



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ANÁLISIS FLUIDO DINÁMICO DE UN FLUJO DE BURBUJAS MEDIANTE CFD

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECANICO

**MATÍAS IGNACIO INAIPIIL LEAL**

PROFESOR GUÍA  
ÁLVARO VALENCIA MUSALEM

MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
WILLIAMS CALDERÓN MUÑOZ  
NÉSTOR BECERRA YOMA

SANTIAGO DE CHILE  
2015

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL  
MECANICO  
POR: MATIAS IGNACIO INAIPIIL LEAL  
FECHA: DICIEMBRE DEL 2015  
PROF. GUÍA: ALVARO VALENCIA MUSALEM.**

## **“Análisis fluido dinámico de un flujo de burbujas mediante CFD”**

El flujo de burbujas es uno de los tantos ejemplos de los denominados flujos bifásicos, éstos pueden ser encontrados en un gran número de industrias y es simplemente la presencia de más de dos fases en una misma línea de flujo. En particular el flujo de burbujas es usado en el proceso de flotación, este tiene por objetivo la separación de especies minerales mediante la adhesión selectiva de partículas minerales a burbujas de aire, este trabajo pretende empezar con el estudio de este tipo de flujos con la motivación final en las celdas de flotación.

El objetivo general del trabajo es utilizar un método numérico para modelar un flujo de burbujas mediante CFD (Computational Fluid Dynamics). El método debe ser aplicado al flujo generado por una corriente de aire impulsada en un estanque con agua, como objetivos específicos debe lograr predecir la forma de la burbuja, el tamaño, la velocidad, trayectoria y la existencia o no de coalescencia, utilizando el método numérico.

En la primera parte de este trabajo se realiza una comparación entre modelos teóricos para el volumen, velocidad y trayectoria de la burbuja, con resultados experimentales de algunas bibliografías consultadas, el afán de esto es poder validar un set de modelos teóricos que permitan luego realizar una comparativa con la simulación hecha. Los modelos teóricos encontrados relacionan la forma con diferentes números adimensionales ( $E_o$ ,  $Re$  y  $M$ ), existe un modelo para el volumen de una burbuja generada a flujo constante, la cual toma en consideración la formación de burbuja en 2 etapas (expansión y desprendimiento) usando como supuesto el radio de la burbuja en la etapa de expansión igual al largo del cuello formado en la etapa de desprendimiento, para la velocidad las múltiples expresiones que existen se relacionan con el diámetro equivalente de la burbuja. Y para la trayectoria, existen variados criterios que difieren unos con otros para determinar una trayectoria recta, zigzag o espiral.

El trabajo se centra en un estanque cilíndrico con agua, por el cual se ingresará aire a través de un orificio en su parte inferior, generando así el flujo de burbujas que se desea modelar, el tamaño del orificio y el caudal de aire son variables que se consideran en el estudio preliminar para luego ser determinados según los resultados obtenidos.

La simulación realizada, en un entorno 3D, arrojó generación de burbujas con un volumen muy cercano al esperado según los modelos teóricos, frecuencia de formación de burbujas altas, velocidad ascendente de la burbuja por sobre lo esperado, la forma corresponde con la caracterización según los números adimensionales, se observan trayectorias que se pueden clasificar dentro de espirales, además se tiene que el campo de velocidades influye bastante en los distintos resultados obtenidos.

A todos mis amigos, Boris, Bruno, Cristóbal, Felipe,  
Gustavo, José, Lili, Nico, Pablo, etc.  
Y a mi familia, Jorge, Flaca, Nayi, Cheña etc.

# Tabla de Contenido

1.	Introducción .....	1
1.1	Antecedentes Generales .....	1
1.2	Motivación .....	1
1.3	Objetivos .....	2
1.3.1	Objetivo General.....	2
1.3.2	Objetivos específicos .....	2
1.4	Alcances .....	3
2	Antecedentes .....	4
2.1	Caracterización .....	4
2.2	Ley de Laplace .....	6
2.3	Formación de burbujas.....	6
2.4	Volumen de burbuja.....	8
2.5	Velocidad terminal de una burbuja .....	13
2.6	Datos Experimentales .....	16
2.7	Trayectorias de burbuja .....	19
2.8	Angulo de contacto .....	22
3	Método numérico .....	24
3.1	Numero de Courant.....	24
3.2	Modelo numérico .....	24
3.2.1	Euler Lagrange .....	24
3.2.2	Euler Euler .....	24
3.3	VOF .....	25
3.3.1	Esquema Implícito.....	26
3.3.2	Esquema Explicito.....	26
3.3.3	Propiedades.....	27
3.3.4	Momentum .....	27
3.3.5	Energía.....	28
3.4	Algoritmos de solución Presión Velocidad .....	28
3.4.1	Simple.....	28
3.4.2	SimpleC .....	29
3.4.3	PISO .....	30

3.5	Tensión superficial.....	30
3.5.1	Continuum Surface Force Model .....	31
3.5.2	Continuum Surface Stress Model .....	33
3.5.3	Comparación.....	34
3.6	Wall Adhesión .....	34
3.7	Calidad de malla .....	35
3.7.1	Determinante 2x2x2 y 3x3x3 .....	35
4	Metodología .....	36
4.1	General.....	36
4.2	Metodología de simulación.....	37
4.3	Geometría.....	38
4.4	Mallado .....	40
4.5	Configuración .....	43
4.6	Resultados .....	50
5	Resultados .....	51
5.1	Resultados de comparación respecto a modelos teóricos y experimentos.....	51
5.2	Simulaciones 2D .....	55
5.2.1	Variación de malla.....	55
5.2.2	Variación de la velocidad de inyección de aire .....	62
5.2.3	Variación del diámetro de inyección .....	68
5.3	Resultados de la simulación 3D.....	73
5.3.1	Datos de la simulación.....	73
5.3.2	Volumen de burbujas y frecuencia de generación.....	73
5.3.3	Velocidad y caracterización de las burbujas generadas.....	76
5.3.4	Trayectoria de las burbujas.....	87
5.3.5	Presión Total.....	91
6	Discusiones y Conclusiones .....	92
7	Bibliografía.....	98
Anexo A	: Evolución de las burbujas en el tiempo.....	A-1
Anexo A1:	Evolución de las burbujas en el dominio completo.....	A-1
Anexo A2:	Evolución de la burbuja 1 en el tiempo, vista superior y de perfil.....	A-12
Anexo A3:	Evolución de la burbuja 5 en el tiempo, vista superior y de perfil.....	A-13
Anexo A4:	Evolución de la burbuja 7 en el tiempo, vista superior y de perfil.....	A-15

Anexo A5: Evolución de la burbuja 9 en el tiempo, vista superior y de perfil.....	A-16
Anexo B : Posición de cada burbuja en el tiempo.....	B-1
Anexo C : Gráficos de velocidad de cada burbuja .....	C-1
Anexo D : Trayectorias de cada burbuja .....	D-1

# **1. Introducción**

El presente trabajo pretende simular la inyección de aire en un estanque con agua quieta, y de este modo modelar la formación de una burbuja de aire. Existe interés en la simulación numérica para obtener resultados que permitan acercarse a las soluciones, validando así esta herramienta para la resolución de este tipo de problemas. Cabe destacar también el interés que existe en el estudio del flujo bifásico agua-aire, para lograr un mayor entendimiento del tema, que suele ser encontrado en industrias química, nuclear y minera entre otras.

## **1.1 Antecedentes Generales**

El estudio de, en este caso un flujo simultaneo de gas y de líquido a través de un conducto, es una de las combinaciones de flujo bifásico más complejas que existen. Esto se debe, principalmente a la gran variedad de configuraciones relacionadas con la distribución espacial de ambas fases en la tubería y, a que la fase gaseosa es compresible. Estas configuraciones espaciales se conocen como patrones de flujo.

En un régimen de flujo bifásico en tuberías, la velocidad relativa de las burbujas depende principalmente de la diferencia de densidad entre los dos fluidos. El volumen de las burbujas está relacionado en general con la tensión superficial y la tasa de flujo de aire que genera la burbuja. El flujo de burbujas ocurre normalmente a tasas de flujo bajas.

El trabajo se centra en un estanque con agua, por el cual se ingresará aire a través de un orificio en su parte inferior, generando así el flujo de burbujas que se desea modelar, el tamaño del orificio y el caudal de aire son variables que se consideran en el estudio.

El procedimiento a utilizar conlleva primero el estudio de la teoría y conceptos involucrados en el proceso, en estos se cuentan distintos patrones de flujo, y modelos para cada uno de ellos. Luego el trabajo se centra en el estudio de los métodos de CFD para modelar el flujo y finalmente en la implementación del método más adecuado a las características y exigencias mencionadas.

## **1.2 Motivación**

El flujo bifásico es encontrado frecuentemente en la industria petrolera, química, nuclear, en plantas termoeléctricas, etc. La determinación de los patrones de flujo, el gradiente de presión y la fracción volumétrica de líquido, es el reto asociado en investigación y desarrollo para optimizar el diseño de los diferentes componentes de los sistemas que operen con este tipo de flujo y así reducir de manera significativa los costos asociados a la construcción y operación de los mismos.

Como ya se ha mencionado son varias las áreas en que se pueden encontrar flujos bifásicos. Como motivación más específica, este trabajo pretende iniciar el estudio de la formación de burbujas y movimiento, para así, acercarse a maquinarias tales como las celdas de flotación,

que son muy utilizadas en la industria minera. Estas máquinas por medio de la generación de burbujas logran capturar minerales sulfurados y separarlos de la solución inicial.

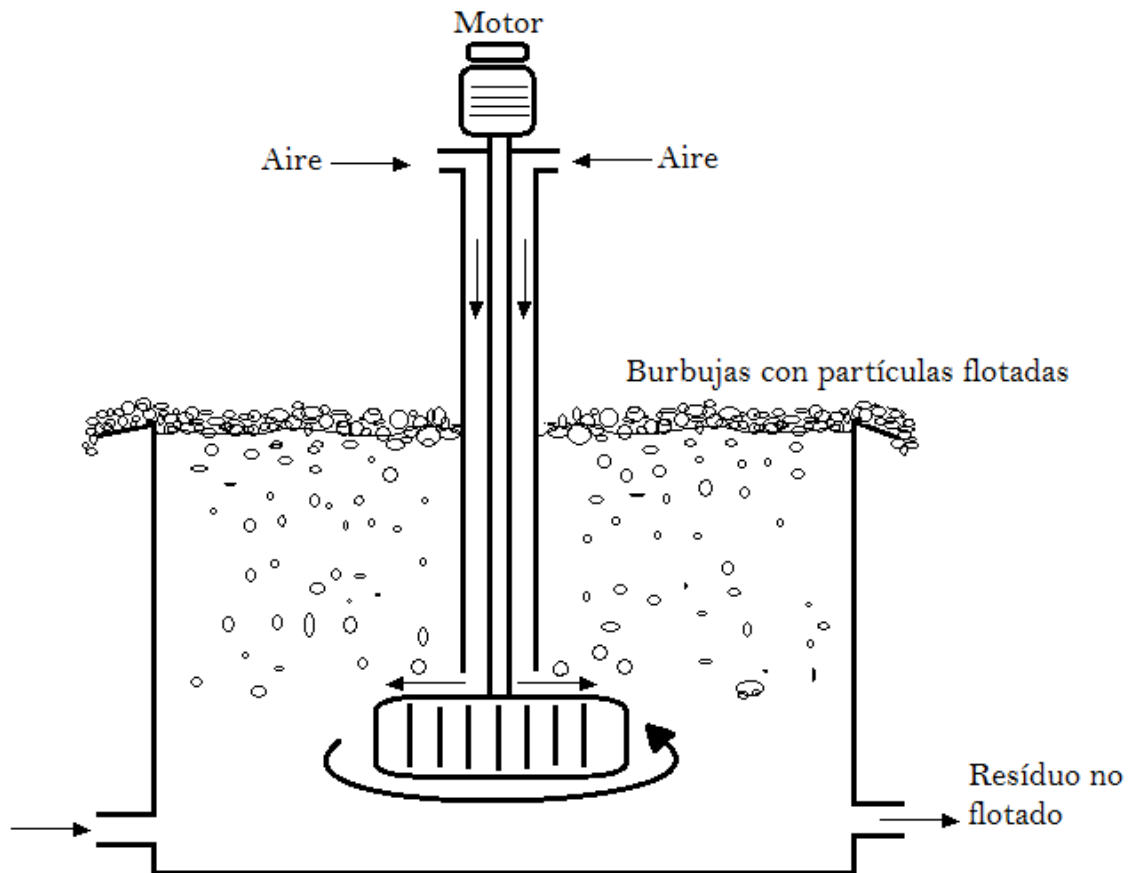


Figura 1.1: Esquema simple de una celda de flotación

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

El objetivo general del trabajo es modelar un flujo de burbujas de aire en un estanque con agua en un entorno 3D mediante CFD (Computational Fluid Dynamics), y comparar los resultados obtenidos con modelos teóricos experimentales y empíricos y datos experimentales de otros trabajos, para de esta forma establecer la viabilidad de este medio de estudio y la necesidad o no de realizarse en un entorno 3D.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar y generar un set de ecuaciones que permitan caracterizar el flujo de burbujas de forma teórica.
- Determinar la forma y tamaño de las burbujas en función del caudal de aire y diámetro del tubo inyector de aire.



- Determinar la Velocidad de las burbujas en función del caudal de aire y diámetro del tubo inyector de aire.
- Comparar los resultados obtenidos mediante el método computacional con lo esperado según el set de ecuaciones previamente recopilado y los datos experimentales de otros trabajos.
- Comparar los resultados obtenidos en simulaciones realizadas en 2D y 3D.

#### **1.4 Alcances**

El trabajo corresponde a una simulación 3D de la formación y movimiento de una burbuja de aire en un estanque con agua quieta, la validación de los resultados se efectuará por modelos teóricos y datos experimentales de otros trabajos, el trabajo además contempla un par de simulaciones 2D para ajustar los parámetros y propiedades del flujo de burbujas a simular en un ambiente 3D y realizar una comparación entre ambos tipos de simulaciones.

## 2 Antecedentes

### 2.1 Caracterización

Una clasificación y caracterización de la ascensión de una burbuja singular en un fluido se puede efectuar mediante los siguientes números adimensionales.

