords – Surface tension, Hanging drop, ADSA, Precision, Accuracy, Drop size.