Eotvos:

$$Eo = \frac{g\Delta\rho d_e^2}{\sigma} \quad (2.1)$$

Morton:

$$M = \frac{g\mu^4\Delta\rho}{\rho^2\sigma^3} \quad (2.2)$$

Reynolds:

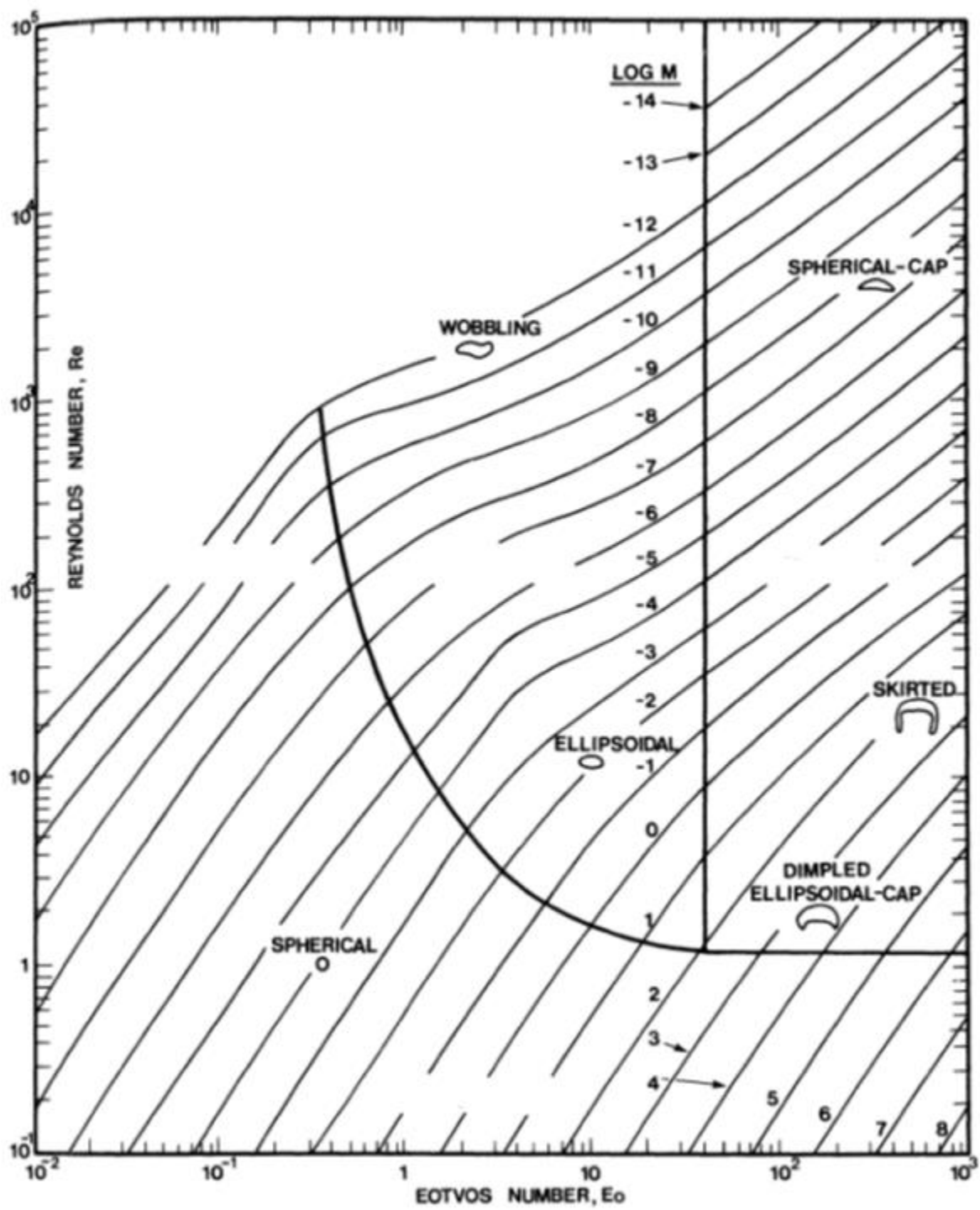
$$Re = \frac{\rho d_e U}{\mu} \quad (2.3)$$

Donde  $d_e$ : es el diámetro de volumen de esfera equivalente,  $\mu$  es la viscosidad de la fase continua,  $\sigma$  es la tensión de la interface,  $\Delta\rho$  es el valor absoluto de la diferencia entre densidades,  $\rho$  es la densidad de la fase continua y  $U$  es la velocidad de la burbuja

Por lo tanto las propiedades físicas y dinámicas de una burbuja quedan caracterizada con los números de Reynolds, Eotvos y Morton de la burbuja. Acerca del número de Eotvos de la burbuja se puede encontrar en la literatura también bajo el nombre de número de Bond de la burbuja y principalmente entrega la relación entre el empuje y la tensión superficial, por otro lado, dado que el número de Morton de la burbuja está compuesto solamente por las propiedades de las especies involucradas, él se mantiene invariable aun cuando cambie el régimen de la burbuja; y como es sensiblemente dependiente de la viscosidad del medio líquido, en la literatura a veces se encuentra usado como la raíz cuarta de su valor. Finalmente el número de Reynolds de la burbuja entrega la relación entre la inercia y las fuerzas viscosas.

En la literatura existe una gran cantidad de trabajos experimentales de burbujas aisladas ascendiendo en fluidos en reposo, en conjunto ha sido reunido de buena manera en el trabajo de Clift, Grace y Weber [1], los cuales con aquellos trabajos han confeccionado un diagrama que esquematiza el comportamiento esperado de las burbujas, este diagrama se expone en la Referencia: Clift, Grace y Weber

Figura 2.1. Los números adimensionales de Eotvos, que se ubica en el eje de las Abscisas, el número de Reynolds de la burbuja, en el eje de las ordenadas, y se observan que la curva son los valores del número de Morton expresado en el logaritmo en base decimal.



Referencia: Clift, Grace y Weber [1]

Figura 2.1: Caracterización de la burbuja, por medio de números adimensionales

A partir de este diagrama se pueden distinguir cuatro grandes familias de burbujas, cuya clasificación depende de sus correspondientes valores adimensionales:

Burbujas Esféricas	$0,01 \leq Eo_B \leq 1,$	$0,1 \leq Re_B \leq 10$
Burbujas Elipsoidales	$0,2 \leq Eo_B \leq 30,$	$1 \leq Re_B \leq 10.000$
Burbujas Tapa esférica	$30 \leq Eo_B \leq 1.000,$	$100 \leq Re_B \leq 100.000$
Burbujas con falda	$30 \leq Eo_B \leq 1.000,$	$1 \leq Re_B \leq 100$

## 2.2 Ley de Laplace

La ley de Laplace – Young relaciona el cambio de presión que se produce en la superficie que existe entre dos fluidos de distinta naturaleza en contacto. La fórmula más general de esta expresión es.

$$\Delta P = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (2.4)$$

Donde  $\Delta P$  es la diferencia de presiones entre los líquidos, siendo la presión por el lado cóncavo siempre mayor,  $\sigma$  es la tensión superficial y  $R_1, R_2$  dos radios de curvatura perpendiculares entre sí. Generalmente se considera el uso de las expresiones más simplificadas, como sería el caso para una burbuja de aire esférica en agua, lo cual conduce a.

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{R} \quad (2.5)$$

En esta se puede observar que el salto de presión tiende a cero en superficies planas, como es el caso de la superficie libre en una columna de agua, en el cual la presión en la superficie de agua es igual a la presión atmosférica. Para el caso de una burbuja de aire en agua, la presión siempre será mayor en el interior de la burbuja, y mientras más grande sea la burbuja la diferencia de presión entre el exterior e interior será menor.

## 2.3 Formación de burbujas

Azbel D. [2] Propone una relación simple para la formación de burbuja en la cual empieza con una consideración de las fuerzas actuando en una burbuja simple a medida que se forma en un orificio, sobre cada burbuja actúa el empuje, corrientes convectivas del fluido y las fuerzas de tensión superficial que están actuando en la sección de la burbuja que sigue todavía en contacto con el orificio

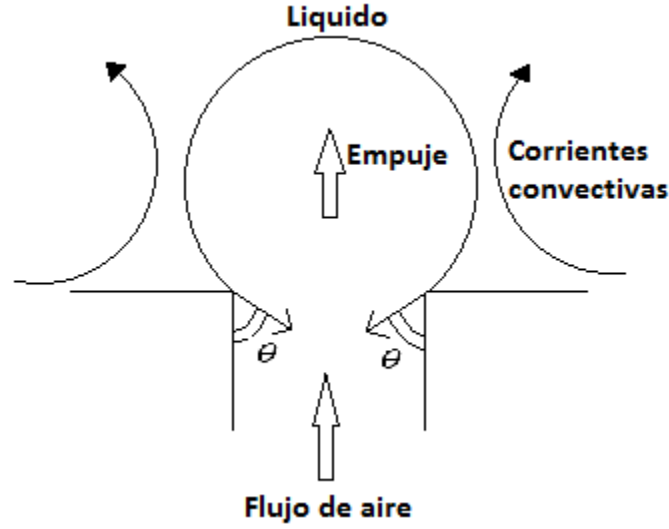


Figura 2.2: Fuerza de tensión superficial

Para el caso de bajo flujo de gas y cuando la viscosidad del líquido es pequeña, las corrientes convectivas son despreciables, tomando en consideración el esquema mostrado en la Figura 2.2 se tiene que el empuje y las fuerzas de tensión superficial son aproximadamente

$$\frac{1}{6}\pi d_b^3 g(\rho_f - \rho_g) = \pi D_0 \sigma \quad (2.6)$$

Donde  $d_b$  es el diámetro de la burbuja al instante de la liberación,  $\rho_f$  y  $\rho_g$  la densidad del líquido y gas respectivamente  $D_0$  el diámetro del orificio,  $\sigma$  la tensión superficial y  $g$  es debida a la aceleración de gravedad. Notar que el factor  $\cos \theta$  (donde  $\theta$  es el ángulo entre la perpendicular y la superficie de la burbuja en el orificio) el cual es a menudo incluido en el lado derecho de la ecuación ( 2.6) ha sido igualado a la unidad por simplicidad, esto da.

$$d_b = \left[ \frac{6\sigma D_0}{(\rho_f - \rho_g)g} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.7)$$

La utilidad de esta ecuación está confirmada por experimentos para  $Re_0 \leq 200$ , donde  $Re_0 = \rho_f v_o D_0 / \mu_f$  es el número de Reynolds basado en el diámetro del orificio. Aquí  $\mu_f$  es la viscosidad dinámica del líquido y  $v_o$  es la velocidad media del gas en el orificio. Por ejemplo, si se toma aire ( $\rho_g = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ) formando burbujas en agua ( $\rho_f = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $\sigma =$

$7.36 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}^2$ ) a través de un orificio de 1.3 mm de diámetro, se encuentra que el diámetro de las burbujas será de acuerdo a lo predicho por la ecuación  $d_b = 4.06 \text{ mm}$  y este resultado se ve reafirmado por experimentos.

La ecuación anterior también se puede reescribir de la siguiente forma.

$$\frac{d_b}{D_0} = c \left[ \frac{4\sigma}{(\rho_f - \rho_g)gD_0^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.8)$$

Donde  $c = 1.5^{\frac{1}{3}} = 1.15$

En la práctica, sobre las burbujas actúan otras fuerzas además del empuje y tensión superficial, así que  $c$  no tendrá el valor mostrado arriba. Trabajos experimentales han mostrado que la ecuación (2.8) es bastante buena para determinar el tamaño de burbujas pero que un mejor valor para  $c$  en la ecuación sería aproximadamente la unidad.

## 2.4 Volumen de burbuja

Para el tamaño de la burbuja se considera que este es principalmente dependiente de las fuerzas viscosas e inerciales. Un modelo ha sido propuesto por Ramakrishna [2] en el cual la formación de la burbuja se desarrolla en 2 etapas, expansión y separación (desprendimiento). Durante la primera etapa, la burbuja se expande continuamente y se mantiene unida al orificio, y durante la segunda etapa la burbuja se mueve hacia arriba del orificio manteniéndose en contacto con el orificio a través de un cuello.

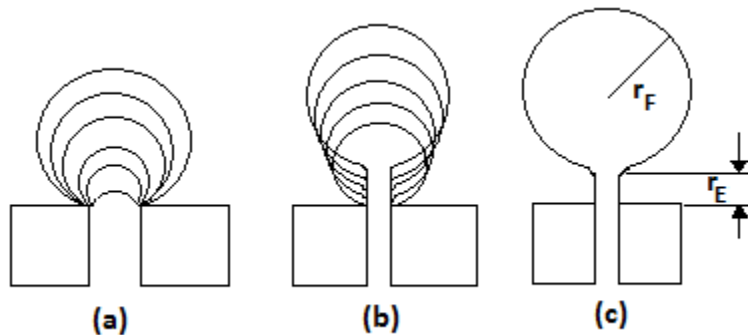


Figura 2.3: Formación de una burbuja

Estas 2 etapas son mostradas en la Figura 2.3. El volumen final de la burbuja es la suma de los volúmenes generados en cada una de las etapas.

$$V_F = V_E + Qt_f \quad (2.9)$$

Donde  $V_F$  es el volumen final de la burbuja,  $V_E$  es el volumen generado en la primera etapa,  $Q$  es la razón de flujo volumétrico de gas, y  $t_f$  es el tiempo que tarda la etapa de separación. El valor de las fuerzas involucradas se muestra en las siguientes expresiones.

$$\text{Empuje} = V(\rho_f - \rho_g)g \quad (2.10)$$

$$\text{Arrastre viscoso} = 6\pi r\mu v \quad (2.11)$$

$$\text{Tension superficial} = \pi D\sigma(\text{Cos } \theta) \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \text{Fuerza inercial (etapa expansion)} &= \left(\frac{d}{dt_e}\right)(Mv_e) \\ &= \frac{Q^2 \left(\rho_g + \frac{11}{16}\rho_f\right)V^{-2/3}}{12\pi \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{2/3}} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Donde  $r$  es el radio de la burbuja,  $v_e$  corresponde a la velocidad de la burbuja en la primera etapa, es decir, se trata de la velocidad de expansión de la burbuja, y  $M$  es la masa virtual de la burbuja, que corresponde a la suma de la masa de gas y 11/16-avos del volumen de líquido.

Para la primera etapa (etapa de expansión) haciendo un balance de fuerzas (empuje, arrastre viscoso, tensión superficial e inercia) y llamando a  $V$  como  $V_E$  al volumen final de la etapa de expansión, se tiene:

$$V_E^{5/3} = \frac{11Q^2}{192\pi \left(\frac{3}{4}\pi\right)^{2/3} g} + \frac{3\mu_f Q V_E^{1/3}}{2 \left(\frac{3}{4}\pi\right)^{1/3} g\rho_f} + \frac{\pi D_0 \sigma V_E^{2/3}}{g\rho_f} \quad (2.14)$$

El volumen de la burbuja al final de la etapa de expansión,  $V_E$ , puede ser encontrado de la ecuación ( 2.14) usando un proceso iterativo, la ecuación ( 2.14) es de carácter general, y muchos casos simples pueden ser obtenidos despreciando algunos términos en el lado derecho de la ecuación, por ejemplo, cuando el segundo término es despreciado, se tiene el caso de líquidos no viscoso con tensión superficial, si también se desprecia el último término, da una ecuación para líquidos no viscosos sin tensión superficial, si solo el último termino es eliminado, se tiene el caso de un líquido viscoso sin tensión superficial, finalmente cuando los primeros dos términos son despreciados, la ecuación ( 2.14) se reduce a la ecuación ( 2.8).

Con respecto a la segunda etapa, esta se inicia cuando las fuerzas ascendentes exceden a las descendentes y la burbuja se aleja del orificio, manteniéndose conectada por el cuello de burbuja, en razón del desarrollo de un modelo para la segunda etapa, el largo de este cuello se toma igual en magnitud a  $r_E$  (ver Figura 2.3), el radio de la burbuja al final de la expansión (es decir, después de la primera etapa). Este supuesto impone una condición que evita la coalescencia de la siguiente burbuja con la primera. Cuando la base de la burbuja ha viajado esta distancia, el cuello de la burbuja se rompe y la burbuja flota hacia arriba.

Usando la segunda ley de movimiento, tomando en cuenta, la viscosidad, empuje, efecto de masa agregada y tensión superficial, se obtiene lo siguiente

$$\left(\frac{d}{dt}\right)(Mv^*) = (V_E + Qt)\rho_f g - 6\pi r\mu v^* - \pi D\sigma(\cos \theta) \quad (2.15)$$

En este caso  $v^*$  corresponde a la velocidad del centro de la burbuja, y está compuesta por la suma de la velocidad del centro de la burbuja debido a la expansión ( $v_e$ ), y la velocidad  $v$  con la cual la base de la burbuja se está moviendo. Reemplazando  $v^*$  por sus componentes mencionadas, y desarrollando la ecuación ( 2.15) se obtiene la siguiente ecuación diferencial.

$$\left(\frac{dv}{dt}\right) + A\left(\frac{v}{T}\right) = B - GT^{-\frac{4}{3}} - ET^{-\frac{5}{3}} - CT^{-1} \quad (2.16)$$

Donde

$$T = V_E + Qt_f \quad (2.17)$$



$$A = 1 + \frac{96\pi(1.25)r_E\mu_f}{11\rho_f Q} \quad (2.18)$$

$$B = \frac{16g}{11Q} \quad (2.19)$$

$$C = \frac{16\pi D_0 \sigma \cos \theta}{11\rho_f Q} \quad (2.20)$$

$$E = Q/12\pi \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.21)$$

$$G = \frac{24\mu_f}{11 \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \rho_f} \quad (2.22)$$

Utilizando las condiciones de borde  $t_f = 0$ ,  $v = 0$  y  $T = V_E$ , se puede resolver la ecuación (2.16) y obtener una expresión para la velocidad  $v$ , luego usando que  $v = Q \left(\frac{dx}{dT}\right)$  y resolviendo para  $x$  usando las condiciones de borde  $t_f = 0$ ,  $x = 0$  y  $T = V_E$ , considerando que  $x = r_E$  (condición impuesta inicialmente para evitar coalescencia entre una burbuja y la siguiente, ver Figura 2.3) y  $T = V_F$ , la solución final es.

$$\begin{aligned} r_E = & \frac{B}{2Q(A+1)} (V_F^2 - V_E^2) - \left(\frac{C}{AQ}\right) (V_F - V_E) \\ & - \frac{3G}{2Q\left(A - \frac{1}{3}\right)} \left(V_F^{\frac{2}{3}} - V_E^{\frac{2}{3}}\right) - \frac{3E}{Q\left(A - \frac{2}{3}\right)} \left(V_F^{\frac{1}{3}} - V_E^{\frac{1}{3}}\right) \\ & - \frac{1}{Q(-A+1)} (V_F^{-A+1} - V_E^{-A+1}) \left[ \frac{B}{A+1} (V_E^{A+1}) - \frac{C}{A} V_E^A \right. \\ & \left. - \frac{G}{A - \frac{1}{3}} V_E^{A-\frac{1}{3}} - \frac{E}{A - \frac{2}{3}} V_E^{A-\frac{2}{3}} \right] \end{aligned} \quad (2.23)$$

Cálculos actuales bajo varias condiciones de formación de burbujas, muestran que la contribución de los últimos dos términos se pueden despreciar, por lo tanto la ecuación (2.23) se reduce a.

$$r_E = \frac{B}{2Q(A+1)}(V_F^2 - V_E^2) - \left(\frac{C}{AQ}\right)(V_F - V_E) - \frac{3G}{2Q\left(A - \frac{1}{3}\right)}\left(V_F^{\frac{2}{3}} - V_E^{\frac{2}{3}}\right) \quad (2.24)$$

El volumen final de la burbuja se puede obtener usando el siguiente proceso.

1. Se calcula el volumen final en la etapa de expansión  $V_E$  usando la ecuación iterativa (2.14).
2. Se calcula  $r_E$ , usando  $r_E = (3V_E/4\pi)^{\frac{1}{3}}$
3. Se hace una adivinanza para  $V_F$  y nuevamente se calcula  $r_E$ , ahora usando la ecuación (2.24)
4. El volumen final y por lo tanto el radio final de la burbuja es obtenido por ensayo y error repitiendo el paso 3, usando distintos valores de  $V_F$  hasta encontrar un radio de expansión  $r_E$ , que coincida con el valor encontrado en el paso 2

D.A. Deshpande, M. D. Deo, F.V. Hanson y A.G. Oblad [3], utilizaron el trabajo realizado por Ramakishna para proponer otras condiciones y obtener así una nueva expresión para el volumen de burbuja.

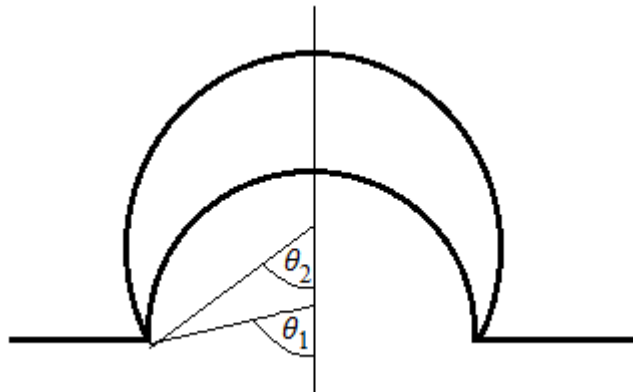


Figura 2.4: Crecimiento de burbuja según Deshpande

Deshpande propone un crecimiento de la burbuja según muestra la Figura 2.4, en el cual considera el ángulo que se forma en el centro de la burbuja, con el borde del orificio, este ángulo se mantiene disminuyendo conforme aumenta el volumen de la burbuja, incluso en la etapa de desprendimiento. Deshpande realiza un análisis en su trabajo en el cual considera sistema de referencia inercial y que la burbuja está en aceleración en la segunda etapa,

concluyendo que la razón de disminución del ángulo considerado,  $d\theta/dt$ , es constante. Además incluye en su trabajo el uso de una fórmula para calcular el volumen de una esfera truncada, para la cual necesita el radio del orificio  $r_o$ , y el radio de la esfera  $r_E$ . Usando esta fórmula y la ecuación ( 2.14) propuesta por Ramakrishna, es posible despejar y calcular  $r_E$ , luego se tiene.

$$\theta_E = \text{Arcsen} (r_o/r_E) \quad (2.25)$$

$$\frac{d\theta_E}{dt} = \frac{2\pi - 2\theta_E}{V_E/Q} \quad (2.26)$$

Finalmente con estas expresiones es posible calcular el tiempo de desprendimiento  $t_f$  y el volumen en la etapa de desprendimiento  $V_A$ .

$$V_A = \frac{Q}{r_o^2} \int_0^{t_f} (r_i \text{sen } \theta_i)^2 dt \quad (2.27)$$

Donde  $r_i$  es el radio instantáneo de la burbuja y  $\theta_i$  es el ángulo instantáneo. Es necesario resolver la ecuación ( 2.27) y la ecuación para el volumen de una burbuja truncada de forma simultánea, de este modo se puede encontrar el radio  $r_i$ , usando  $V$ , como el volumen final en ese instante.

## 2.5 Velocidad terminal de una burbuja

La forma y velocidad de una burbuja aislada varía a medida que aumenta el diámetro equivalente, de acuerdo a tres regímenes, Baz Rodriguez. [4]:

- Viscosidad dominante
- Región intermedia donde la viscosidad, tensión superficial y efectos inerciales deben ser tomados en cuenta
- Inercia dominante: La región media presenta mayores dificultades ya que la interacción de fuerzas y sus efectos en la velocidad terminal no están muy bien entendidos. Más aun la velocidad terminal es particularmente sensitiva a la presencia de contaminantes e incluso a la deformación inicial inducida por la inyección.

El régimen intermedio abarca un rango de diámetro equivalente desde 0.07 a 0.65 cm para burbujas de aire ascendiendo en agua pura. Corresponde a partículas de número de Reynolds  $Re$  entre 80 y 1500, para condiciones de presión y temperatura normales.

Existen tres aproximaciones básicas para la velocidad terminal.

- Balance de fuerza, las ecuaciones de velocidad terminal, resulta de un balance de fuerza entre el arrastre y el empuje, la solución más representativa son obtenidas de una progresiva fuerza de arrastre y flujo potencial<sup>1</sup>. Esta ecuación puede ser adecuada para predecir la velocidad terminal de pequeñas burbujas cuando los efectos viscosos, son todavía dominantes.
- Análisis dimensional: grupos adimensionales son determinados a partir de variables que gobiernan el movimiento de burbujas, una relación funcional es propuesta para estos grupos y los parámetros se ajustan a partir de datos experimentales.
- Analogía de onda: perturbaciones en la interface son asumidas para burbujas cuya dinámica es similar a la propagación de ondas en fluido ideal, y entonces la velocidad terminal es estimada como una función del diámetro equivalente y las propiedades del fluido [4]

Considerando la región intermedia, los efectos inerciales son combinados con la viscosidad, y efectos de tensión superficial. Esto sugiere que una ecuación para la velocidad terminal de una burbuja, la cual es válida cuando los efectos viscosos son todavía importantes, puede ser combinada con otra que es válida cuando los efectos de tensión superficial son significativos.

En el primer caso, es razonable proponer una ecuación desarrollada a partir del enfoque de equilibrio de fuerzas. Luego sería razonable utilizar un enfoque de analogía de ondas. Procediendo de esta manera, una ecuación se puede obtener, que es válida para una amplia gama de diámetros equivalentes de burbuja

$$V_T = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{V_{T1}^2} + \frac{1}{V_{T2}^2}}} \quad (2.28)$$

---

<sup>1</sup> La teoría de flujo potencial pretende describir el comportamiento cinemático de los fluidos basándose en el concepto matemático de función potencial, asegurando que el campo de velocidades (que es un campo vectorial) del flujo de un fluido es igual al gradiente de una función potencial que determina el movimiento de dicho fluido

Donde  $V_{T1}$  es la velocidad de subida cuando los efectos viscosos son todavía dominantes, y  $V_{T2}$  es la correspondiente velocidad cuando los efectos de la tensión superficial son significante.

Cuando los efectos viscosos son importantes y el diámetro de la burbuja es pequeño la ecuación ( 2.28) asegura que la contribución de  $V_{T2}$  es despreciada, lo opuesto ocurre con  $V_{T1}$  a un diámetro de burbuja grande.

Cuando los efectos viscosos están perdiendo su influencia la velocidad terminal para una burbuja en flujo potencial puede ser calculada como [4].

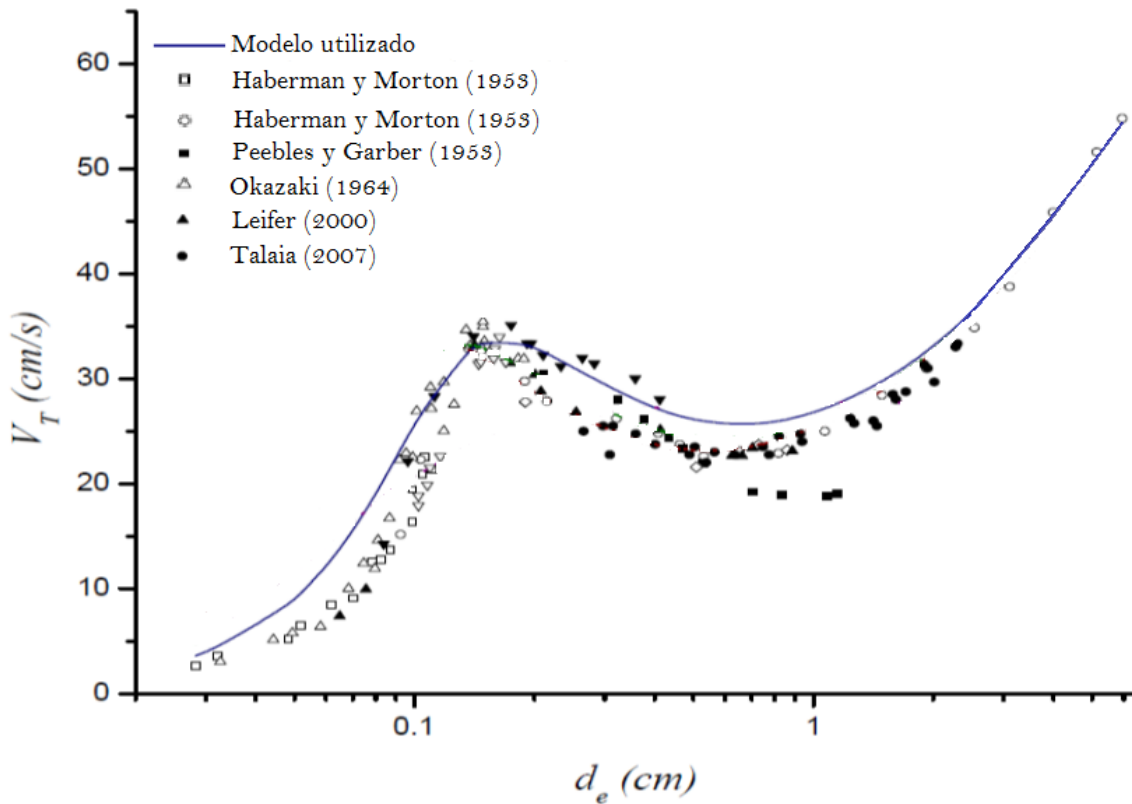
$$V_{T\ pot} = \frac{1}{36} \frac{(\Delta\rho g d_e^2)}{\mu_L} \quad (2.29)$$

Donde  $\Delta\rho$  es la diferencia de densidad entre el líquido y el gas,  $d_e$  es el diámetro de una burbuja esférica de volumen equivalente,  $\mu_L$  es la viscosidad dinámica del líquido y  $g$  es la aceleración de gravedad. Finalmente  $V_{T1}$  y  $V_{T2}$  se pueden calcular como se muestra a continuación

$$V_{T1} = V_{T\ pot} \left[ 1 + \frac{0.73667(g d_e)^{\frac{1}{2}}}{V_{T\ pot}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.30)$$

$$V_{T2} = \left( \frac{3\sigma}{\rho_L d_e} + \frac{g d_e \Delta\rho}{2\rho_L} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.31)$$

La Figura 2.5 muestra una comparativa de los modelos desarrollados a través del tiempo y el mostrado en este ítem, de este se observa la buena aproximación si se compara con los resultados experimentales, que corresponden a los marcadores presentados en esta figura



Referencia: Baz Rodríguez. [4]

Figura 2.5: Comparación entre predicción de ecuaciones y datos experimentales para la velocidad terminal a través de agua destilada.

## 2.6 Datos Experimentales

Del trabajo realizado por D.A. Deshpande, M. D. Deo, F.V. Hanson y A.G. Oblad [3] en el cual proponen una nueva relación para el tamaño de una burbuja simple formada desde un orificio, utilizando como referencia las ecuaciones desplegadas por medio de un balance de fuerzas propuestas por Ramakrishna 1968 [2] y que ya han sido expuestas en el capítulo 2.4. La Tabla 2.1 y Tabla 2.2 muestran una comparativa entre los volúmenes de burbujas obtenidos mediante la ecuación de Ramakrishna (Columna Calculado en la tabla), la ecuación propuesta por D.A. Deshpande (Columna Referencia en la tabla), y los volúmenes de burbuja obtenidos experimentalmente por Davidson y Schüler (Columna Experimental en la tabla) [5]. Además se agregan 2 columnas en las cuales se tabulan los datos correspondientes al largo del cuello de burbuja formado en la etapa de desprendimiento ( $X$  [m]), y el radio de la burbuja al final de la etapa de expansión ( $r_E$  [m]). Estos datos corresponden a la condición impuesta por Ramakrishna para obtener el volumen de burbuja ( $X = r_E$ ).

La Tabla 2.1 corresponde a los datos para burbujas formadas con diámetro de orificio de 0,6 mm, una viscosidad de líquido de 0,001 Pa·s, la tensión superficial es 0,0727 N/m y la densidad del líquido 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 2.1: Tabla de datos de volúmenes para burbujas con diámetro de orificio de 0,6 mm

<b>Q</b> [m <sup>3</sup> /s·10 <sup>6</sup> ]	<b>Experimental</b> [m <sup>3</sup> ·10 <sup>6</sup> ]	<b>Referencia</b> [m <sup>3</sup> ·10 <sup>6</sup> ]	<b>Calculado</b> [m <sup>3</sup> ·10 <sup>6</sup> ]	<b>X</b> [m]	<b>r<sub>E</sub></b> [m]
0,5	0,026	0,021	0,033	0,00066	0,00155
1,0	0,036	0,027	0,048	0,00065	0,00157
1,5	0,036	0,032	0,063	0,00065	0,00159
2,0	0,050	0,039	0,078	0,00065	0,00160
2,5	0,068	0,042	0,095	0,00066	0,00165

Referencia: D.A. Deshpande, M. D. Deo, F.V. Hanson y A.G. Oblad [3]

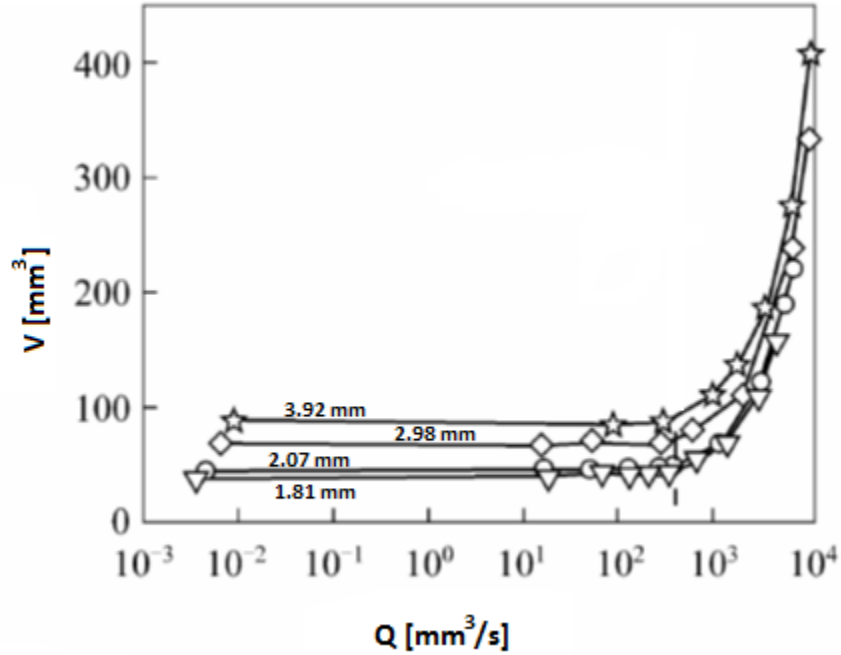
La Tabla 2.2 corresponde a los datos para burbujas formadas con diámetro de orificio de 4 mm, una viscosidad de líquido de 0,001 Pa·s, la tensión superficial es 0,0727 N/m y la densidad del líquido 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 2.2: Tabla de datos de volúmenes para burbujas con diámetro de orificio de 4 mm

<b>Q</b> [m <sup>3</sup> /s·10 <sup>6</sup> ]	<b>Experimental</b> [m <sup>3</sup> ·10 <sup>6</sup> ]	<b>Referencia</b> [m <sup>3</sup> ·10 <sup>6</sup> ]	<b>Calculado</b> [m <sup>3</sup> ·10 <sup>6</sup> ]	<b>X</b> [m]	<b>r<sub>E</sub></b> [m]
5	0,20	0,315	0,3106	0,00350	0,0029
10	0,42	0,471	0,5210	0,00360	0,0030
20	0,90	0,823	0,9887	0,00382	0,0032
30	1,30	1,250	1,5068	0,00404	0,0035

Referencia: D.A. Deshpande, M. D. Deo, F.V. Hanson y A.G. Oblad [3]

Wang Hongyi, Dong Feng, Bian Yuchen y Tan Chao [6], también trabajaron en una relación para el volumen de la burbuja para el cual generaron burbujas en un estanque de agua de 200x200 mm y altura de 2 m, hecho de Plexiglás, el nivel del líquido corresponde a 130 cm, y la alimentación de aire se produce por medio de una válvula que mantiene la presión en 0,4 MPa, las burbujas son liberadas desde un orificio metálico ubicado en la parte inferior del estanque (diámetros 1,81 mm, 2,07 mm, 2,98 mm, 3,92 mm). El experimento realizado permite graficar el volumen de la burbuja en función del caudal inyectado para un diámetro de orificio dado (ver Figura 2.6) de la cual se puede notar que a partir de un flujo de aire dado, el volumen de la burbuja aumenta de forma exponencial, este flujo es aproximadamente 400 mm<sup>3</sup>/s



Referencia: Wang Hongyi, Dong Feng, Bian Yuchen y Tan Chao [6]

Figura 2.6: Volumen de la burbuja en función del Caudal de aire inyectado para un diámetro de orificio dado

A partir de los datos experimentales del trabajo de Wang Hongyi [6] se puede construir una tabla con los volúmenes de burbuja para algunos caudales, esta tabla se presenta a continuación.

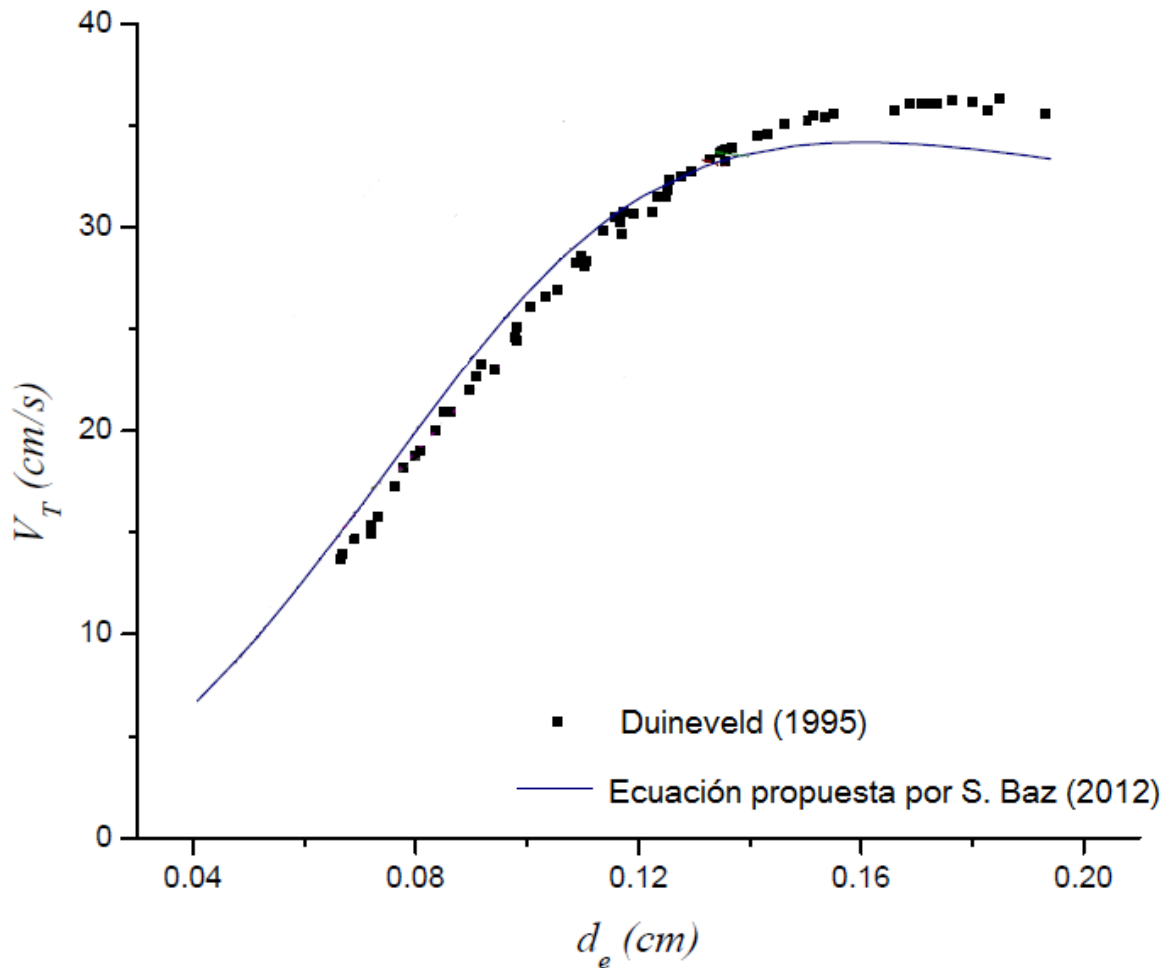
Tabla 2.3: Volúmenes de burbuja según diámetro de orificio

Caudal [mm³/s]	Do = 3,92 mm [mm³]	Do = 2,98 mm [mm³]	Do = 2,07 mm [mm³]	Do = 1,81 mm [mm³]
0,01	88,59	67,79	44,30	37,58
0,1	87,25	66,44	44,30	37,58
1	85,91	65,10	44,30	38,93
10	85,23	63,76	44,97	39,60
100	83,89	62,42	45,64	41,61
1000	112,08	91,95	65,10	60,40
3162	181,88	167,79	132,89	130,20

S. Baz, A. Aguilar y A. Soria [4] trabajaron en la velocidad de ascenso de burbujas aisladas en líquidos puros, obteniendo la ecuación ( 2.28) mostrada anteriormente, el trabajo realizado



por P.C. Duineveld [7] sobre la velocidad de ascenso y forma de burbujas en agua pura, permite graficar la velocidad de ascenso de la burbuja en función del diámetro equivalente, la Figura 2.7 muestra los resultados experimentales obtenidos por P. C. Duineveld [7] y la predicción de velocidad según la ecuación ( 2.28).



Referencia: S. Baz, A. Aguilar y A. Soria [4]

Figura 2.7: Velocidad terminal de burbujas en función del diámetro equivalente

## 2.7 Trayectorias de burbuja

Antoine Wilhelmu [8], se interesa en burbujas que suben en fluido con bajo número de Morton, a un número de Reynolds del orden de 200 – 900, un buen ejemplo para un fluido con bajo número de Morton sería el agua, y en este caso, considerando un rango de Reynolds bajo, 200 – 600, la burbuja tiene una forma esférica y su trayectoria es rectilínea, mientras que al aumentar el Reynolds al rango superior, 600 – 900, la forma comienza a ser el de una elipsoide achatada y la trayectoria cambia entre zigzag y espiral, ambas irregulares.

Muchos autores establecen una relación entre la forma de la burbuja y el número de Weber, esta es; para bajos números de Weber la burbuja presencia una forma estable, y luego con el aumento de Weber ( $O(3)$ ), la forma de la burbuja se vuelve inestable.

Para un movimiento estable, el máximo número de Weber para una forma estable es alrededor de  $We_{max} = 3,271$  con una razón de aspecto del eje de la burbuja  $x = 3,722$ . Miksis encontró valores similares para esta aseveración, en su caso los valores corresponden a  $We_{max} = 3,23$  y  $x = 3,85$ .

El máximo número de Weber para la forma inestable es muy cercano al weber crítico para trayectoria inestable determinado experimentalmente por Hartunian y Sears  $We_{cri} = 3,17$ .

Se debe notar que la inestabilidad de forma no es necesariamente el gatillo para que se genere una trayectoria inestable.

Se cree que la aparición de la trayectoria inestable ocurre con un Weber crítico, el cual depende de las propiedades del fluido. Duineveld, Tsuge y Hibino, definieron por separado un número de Weber crítico. Una relación útil es el aumento de Reynolds crítico con la disminución del número de Morton. Tsuge y Hibino determinaron las siguientes funciones empíricas.

$$We_{cri} = 21.5 Re^{-0,32} \quad (2.32)$$

$$Re_{cri} = 9,0Mo^{-0,173} \quad (2.33)$$

Donde  $Re_{cri}$  es tal que aparece la trayectoria inestable.

Hartunian y Sears determinaron dos criterios separados para el comienzo de trayectoria inestable en varios líquidos

$$Re_{cri} = 202 \quad (2.34)$$

$$We_{cri} = 3,17 \quad (2.35)$$

El primero corresponde a esferas sólidas, burbujas en fluidos contaminados y burbujas en líquidos viscosos. El segundo es para burbujas en líquidos limpios. Hartunian y Sears no establecen una relación entre la dependencia de  $We_{cri}$  con el número de Morton, más aun, establecen que para  $Mo > 10^{-4}$  la trayectoria no se vuelve inestable.

Saffman establece una relación entre el radio equivalente y la trayectoria de la burbuja.

$r_{eq} < 0,7mm$  Trayectoria Recta

$r_{eq} = 1 mm$  Solo trayectoria Zigzag

$r_{eq} > 1 mm$  Trayectoria Zigzag o espiral

Saffman observó que burbujas liberadas rápidamente después de otra siguen el camino de su predecesora aunque para burbujas de  $r_{eq} < 1 mm$  siempre es zigzag, incluso cuando fue liberado en una estela espiral.

Ayber y Tapucu realizaron conjetura similares, pero a diferencia de Saffman, ellos solo vieron trayectoria espiral en el rango  $0,67 < r_{eq} < 1 mm$ , la forma esférica hasta  $r_{eq} = 0,42 mm$ , la forma eslipsoidal hasta  $r_{eq} = 1 mm$  y para tamaños más grandes observaron oscilaciones.

La Tabla 2.4 muestra un resumen de los criterios dispuestos por diferentes autores con respecto a la trayectoria de la burbuja.

Tabla 2.4: Criterios para transición de trayectorias de burbujas

Autor	Recta	Espiral	Zigzag
<b>Haberman y Morton (1954)</b>	$Re < 300$	$300 < Re < 3000$	$Re > 300$
<b>Hartunian y Sears (1957)</b>	$Re < 202$ $We < 3,17$	$Re > 202$ $We > 3,17$	$Re > 202$ $We > 3,17$
<b>Saffman (1956)</b>	$r_{eq} < 0,7 mm$ $Re < 400$	$r_{eq} > 1,0 mm$ —	$r_{eq} > 0,7 mm$ $Re > 400$
<b>Aybers y Tapucu (1969)</b>	$r_{eq} < 0,67 mm$ $Re < 565$	$0,67 < r_{eq} < 1,0 mm$ $565 < Re < 880$	$r_{eq} = 1,0 mm$ $880 < Re < 1350$
<b>Duineveld (1994,1995)</b>	$r_{eq} < 0,91 mm$ $We < 3,3$ $Re < 662$	— — —	$r_{eq} > 0,91 mm$ $We > 3,3$ $Re > 662$

Referencia: Antoine Wilhelmus 1972 [8]

Mingming y Morteza establecen como límite para la trayectoria rectilínea un radio equivalente cercano a 0,9, para mayores diámetros se ha visto trayectoria espiral y zigzag, sin embargo en varios experimentos no existe concordancia para determinar si el movimiento es uno u otro cuando se atravesase cierto umbral. Mingming y Morteza realizaron un experimento en el cual inyectaban una misma cantidad de volumen de aire para generar burbujas esféricas y luego una cantidad mayor fija para generar burbujas elipsoidales, la inyección se realizó por tres tubos capilares de diámetros diferentes, 0,0376 cm, 0,0595 cm, y 0,0841 cm. Sus resultados mostraron que para burbujas elipsoidales la trayectoria cambia desde recta a espiral cuando el radio equivalente de la burbuja excede,  $r_{eq} \approx 0,75 \text{ mm}$  o la razón de aspecto supera  $x \approx 1,6$ . Para el caso de burbujas relativamente esféricas, la trayectoria cambia de recta a zigzag cuando el radio equivalente de la burbuja excede,  $r_{eq} \approx 0,75 \text{ mm}$  o el número de Reynolds supera  $Re \approx 280$

## 2.8 Angulo de contacto

Si una superficie solida atrae fuertemente a un fluido (por ejemplo; agua sobre una superficie hidrófila) al dejar reposar una gota de este fluido sobre la superficie en cuestión, la gota se extenderá mayormente sobre la superficie, el ángulo de contacto se aproximará a cero. En el caso contrario, cuando se tiene una superficie que no atrae al fluido, (por ejemplo una superficie hidrófoba con agua), el ángulo de contacto aumentara hacia  $150^\circ$  o más. En la Figura 2.8 se muestran tres casos en que en primer lugar la superficie atrae fuertemente al líquido (a) y luego esta fuerza disminuye a un nivel intermedio (b), para finalmente aproximarse hacia el caso de repulsión del líquido (c).

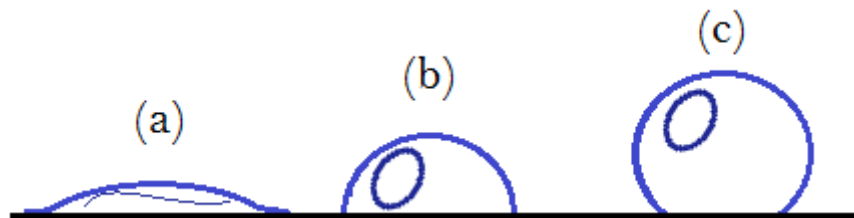


Figura 2.8: atracción y repulsión de burbujas; (a) caso de atracción, menor ángulo de contacto, (b) caso intermedio, (c) repulsión, mayor ángulo de contacto

La ecuación de Young permite obtener una relación para el Angulo de contacto, donde se prioriza el equilibrio entre las tres fases presentes.

$$\gamma_{sg} - \gamma_{lg} \cos\theta_c - \gamma_{sl} = 0$$

Donde

$\gamma_{sl}$ : Energía intersuperficial entre sólido y líquido

$\gamma_{sg}$ : Energía intersuperficial entre sólido y gas

$\gamma_{lg}$ : Energía intersuperficial entre líquido y gas

$\theta_c$ : Angulo de contacto medido desde el interior del líquido

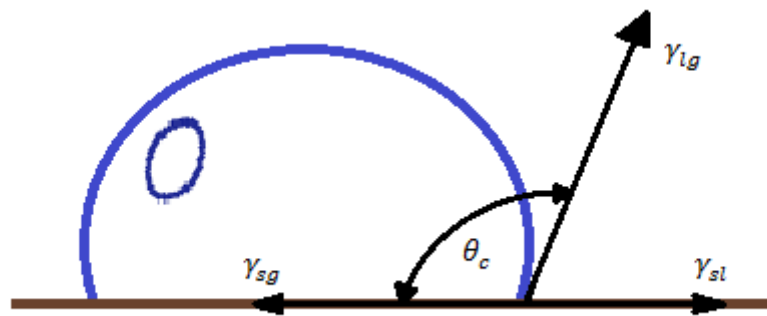


Figura 2.9: Equilibrio de fases de una burbuja de aire dentro de un entorno líquido sobre una superficie sólida

### 3 Método numérico

#### 3.1 Numero de Courant

También llamado número de Courant-Friedrich-Levy, es una condición de convergencia especialmente usada para algoritmos de solución explícitos en CFD, este número determina el cociente entre el intervalo de tiempo del método de solución con respecto al tiempo que tarda una partícula de fluido en recorrer una celda del dominio.

$$CFL = \frac{v\Delta t}{\Delta h} \quad (3.1)$$

Donde

$v$ : Velocidad de la partícula de fluido

$\Delta t$ : Intervalo de tiempo usado en el método de solución

$\Delta h$ : Longitud de la celda

La expresión mostrada en ( 3.1) corresponde al caso unidimensional. Dada la definición del número de Courant, es recomendable tener  $CFL < 1$ , lo cual significa que el fluido avanza a razón de menos de una celda por iteración, esta es una condición de convergencia; es decir, que la solución tiende a la solución exacta de la ecuación diferencia cuando la malla se hace más fina.

#### 3.2 Modelo numérico

Existen 2 tipos de aproximaciones para el cálculo de flujos multifásicos.

##### 3.2.1 Euler LaGrange

La fase continua se resuelve con las ecuaciones de Navier Stokes, y la fase dispersa se resuelve por un rastreo de muchas partículas, gotas, burbujas a través del campo de flujo. La fase dispersa puede intercambiar momentum, masa y energía con la fase fluida.

Este método se hace mucho más simple cuando las interacciones partícula – partícula pueden ser despreciadas, para estos casos es necesario que la fase dispersa ocupe una baja cantidad de fracción de volumen, el método se vuelve inapropiado cuando la fracción de volumen de la segunda fase no puede ser despreciada

##### 3.2.2 Euler Euler

Las distintas fases son tratadas matemáticamente como continuas e interpenetrante, ya que el volumen de una fase no puede ser ocupado por la otra fase. En este caso se derivan ecuaciones de continuidad para cada fase, obteniendo un set de ecuaciones de estructura

similar para cada una de las fases, para esta aproximación existen 3 diferentes modelos disponibles; VOF, Mixture y Eulerian.

### 3.3 VOF

Es una técnica de rastreo de interface apropiado para 2 o más fluidos inmiscibles. Donde la posición de la interface entre los fluidos es de interés. Este método requiere de las siguientes condiciones.

- Se requiere usar el solver “Pressure Based”
- Todas las regiones deben tener un fluido presente
- Solo una fase puede ser definida como gas ideal compresible
- En el rastreo de partículas en paralelo, el modelo DPM no puede ser usado junto con VOF si la opción memoria compartida está activada.

La ecuación de continuidad para la fracción de volumen del modelo VOF de la fase q-ésima es.

$$\frac{1}{\rho_q} \left[ \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{V}_q) \right] = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (3.2)$$

Donde

$\dot{m}_{pq}$ : es la transferencia de masa de la fase p a q.

$\alpha_q$ : es la fracción de volumen de la fase q-ésima; si  $\alpha_q = 0$ , la celda no contiene a la fase q, si  $\alpha_q = 1$ , la celda contiene a la fase q y si  $0 < \alpha_q < 1$ , la celda contiene la interface entre la fase q-ésima y otra.

$\rho_q$ : es la densidad de la fase q-ésima.

$\vec{V}_q$ : es la velocidad de la fase q-ésima.

$S_{\alpha_q}$ : es un término fuente que por defecto es cero, pero se puede definir para corregir la ecuación.

El modelo VOF se puede utilizar con un esquema de discretización temporal implícito o explícito.

### 3.3.1 Esquema Implícito

Este esquema se asume dependiente del tiempo con el esquema de interpolación implícito, esta formulación puede ser usada si se busca una solución de estado estable y no se está interesado en el comportamiento del flujo transiente previo, pero la condición de estado estable final es dependiente de las condiciones iniciales de flujo y/o no se tiene un borde de flujo entrante distinto para cada fase.

Cuando el esquema implícito es usado para la discretización del tiempo, esquemas de interpolación de diferencias finitas, Quick, Second Order Upwind, First Order Upwind y Modified HRIC schemes son usados para obtener flujos de cara para todas las celdas, incluyendo las que se encuentran cerca de la interface

$$\frac{\alpha_q^{n+1}\rho_q^{n+1} - \alpha_q^n\rho_q^n}{\Delta t}V + \sum_f (\rho_q^{n+1}U_f^{n+1}\alpha_{qf}^{n+1}) = \left[ S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \right] V \quad (3.3)$$

Ya que esta ecuación requiere el valor de fracción de volumen para el Time Step actual, una ecuación de transporte escalar es resuelta para cada fracción de volumen de fase secundaria de cada Time Step.

Donde

$n + 1$ : Índice para el nuevo Time Step (actual)

$n$ : Índice para el Time Step previo

$\alpha_{qf}$ : Valor de capa de la fracción de volumen de la q-ésima fase

$V$ : Volumen de la celda

$U_f$ : Flujo volumétrico a través de la cara, basada en la velocidad normal

### 3.3.2 Esquema Explícito

En esta aproximación se aplican esquemas de interpolación de diferencias finitas a la fracción de volumen que fueron calculados en el paso previo

$$\frac{\alpha_q^{n+1}\rho_q^{n+1} - \alpha_q^n\rho_q^n}{\Delta t}V + \sum_f (\rho_q U_f^n \alpha_{qf}^n) = \left[ S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \right] V \quad (3.4)$$



Este esquema es dependiente del tiempo, y ofrece las siguientes opciones para la discretización espacial de fracción de volumen

- Geo-Reconstruct
- Compressive
- CICSAM
- Modified HRIC
- QUICK

Los esquemas de discretización, Modified HRIC, Compressive y CICSAM son computacionalmente menos costosos que Geo-Reconstruct. Sin embargo, este último muestra el límite de las fases (interface) de forma mucho más marcada que cualquier otro.

El esquema de interpolación de reconstrucción geométrica se suele usar cuando interesa la precisión del tiempo del comportamiento transiente de la solución VOF

### 3.3.3 Propiedades

Las propiedades intensivas como la densidad, que deben ser medidas en cada celda, son determinadas por la presencia de los componentes de fases de cada volumen de control. En el sistema bifásico se tiene por ejemplo que si los subíndices 1 y 2 corresponden a las fases, entonces la densidad de una celda está representada por:

$$\rho = \alpha_2 \rho_2 + (1 - \alpha_2) \rho_1 \quad (3.5)$$

### 3.3.4 Momentum

Una sola ecuación de momentum se resuelve en todo el dominio y el campo de velocidad resultante se comparte entre las fases. La ecuación de momentum depende de la fracción de volumen de todas las fases a través de las propiedades  $\rho$  y  $\mu$ .

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla \cdot [\mu(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho g + \vec{F} \quad (3.6)$$

Una limitación de los campos compartidos es que en casos donde existen grandes diferencias de velocidad entre las fases, la precisión de las velocidades computadas en la interface puede ser afectada adversamente. Si la razón de viscosidad es mayor que 1000, se podría generar dificultades de convergencia.

### 3.3.5 Energía

La ecuación de energía compartida entre fases

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + P)) = \nabla \cdot (K_{eff} \nabla T) + S_n \quad (3.7)$$

El método de VOF trata a la energía E y la temperatura T como variables de promedio de masa

$$E = \frac{\sum_{q=1}^n \alpha_q \rho_q E_q}{\sum_{q=1}^n \alpha_q \rho_q} \quad (3.8)$$

Donde  $E_q$  para cada fase está basada en el calor específico de esa fase y la temperatura compartida

Las propiedades  $\rho$  y  $K_{eff}$  (conductividad térmica efectiva) son compartidas por las fases.

El termino fuente  $S_n$  contiene contribuciones de radiación como también de otras fuentes de calor volumétricas

**Dependencia del tiempo:** Fluent automáticamente refina el Time Step para la integración de la ecuación de VOF, pero se puede influenciar el Time Step con el número de Courant.

Además se puede elegir actualizar la ecuación de VOF para cada Time Step, o por cada iteración dentro de cada Time Step.

## 3.4 Algoritmos de solución Presión Velocidad

A continuación se presentan 3 de los algoritmos de solución disponibles en el software, solo se consideran estos 3 pues son los más adecuados para simulación de este trabajo.

### 3.4.1 Simple

El objetivo es obtener el campo de presión, para ello se empieza usando un campo de presión  $P^*$  para resolver la ecuación de momentum y luego hacer cumplir la conservación de masa, en un principio se obtiene un flujo de cara  $J_f^*$  que no satisface la ecuación de continuidad, por lo tanto una corrección  $J_f'$  es agregada al flujo de cara  $J_f^*$

$$J_f = J_f^* + J_f' \quad (3.9)$$

De esta forma se satisface la ecuación de continuidad, el algoritmo simple propone que  $J'_f$  es escrito de la siguiente forma

$$J'_f = d_f(P'_{c0} - P'_{c1}) \quad (3.10)$$

Donde  $P'$  es la corrección de presión en cada lado de la celda (subíndices  $c0$  y  $c1$ ) y  $d_f$  es una función de la media de los coeficientes de la ecuación de momentum. El algoritmo implementa las ecuaciones de corrección de flujo ( 3.9( 3.10) en la ecuación de continuidad discreta.

$$\sum_J^{N_{faces}} J_f A_f = 0 \quad (3.11)$$

$J_f$  Es el flujo másico a través de la cara  $f$  y  $A_f$  corresponde al área de la cara  $f$ .

De este modo se obtiene una ecuación discreta para la corrección de presión  $P'$ . La ecuación de corrección de presión puede resolverse usando “Algebraic Multigrid” (AMG)

$$P = P^* + a_p P' \quad (3.12)$$

$$J_f = J_f^* + d_f(P'_{c0} - P'_{c1}) \quad (3.13)$$

Aquí  $a_p$  es el factor de baja relajación para la presión. El flujo de cara corregido  $J_f$  satisface la ecuación de continuidad discreta idénticamente durante cada iteración

### 3.4.2 SimpleC

Este algoritmo redefine la ecuación ( 3.13) con  $d_f$  una función.

$$d_f = \frac{1}{a_p - \sum_{nb} a_{nb}} \quad (3.14)$$

El uso de esta corrección ha demostrado acelerar la convergencia en problemas donde el acople presión velocidad es el principal elemento de disuasión en la obtención de una solución.

### 3.4.3 PISO

“Pressure Implicit with Splitting of Operators”. Una de las limitaciones del algoritmo Simple y SimpleC es que las nuevas velocidades y correspondientes flujos no satisfacen el balance de momentum después de que la ecuación de corrección de presión es resuelta, como resultado los cálculos se deben repetir hasta que el balance es satisfecho. Para mejorar la eficiencia de este cálculo, el algoritmo PISO tiene dos correcciones adicionales, “Neighbor Correction” y “Skewness Correction”

**Neighbor Correction:** La idea es repetir cálculos requeridos por el algoritmo Simple y SimpleC dentro de la etapa de solución de la ecuación de corrección de presión, después de uno o más loop adicionales, la velocidad satisface la ecuación de continuidad y momentum de mejor forma, el resultado es que el algoritmo tarda un poca más por iteración, sin embargo puede reducir notablemente la cantidad de iteraciones para la convergencia.

**Skewness Correction:** Esta corrección también está disponible en el método SimpleC y permite obtener una solución en mallas altamente oblicuas o no simétricas en el mismo número de iteraciones que una malla más uniforme.

## 3.5 Tensión superficial

Surge como resultado de fuerzas atractivas entre las moléculas en un fluido, por ejemplo; dentro de una burbujas la fuerza neta en una molécula debido a sus vecinos es cero, sin embargo en la superficie la fuerza neta apunta radialmente hacia el interior, debido a que no tiene una molécula sobre ella que contrarreste los efectos atractivos de la molécula por debajo (ver Figura 3.1), y los efectos combinados de estos componentes radiales a través de la superficie esférica ocasiona la contracción de la superficie, este efecto además implica el aumento de la presión en el lado cóncavo de la superficie. La tensión superficial es una fuerza que actúa solo sobre la superficie y es requerida para mantener el equilibrio en estos casos, específicamente actúa balanceando la fuerza radial hacia el interior con el gradiente de presión que apunta radialmente hacia el exterior.

En regiones donde dos fluidos son separados, pero uno de estos no es en la forma de burbujas esféricas, la tensión superficial actúa para minimizar la energía libre por disminución del área de la interface.

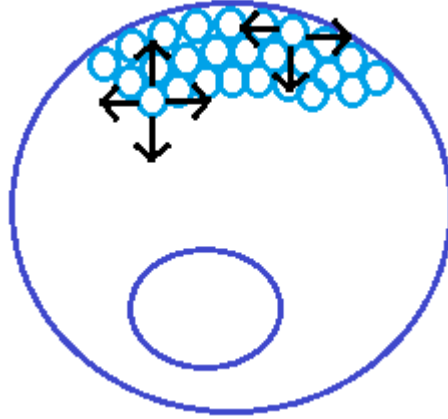


Figura 3.1: Esquema de fuerzas en moléculas de una burbuja

La importancia de la tensión superficial es determinada basada en los valores de dos cantidades adimensionales,  $Re$  y  $Ca$  (número de capilaridad) o  $Re$  y  $We$ .

Si  $Re \ll 1$  interesa  $Ca$

$$Ca = \frac{\mu U}{\sigma} \quad (3.15)$$

Si  $Re \gg 1$  interesa  $We$

$$We = \frac{\rho L U^2}{\sigma} \quad (3.16)$$

$U$ : Es la velocidad de corriente libre

Los efectos de tensión superficial pueden ser despreciados si

$$Ca \gg 1 \quad \text{o} \quad We \gg 1 \quad (3.17)$$

Existen dos modelos de tensión superficial disponibles para el método VOF.

### 3.5.1 Continuum Surface Force Model

Este modelo fue propuesto por Brackbill, y ha sido implementado tal que la suma de la tensión superficial en los cálculos de VOF resultan en un término fuente en la ecuación de momento. Para entender el término fuente considerar el caso especial en que la tensión

superficial es constante a lo largo de la superficie, y solo las fuerzas normales a la interface son consideradas. Puede ser demostrado que la caída de presión a través de la superficie depende del coeficiente de tensión superficial y la curvatura de la superficie medida por 2 radios en dirección ortogonales  $R_1$  y  $R_2$

$$P_2 - P_1 = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.18)$$

Donde  $P_1$  y  $P_2$  son las presiones de los 2 fluidos en cada lado de la interface.

En Fluent se usa donde la curvatura de la superficie es computado de gradientes locales en la superficie normal a la interface. Sea  $n$  la superficie normal, definida como el gradiente de  $\alpha_q$ , la fracción de volumen de la q-ésima fase.

$$n = \nabla \alpha_q \quad (3.19)$$

La curvatura  $k$  es definida en términos de la divergencia de la unidad normal  $\hat{n}$

$$k = \nabla \cdot \hat{n} \quad (3.20)$$

La tensión superficial se puede escribir como el salto de presión a través de la superficie.

La fuerza en la superficie puede ser expresada como una fuerza de volumen usando el teorema de la divergencia. Es esta fuerza de volumen la que es el término fuente el cual es agregado a la ecuación de momentum

$$F_{vol} = \sum_{\text{pares } i,j \text{ tq } i < j} \left( \sigma_{i,j} \frac{(\alpha_i \rho_i k_j \nabla \alpha_j + \alpha_j \rho_j k_i \nabla \alpha_i)}{\frac{1}{2}(\rho_i + \rho_j)} \right) \quad (3.21)$$

Si solo son 2 fases, la ecuación se reduce a

$$F_{vol} = \sigma_{i,j} \frac{\rho k_i \nabla \alpha_i}{\frac{1}{2}(\rho_i + \rho_j)} \quad (3.22)$$

Donde:

$\sigma_{i,j}$ : Es la tensión superficial entre las fases j e i.

$\rho$ : Es la densidad promedio.

$k_i$ : Es la curvatura de la interface referida desde la fase i.

### 3.5.2 Continuum Surface Stress Model

Es una forma alternativa para modelar la tensión superficial en una manera conservativa, a diferencia del modo no conservativo CSF, en este modelo CSS se evita el cálculo explícito de la curvatura y podría ser representado como una variante anisotrópica del modelo de fuerzas capilares basado en esfuerzos superficiales

En CSS el tensor de esfuerzos superficiales debido a la tensión superficial es representado como

$$T = \sigma(I - \hat{n} \otimes \hat{n})|\hat{n}| \quad (3.23)$$

$$\vec{n} = \nabla \alpha \quad (3.24)$$

Donde:

$I$ : Tensor unitario

$\otimes$ : Producto tensor de 2 vectores; la normal original y la normal transformada

$\sigma$ : Coeficiente de tensión superficial

$\alpha$ : Fracción de volumen

$\vec{n}$ : Gradiente de la fracción de volumen

$$T = \sigma \left( |\nabla \alpha| I - \frac{\nabla \alpha \otimes \nabla \alpha}{|\nabla \alpha|} \right) \quad (3.25)$$

La fuerza de tensión superficial es representada como

$$F_{CSS} = \nabla \cdot T \quad (3.26)$$

### 3.5.3 Comparación

La siguiente tabla muestra una rápida comparación entre los dos modelos de tensión superficial

Tabla 3.1: Tabla comparativa de modelos de tensión superficial

CSF	CSS
Forma no conservativa	Forma conservativa
$F_{CSF} = \sigma k \nabla \alpha$	$F_{CSS} = \nabla \cdot \left( \sigma \left(  \nabla \alpha  I - \frac{\nabla \alpha \otimes \nabla \alpha}{ \nabla \alpha } \right) \right)$
Para $\sigma$ variable se requiere modelar un término adicional en dirección tangencial, basado en el gradiente de tensión superficial	No requiere de términos adicionales
Requiere de un cálculo explícito de la curvatura	No requiere un cálculo explícito

### 3.6 Wall Adhesión

Este es un modelo tomado de Brackbill [9], En lugar de imponer esta condición de borde en la pared en sí misma, se asume al fluido tomar un ángulo de contacto con la pared, que luego es usado para ajustar la superficie normal en las celdas cerca de la pared. Esta denominada condición de borde dinámico resulta en el ajuste de la curvatura de la superficie cerca de la pared.

Si  $\theta_w$  es el ángulo de contacto en la pared, entonces la superficie normal en la celda activa siguiente al muro es.

$$\hat{n} = \hat{n}_w \cos \theta_w + \hat{t}_w \sin \theta_w \quad (3.27)$$

Donde  $\hat{n}$  y  $\hat{t}$  son vectores unitario normal y tangente a la pared. La combinación de este ángulo de contacto con la superficie normal de una celda lejos de la pared determina la curvatura local de la superficie, y esta curvatura es usada para ajustar el término de fuerza de cuerpo en el cálculo de tensión superficial.



El ángulo  $\theta_w$  es el ángulo entre la pared y la tangente a la interfaz en el muro medido desde dentro de la fase listada dentro de la primera columna, bajo “Wall adhesión” en la caja de comando correspondiente. En la Figura 4.16 se puede apreciar la caja de comando mencionada antes.

### 3.7 Calidad de malla

Para determinar la calidad de malla existen muchos métodos disponibles en la literatura así como ofrecidos por el software ANSYS, a continuación se presenta el método del determinante.

#### 3.7.1 Determinante 2x2x2 y 3x3x3

##### Determinante 2x2x2

Es la razón entre el determinante más pequeño de la matriz jacobiana, dividido por el mayor determinante de la matriz jacobiana.

En esta opción se encuentra el determinante de cada esquina del hexaedro. El rango por defecto es 0 – 1, un determinante de 1 indica un elemento de malla perfectamente regular, y 0 indica un elemento degenerado en 1 o más bordes, los valores negativos indican elementos invertidos.

##### Determinante 3x3x3

Para elementos hexaédricos, igual que el método determinante 2x2x2 pero agregando los puntos medios de los bordes al cálculo. Los determinantes jacobianos para el hexaedro se calcularán en  $r,s,t = -1, 0, 1$  del sistema natural de coordenadas del elemento (27 posiciones de nodo), a continuación se calcula el máximo absoluto determinante de los 27 determinante (3x3x3), si este está en la posición  $i$  con el máximo valor absoluto del determinante ( $MAX$ ) entonces para cada una de las posiciones  $j$ , excepto  $i$ , se calculará la distancia absoluta del determinante  $j$  al  $i$ , el resultado final será entonces.

$$1 - \frac{\text{maximo de distancias absolutas}}{MAX} \quad (3.28)$$

El rango de este criterio está entre el -1 y 1. El determinante jacobiano es el determinante del operador jacobiano, el cual conecta a las derivadas de las coordenadas naturales ( $r,s,t$ ) con las derivadas de las coordenadas locales ( $x,y,z$ )

$$J = \left( \left( \frac{dx}{dr}, \frac{dy}{dr}, \frac{dz}{dr} \right) \left( \frac{dx}{ds}, \frac{dy}{ds}, \frac{dz}{ds} \right) \left( \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right) \right) \quad (3.29)$$

## 4 Metodología

### 4.1 General

La simulación se implementó tomando en consideración una geometría cilíndrica, con agua en su interior, y un orificio en la parte inferior para la inyección de aire. Las variables del trabajo corresponden al diámetro del orificio inferior, el flujo de aire inyectado.

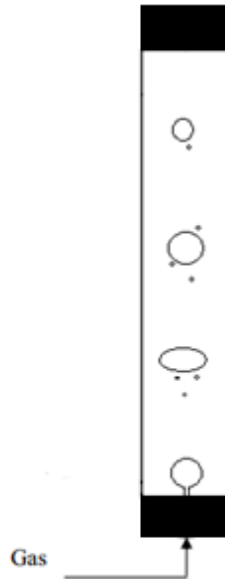


Figura 4.1: Geometría aproximada a utilizar

Para caracterizar el flujo se realizó una simulación 3D con diámetro de inyector y flujo de aire a determinar según resultados posteriores, la simulación 3D pretende acercarse más a la realidad por sobre las típicas simulaciones 2D.

La metodología de trabajo empieza con el estudio preliminar de la teoría sobre flujos bifásicos para establecer así un set de ecuaciones que permitan caracterizar el flujo de burbujas, esto es, forma, volumen, velocidad, y trayectoria, una vez recolectada las ecuaciones que permiten predecir estas variables, se valida su uso comparándose con resultados experimentales de trabajos similares. Si el modelo teórico es aceptable es posible pasar al siguiente paso, en cual se utiliza los datos experimentales y modelos teóricos para encontrar las variables flujo y diámetro del inyector que logran generar burbujas dentro del rango que se desea modelar, esto es burbujas que se acerquen a la forma esférica. Lo siguiente es el estudio de métodos numéricos, CFD y VOF, para trabajar en software y proceder a modelar en primera instancia en un entorno 2D, con el objetivo de encontrar los parámetros adecuados y entender el uso del software, se validará el Seteo de los parámetros del software comparando con los modelos teóricos y datos experimentales. Finalmente se procede de

forma similar para implementar la simulación en un entorno 3D. Todo este proceso se resume en la siguiente imagen.

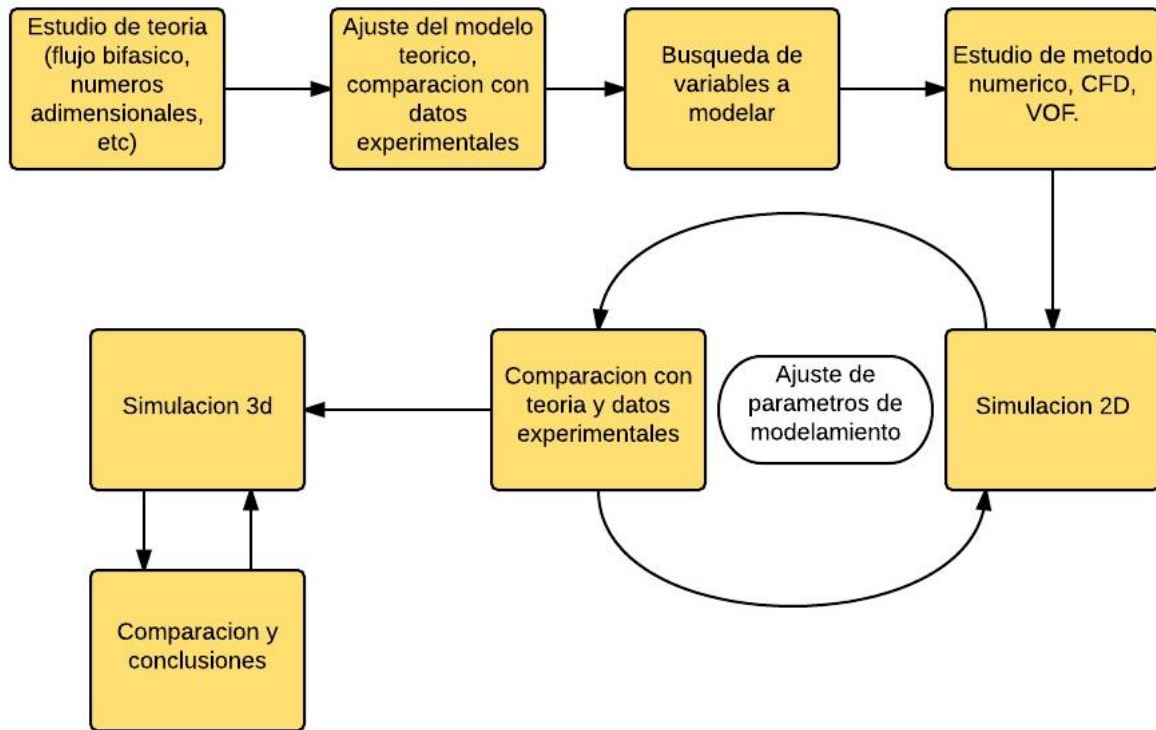


Figura 4.2: Metodología de trabajo

Se consideran como recursos la utilización de un computador dispuesto en las dependencias del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile

## 4.2 Metodología de simulación

Para realizar una simulación en el software Ansys existe una metodología simple que se debe seguir, consiste en:

**Creación de geometría:** Es el primer paso para realizar una simulación, consiste en crear una geometría que va a representar el fluido o material a simular, es decir, si se pretende simular el flujo a través de un perfil aerodinámico, la geometría no debe representar el perfil en sí, sino la porción de fluido a través del perfil. Para la creación de geometría se puede utilizar el módulo disponible en ANSYS “Design Modeler” u otros software CAD como SolidWorks, CATIA, etc.

**Mallado:** Una vez realizada la geometría a modelar, esta se debe discretizar en pequeños elementos, cada uno de los cuales servirá para calcular las ecuaciones de flujo correspondientes y permitir luego obtener un resultado general para el dominio completo.

Para realizar el mallado se puede utilizar el modulo por defecto del software ANSYS “ANSYS Meshing” u otros más especializados como el incluido en el mismo software “ICEM” o uno externo como “Gambit”.

**Configuración:** En esta etapa se procede a la configuración del método a utilizar, los modelos disponibles y las propiedades de los materiales, también se establecen las condiciones de borde y finalmente se ejecuta la simulación como tal.

**Resultados:** Una vez obtenido los resultados, se procede al post-procesamiento de los resultados para así poder visualizar los elementos, propiedades, vectores, etc. que se desee.

La Figura 4.3 muestra en resumen la metodología de la simulación

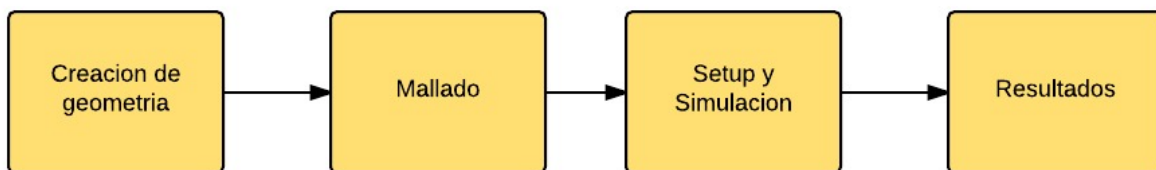


Figura 4.3: Esquema de la metodología de una simulación

### 4.3 Geometría

Con respecto a las dimensiones de la geometría del trabajo, se tienen como referencia los experimentos llevados a cabo por algunos de los autores citados en la bibliografía de este trabajo, en la Tabla 4.1 se muestran los estanques usados por cada autor en su trabajo, el diámetro equivalente de las burbujas generadas y los fluidos involucrados.

A partir de lo observado en la tabla se tiene que en general la dimensión para el ancho del estanque oscilan entre los 150 mm a 250 mm, además varios de estos autores indican en sus trabajos que escogieron como mínimo un ancho de 150 mm para despreciar los efectos de muralla, es por estas razones que para este trabajo se considera un ancho de estanque de 200 mm. Con respecto a la altura del estanque, se observa que estas difieren bastante entre los distintos experimentos expuestos en la tabla, alcanzando los 2000 mm para la mayor altura, y 80 mm en el caso de la menor altura, cabe notar que los experimentos suelen tener estanques con grandes alturas, es por esto que se elige la máxima altura de estanque posible para este trabajo, considerando los limitantes recursos computacionales. Se escoge una altura de 300 mm, similar al experimento de Miyagi [15], es necesario mencionar que esta altura es razonable si se considera la Figura 2.7, en la cual se observa que para las burbujas que se pretenden generar (diámetro equivalente 1 mm a 4 mm), la velocidad corresponde a 250 mm/s a 300 mm/s y más, por lo tanto se espera que la burbuja se tarde alrededor de 1 segundo en alcanzar la superficie libre, siendo esto un tiempo razonable para lograr una buena simulación. Finalmente por efectos de simplicidad de simulación se escoge un estanque cilíndrico por sobre uno cuadrado.

Tabla 4.1: Resumen de configuraciones experimentales de algunas referencias

<b>Trabajo referido</b>	<b>Estanque usado</b>	<b>Fluidos usados</b>	<b>Diámetro equivalente de burbujas generadas [mm]</b>
Wang Hongyi [6]	200 x 200 mm, y 2000 mm de alto, altura de agua de 1300 mm	Aire en agua	0,5 - 5
Haberman y Morton [10]	Estanques cuadrados [mm]: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 914 x 914 x 1524</li> <li>• 304 x 304 x 1066</li> <li>• 152 x 152 x 609</li> </ul>	Agua (fría y caliente), aceite (vegetal y mineral), alcohol y otros.	0,2 - 10
Erik Delnoij [11]	250 x 20 mm, y 2000 mm de alto	Aire en agua	1 - 2
Mariano martin, Francisco J [12]	Estanque cuadrado de 150 x 150 mm, y 200 mm de alto, altura de agua de 80 mm	Aire con fluidos newtoniano y no newtoniano	---
Mingming Wu y Morteza Gharib [13]	Estanque cuadrado de 150 x 150 mm, y 610 mm de alto	Aire en agua	1 - 2
Hassan, Khan y Rasul [14]	Estanques cilíndricos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• D = 125 mm H = 1800 mm</li> <li>• D = 400 mm H = 2000 mm</li> </ul>	Aire en agua, xanthan, cristal, otros	5 - 26
Otogoro Miyagi [15]	Estanque cuadrado de 130 x 130 mm, y 300 mm de alto	Aire en agua	1 - 4

En resumen, como ya se ha mencionado la geometría del trabajo corresponde a un estanque cilíndrico de 100 mm de radio y 350 mm de altura, que contiene una columna de agua de 300

mm. En el centro inferior del cilindro, existe un inyector de diámetro variable por el cual se inyectará aire para la generación de burbujas.

El trabajo consiste en una simulación 3D. Se considera una geometría como la mostrada en la Figura 4.4, en este caso la simulación se hará sobre la geometría deseada completa, sin ningún tipo de simetría y tanto las dimensiones como el diámetro del inyector serán fijas, dado los grandes recursos de tiempo que consume una simulación 3D, el inyector será de diámetro 1 mm.

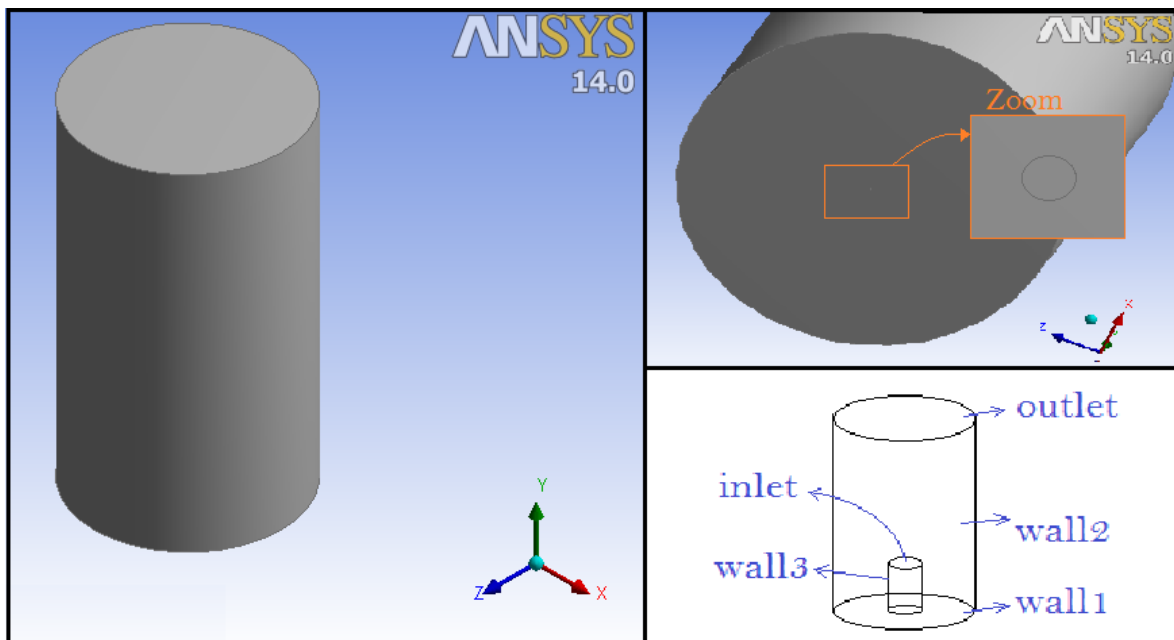


Figura 4.4: Geometría general 3D a simular

En la figura también se puede observar que se ha dado un nombre característico a cada una de las 5 caras que componen la geometría.

#### 4.4 Mallado

Para el mallado en 3D fue necesario utilizar un software más especializado, se utilizó “ICEM” que se encuentra integrado en ANSYS, con este software se logró obtener la malla que se observa en las siguientes figuras.

Como se puede observar, se realizó un refinado hacia el eje del estanque cilíndrico, ya que es esta zona la que tiene mayor interés de análisis, en desmedro de las zonas cercanas a la superficie donde no se aprecia mayor movimiento.

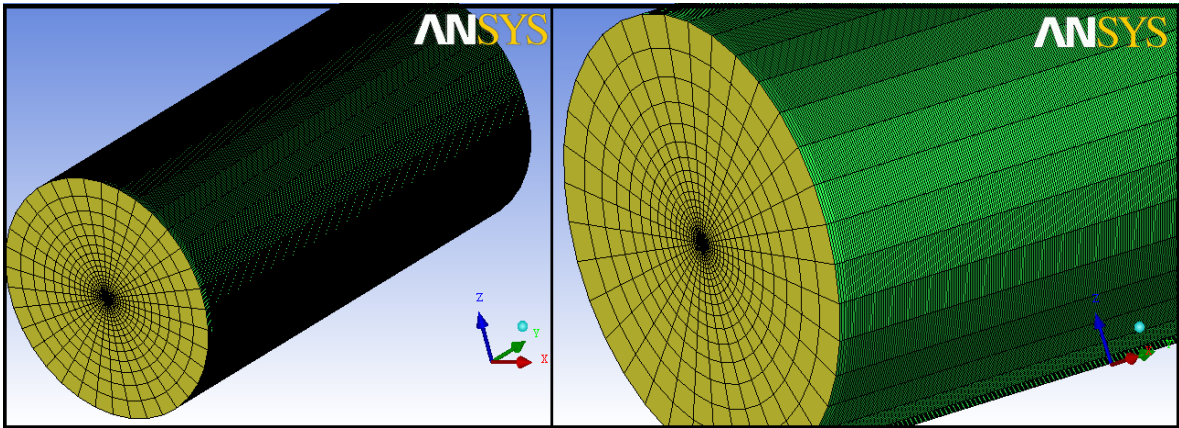


Figura 4.5: Malla general para simulación 3D

Para realizar el mallado se consideraron las 3 medidas que definen la geometría 3D del elemento, es decir ancho, largo y alto. Para el alto del elemento se consideró el alto de la geometría (350 mm) de modo que se determinó para generar 350 elementos en esta dirección.

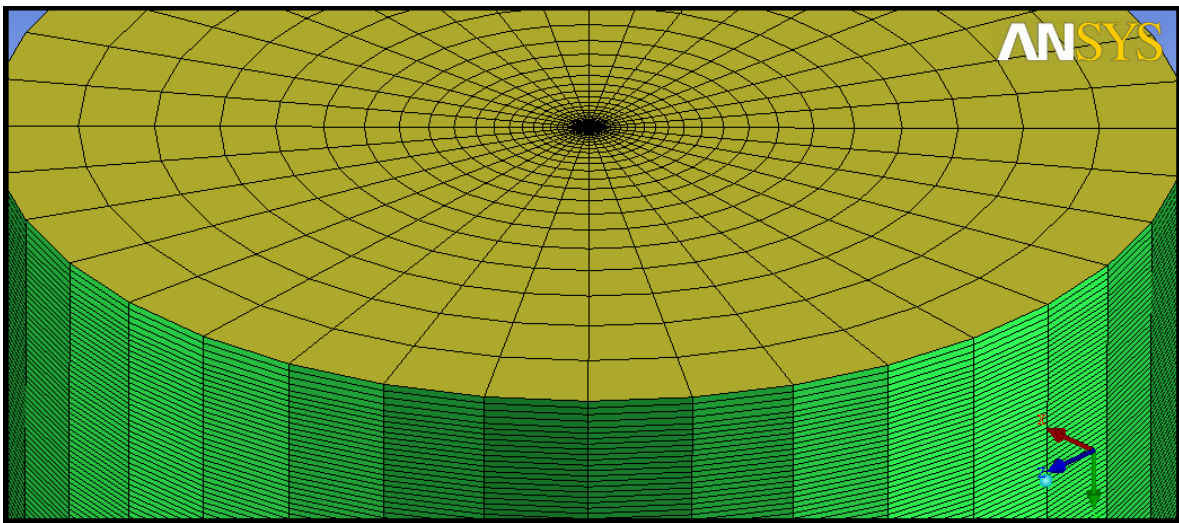


Figura 4.6: Zoom de cara superior de la malla 3D a simular

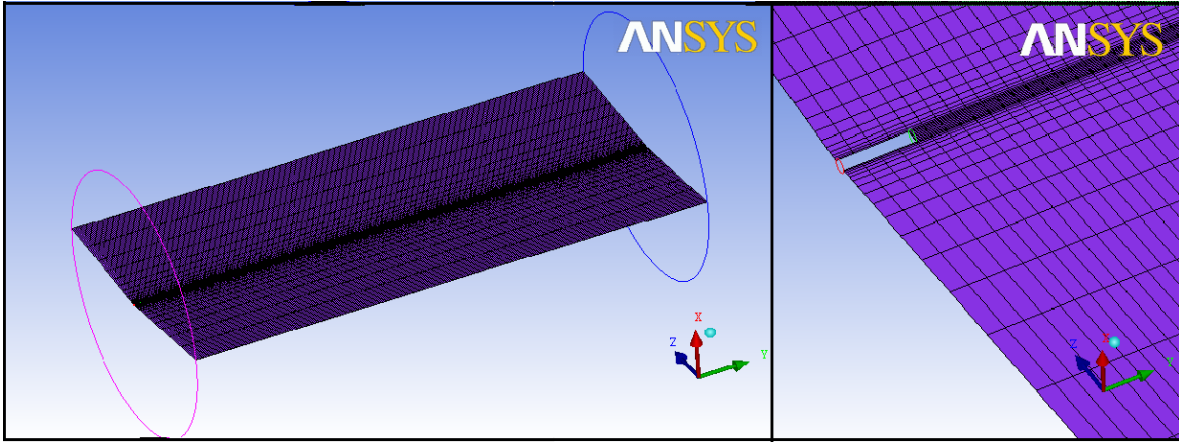


Figura 4.7: Plano transversal de la malla 3D a simular

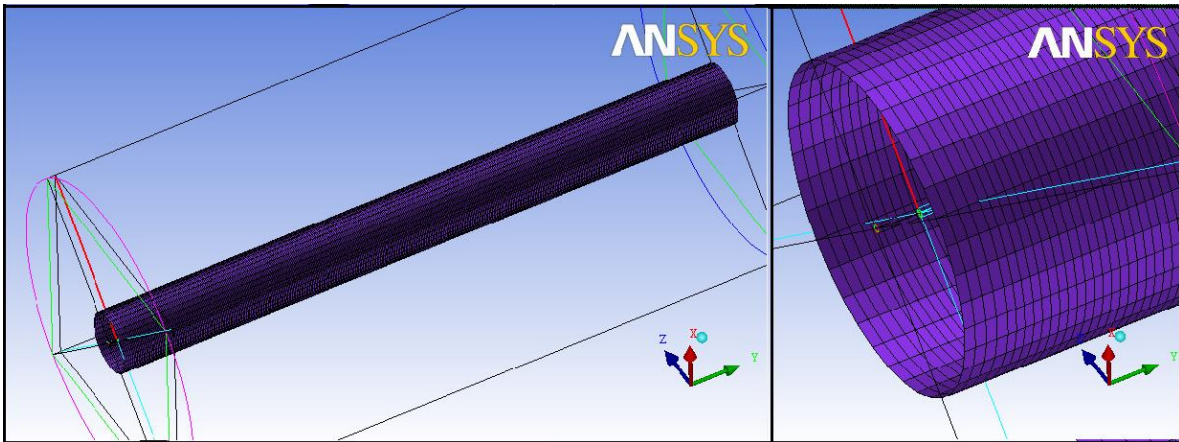


Figura 4.8: Plano cilíndrico de la malla 3D a simular

La dirección tangencial del cilindro se utiliza para determinar el ancho de los elementos, para esto se discretizó el perímetro de la circunferencia mayor de modo de ser separado en 40 elementos de forma uniforme (ver Figura 4.8).

Finalmente la dirección radial del cilindro permite determinar el largo del elemento, para este se consideró que el largo fuera variable disminuyendo hacia el centro del cilindro, de modo de obtener elementos más pequeños en el interior, donde es más interesante captar los efectos de la generación de burbujas. Se consideraron una cantidad de 30 elementos en el radio del cilindro, con largo de elemento variable según una expresión exponencial.



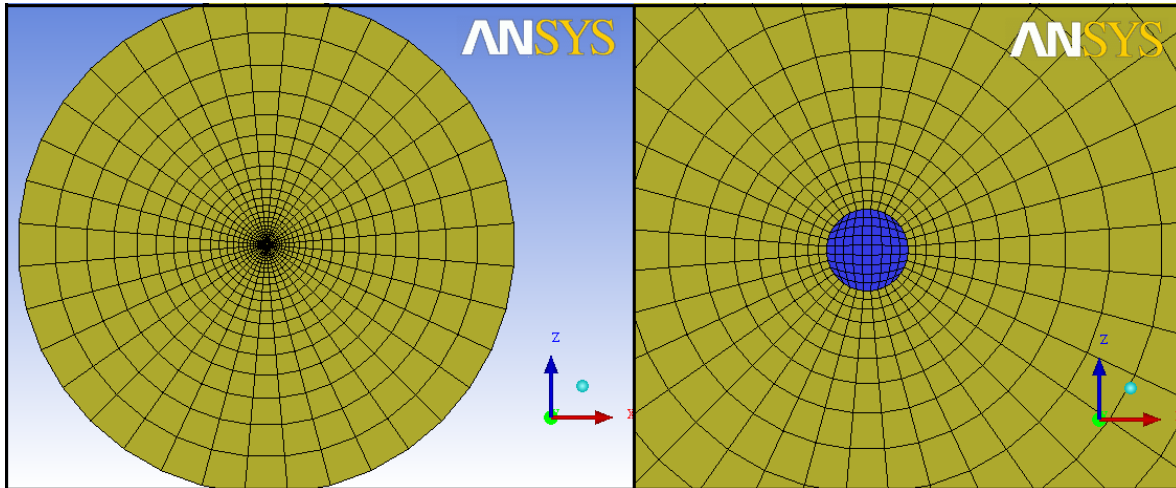


Figura 4.9: Cara inferior de la malla 3D a simular

La malla está compuesta por 456.200 elementos, como método de calidad de malla se utilizó el determinante  $3 \times 3 \times 3$ , para este método se obtiene que menos del 1% de los elementos se encuentran bajo el valor de 0,5. Se considera que una malla es relativamente buena con elementos por sobre 0,2 además cabe notar que la cantidad de elementos que se encuentran en el rango inferior a 0,5 es bastante baja por lo que se puede considerar a la malla de una buena calidad. Cabe destacar que además del método de calidad de malla, se escogió el tamaño del elemento de forma análoga a la malla seleccionada en la simulación 2D, según los resultados obtenidos en la sección 5.2.1. La diferencia recae en el refinado que se realizó hacia el centro del dominio, alcanzando en este sector el mallado idóneo, de esta forma se economiza algunos recursos computacionales, considerando la alta demanda de la simulación 3D.

#### 4.5 Configuración

Una vez realizada la geometría y el mallado se procede a la configuración del método y los modelos para luego seguir con la simulación, al abrir esta sección se iniciara un cuadro que se debe configurar como muestra la Figura 4.11

La opción “Double Precision” será significativa si las pequeñas diferencias relativas son significativas. Por ejemplo:

- Convección natural ( sobre todo en modelos con opción totalmente compresible)
- Mallas con diferencias significativas en tamaños de elementos más grandes con los más pequeños
- Grandes geométricas con pequeñas pero significativas características
- Flujos con grandes variaciones de presión, velocidad, temperatura, etc.

Y la opción de “Number of Processes” indica cuantos procesos paralelos se van a realizar, mientras más sean, significa mayor ahorro de tiempo, sin embargo este número se limita por la cantidad de procesadores o núcleos de este.

Una vez dentro de la interfaz habitual de Fluent, lo primero es configurar la sección “general”, el resultado es como se muestra en la siguiente figura.

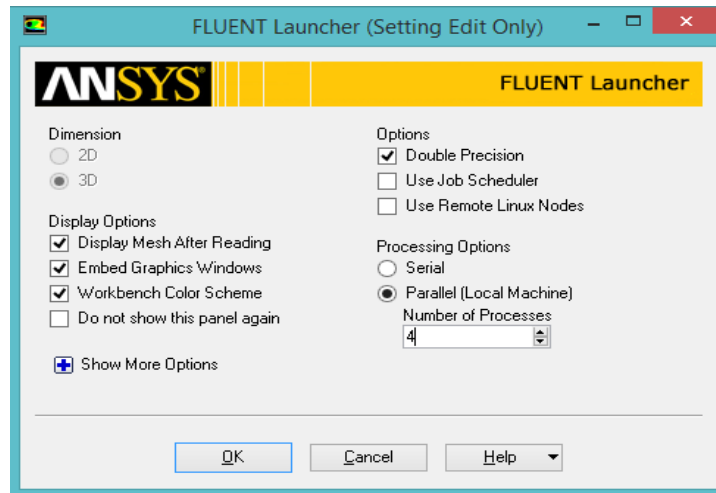


Figura 4.10: Caja inicio de ejecución del software Fluent

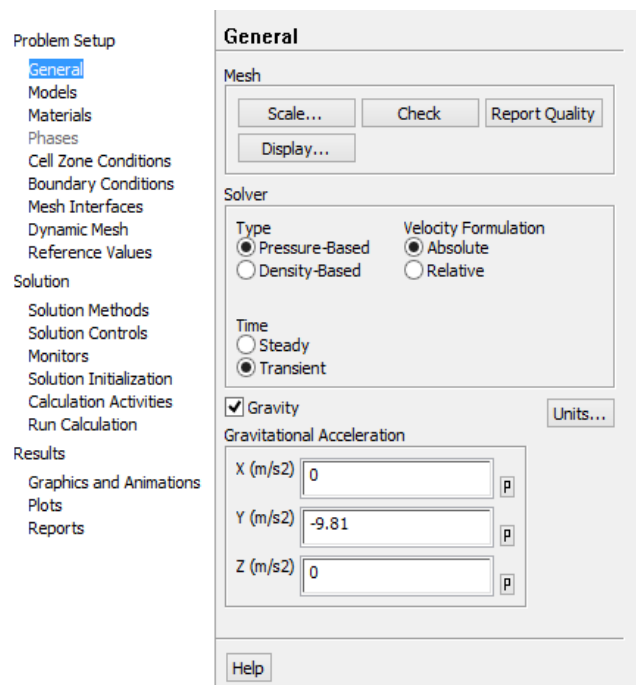


Figura 4.11: Configuración de la sección "general"

Se debe usar el solver de tipo “Pressure Based” puesto que es el único que permite usar luego el método VOF, se considera un análisis transiente, gravedad de  $-9,81 \text{ m/s}^2$ .

En la sección “models” se debe seleccionar los modelos a usar, se escoge “multiphase” y luego el método “Volume of Fluid” (VOF). La ventana correspondiente a este método se configura como muestra la siguiente figura.

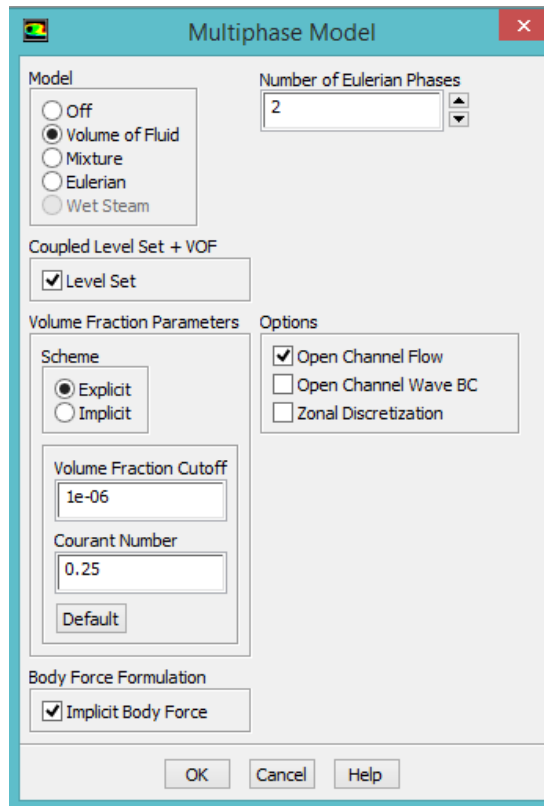


Figura 4.12: Configuración del método VOF

El número de fases que se simularán, serán 2 (agua y aire)

El método Level Set es popular para el rastreo de interface de topologías complejas, en esta la interfaz es rastreada y capturada por funciones Level Set definida por una distancia desde la interfaz. Como esta función es suave y continua los gradientes espaciales pueden ser calculados con precisión, esta cualidad lo hace un método preciso para calcular curvatura y fuerzas de tensión superficial, aunque tiene problemas con la conservación de volumen. Por otro lado el método de VOF es básicamente conservación de volumen, en este caso se computa la fracción de volumen, claramente la debilidad de VOF recae en las derivadas espaciales, ya que la función fracción de volumen es discontinua a través de la interface. Fluent ofrece la posibilidad de combinar ambos métodos con el objetivo de cubrir las limitaciones de cada uno.

Con el uso del método Level Set, se recomienda el uso de Geo-Reconstruct.

Luego se selecciona la condición de “Open Channel Flow” el cual permite incorporar los efectos de una superficie libre entre el fluido general y otro más arriba, generalmente atmosfera. Al escoger esta condición, el software por defecto cambiara al método implícito, pero esto debe ser cambiado al método explícito, la diferencia entre explícito e implícito, es que en el primer caso, se activa el uso de Plic (Geo-Reconstruct) para fracción de volumen. El método Plic (piecewise linear interface construction) es el mejor método disponible en Fluent para la reconstrucción de la interface. VOF explícito es recomendable para modelar interface

El valor de “Volume Fraction cutoff” corresponde al valor mínimo que debe alcanzar la fracción de volumen para ser considerado con un valor de cero, es decir, por debajo de este valor se considera la fracción de volumen como cero.

El número de Courant corresponde al máximo valor del número de Courant permitido cerca de la superficie libre.

Cuando grandes fuerzas de cuerpo (por ejemplo gravedad y tensión superficial) existen en el flujo multifase, los términos de fuerzas de cuerpo y gradientes de presión en la ecuación de momento están casi en equilibrio en comparación con la contribución de pequeños términos viscosos y convectivos. Algoritmos segregados convergen pobremente a menos que se tome en cuenta un equilibrio parcial entre las fuerzas de cuerpo y gradientes de presión. ANSYS posee un tratamiento opcional “Implicit Body Force” que puede dar cuenta de este efecto haciendo la solución más robusta. El procedimiento básico consiste en aumentar la corrección de la ecuación para la razón de flujo de cara, agregando un término adicional que implica corrección a las fuerzas de cuerpo, permitiendo de esta manera que el flujo consiga un campo de presiones muy realista muy temprano en el proceso iterativo.

Lo siguiente es determinar los materiales a usar, el software considera por defecto el aire, pero se debe agregar el agua, para esto se debe ir a la sección “Materials”, y seleccionar Edit, luego “FLUENT Database” y finalmente buscar y copiar el agua líquida. Cuando se ha agregado el agua se tiene que definir las fases, esto se debe hacer en la sección “Phases”, como fue recomendado antes, se escogerá el aire como la primera fase y el agua como la segunda, además se debe agregar efectos de tensión superficial y otros, para ello, en la misma sección de “Phases” se debe clicar en “interaction..” y luego la ventana se debe configurar como muestra la Figura 4.13

En la sección de “Boundary Conditions” se configuran las condiciones de bordes, la primera condición corresponde a la inyección de aire, para esto se selecciona el sector que corresponde a la cara por donde se inyecta aire, “inlet”, se debe asegurar que en el cuadro “phases” esté seleccionado “mixture” y la condición debe ser de tipo “velocity-inlet”, luego haciendo click en “edit” se debe proceder con la configuración, la cual es como muestra la Figura 4.14

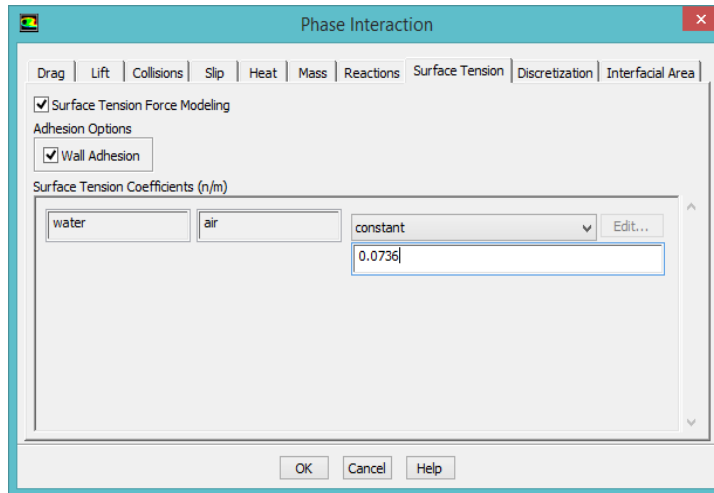


Figura 4.13: Configuración de la tensión superficial

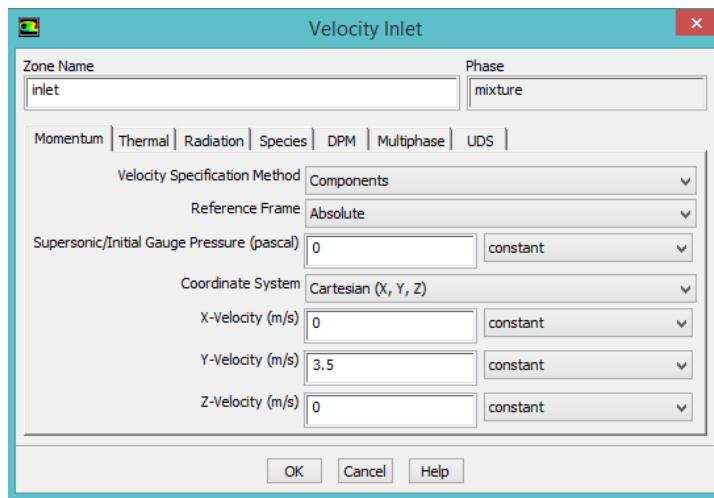


Figura 4.14: Configuración de condición de borde de entrada de flujo

La velocidad de inyección del aire se determina según resultados posteriores, y esta corresponde a 3,5 m/s.

La siguiente condición corresponde a una condición de salida, se usará la condición de tipo “Pressure Outlet” y esta se debe configurar en el cara “outlet”, el resultado debe ser el mostrado en la Figura 4.15

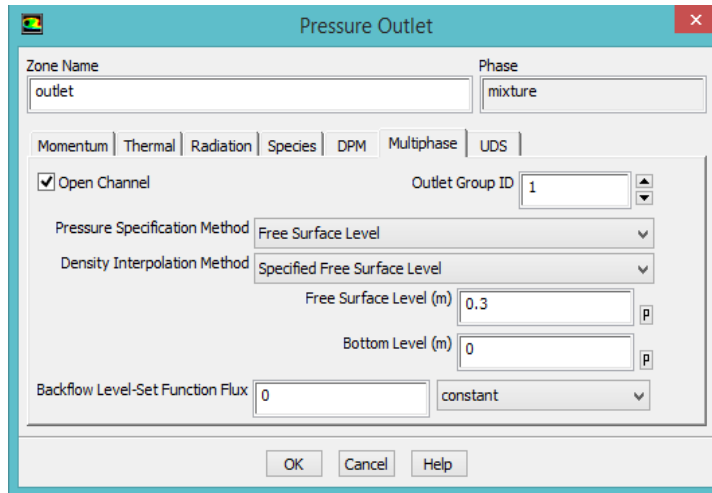


Figura 4.15: Configuración de borde de salida de flujo

Notar que se debe especificar la altura de la superficie libre, como se mencionó antes, corresponde a 300 mm.

Finalmente para todos los sectores definidos como “WallX” se debe configurar una condición de borde de tipo “Wall” de modo que se vea tal como la Figura 4.16

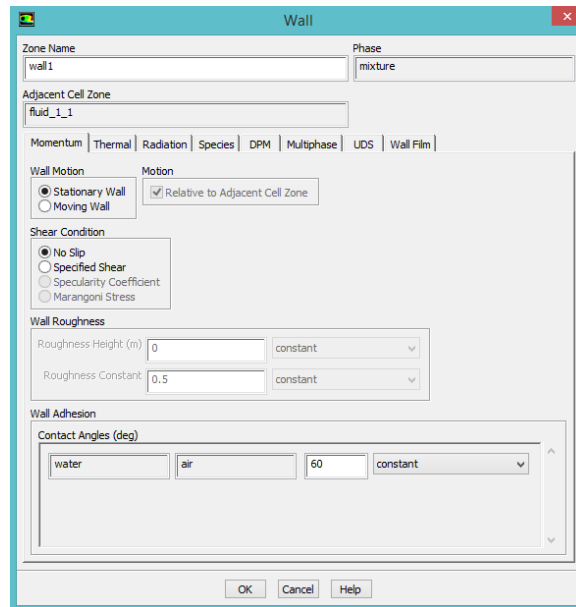


Figura 4.16: Configuración de condición de borde en los muros

Como se observa se considera un ángulo de contacto de 60° para todos los sectores.

Una vez terminado se procede a la sección “Solution Methods” y se configura como muestra la Figura 4.17.

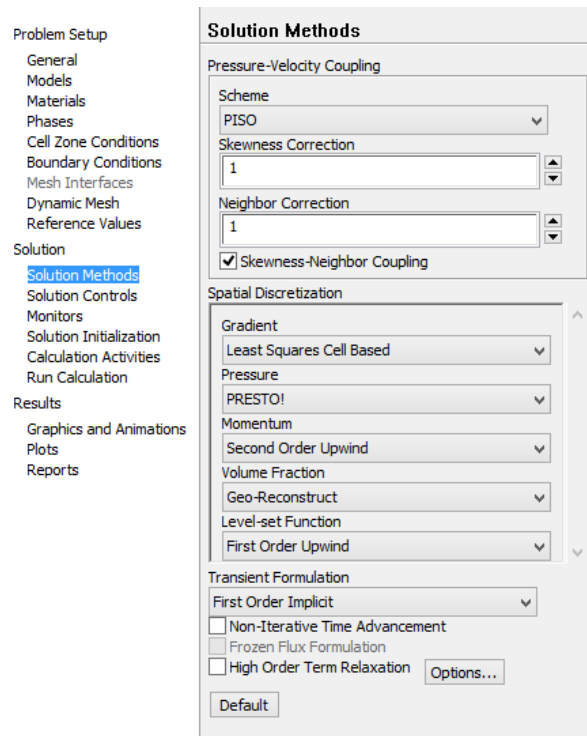


Figura 4.17: Configuración de los métodos de solución a usar

Finalmente antes de empezar la simulación, luego de parchar el dominio de trabajo e inicializar se considera un TimeStep variable, esto es en la sección “Run Calculation” y se debe configurar como muestra la Figura 4.18

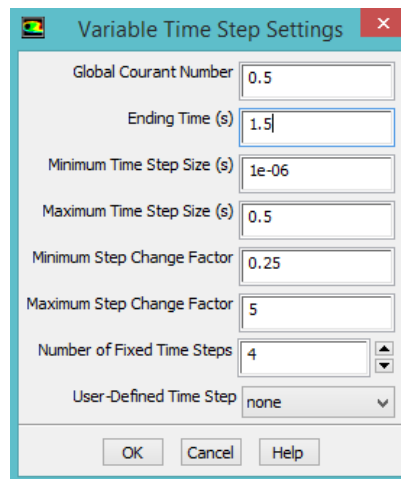


Figura 4.18: Configuración de parámetros de TimeStep variable

## **4.6 Resultados**

Finalmente se procede a utilizar el módulo de post procesamiento de ANSYS para encontrar las propiedades y variables de interés, que corresponden a la velocidad terminal de las burbujas el volumen de la burbuja, la forma y la trayectoria. Los resultados son expuestos en el capítulo correspondiente.



## 5 Resultados

### 5.1 Resultados de comparación respecto a modelos teóricos y experimentos

Utilizando los valores mostrados en la Tabla 2.3 y la ecuación para el volumen de burbuja de Ramakrishna [2] mostrada en este trabajo, se construye la Tabla 5.1 en la cual para cada caudal y diámetro de orificio se calcula el error porcentual de los resultados obtenidos mediante las ecuaciones de Ramakrishna, con respecto a los datos experimentales. Se tiene entonces que, para un caudal de  $1 \text{ mm}^3/\text{s}$  y un diámetro de inyector de  $3,92 \text{ mm}$ , existe un error de  $7,83\%$  entre el valor obtenido según los datos experimentales del trabajo de Wang Hongyi [6], y el valor calculado usando el modelo de Ramakrishna.

*Tabla 5.1: Tabla de errores porcentuales en la predicción del volumen de burbuja con respecto a los datos experimentales de Wang Hongyi [6]*

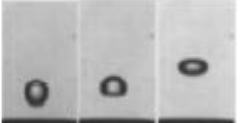
<b>Caudal [mm<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Do = 3,92 mm</b>	<b>Do = 2,98 mm</b>	<b>Do = 2,07 mm</b>	<b>Do = 1,81 mm</b>
<b>0,01</b>	4,58	3,89	10,42	13,82
<b>0,1</b>	6,17	5,99	10,41	13,80
<b>1</b>	7,83	8,17	10,40	9,84
<b>10</b>	8,68	10,43	8,74	7,96
<b>100</b>	10,30	12,63	6,86	2,42
<b>1000</b>	21,51	29,35	35,11	41,03
<b>3162</b>	69,11	48,05	43,10	33,36

De la Tabla 5.1 se puede observar que para bajos caudales, en general caudales menores a  $10 \text{ mm}^3/\text{s}$  se tienen errores relativamente aceptables.

Usando los modelos teóricos presentados en el capítulo 2, se realiza la Tabla 5.2 que permite comparar la teoría utilizada con un caso experimental llevado a cabo por Wang Hongyi [6]. En la Tabla 5.2 se muestran los valores obtenidos experimentalmente para una burbuja generada con un caudal de  $0,089 \text{ mm}^3/\text{s}$  y un diámetro de orificio de  $3,92 \text{ mm}$ , y se compara con los valores calculados usando los modelos teóricos presentados antes.

Se puede observar que existe una muy buena aproximación en lo que es el volumen y diámetro equivalente de la burbuja, pero no así con el número de Reynolds, el cual difiere enormemente, esto se puede atribuir a algún error en los datos presentados por el autor, o que el número de Reynolds presentado haya sido calculado relativo a algún otro parámetro, puesto que el valor calculado para el número de Reynolds (1388), corresponde al número de Reynolds de la burbuja, y que para un número de Reynolds tan bajo como el expuesto (89), la burbuja debería tener una velocidad absurdamente lenta, lo cual no se observa en el trabajo de Wang Hongyi, que muestra gráficas de velocidad de las burbujas por sobre  $0,2 \text{ m/s}$ .

Tabla 5.2: Tabla comparativa para una burbuja formada con un flujo de 0,089 mm<sup>3</sup>/s y diámetro de orificio de 3,92 mm

Variable	Valor experimental	Valor Calculado
Volumen [mm <sup>3</sup> ]	88,000	92,600
Diámetro equivalente [mm]	5,519	5,613
Velocidad terminal [m/s]	-	0,249
Número de Eo	-	4,180
Log (M)	-	-10,590
Número de Re	89,000	1388,210
Forma		Wobble-Elipsoidal

Referencia: Wang Hongyi [6]

A continuación se presentan los resultados teóricos obtenidos para distintos diámetros de orificio, considerando con cada diámetro de orificio los siguientes flujos de aire, 5 mm<sup>3</sup>/s, 50 mm<sup>3</sup>/s, 800 mm<sup>3</sup>/s y 3.000 mm<sup>3</sup>/s.

Como se ha indicado antes, por efecto de la ecuación para determinar el volumen de la burbuja, existen en general 2 soluciones, por lo tanto para cada diámetro de orificio existen 2 tablas, que muestran las dos posibilidades de volumen de burbuja, a continuación se presentarán ambos resultados para así descartar los que no tengan un significado físico o que evolucionan de forma discordante con lo esperado. La Tabla 5.3 y la Tabla 5.4 muestran los resultados para burbujas formadas con un diámetro de orificio de 0,5 mm.

Tabla 5.3: Cálculos para burbuja formada con un diámetro de orificio de 0,5 mm, primer caso

Q [mm <sup>3</sup> /s]	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	Radio [mm]	Velocidad terminal [m/s]	Eo	Re	Clasificación
5	14,0	1,5	0,212	1,2	631,1	wobbling
50	23,9	1,8	0,233	1,7	827,2	wobbling
800	42,6	2,2	0,244	2,5	1051,7	wobbling
3.000	85,9	2,7	0,249	3,9	1354,4	wobbling

Tabla 5.4: Cálculos para burbuja formada con un diámetro de orificio de 0,5 mm, segundo caso

<b>Q</b> [mm <sup>3</sup> /s]	<b>Volumen</b> [mm <sup>3</sup> ]	<b>Radio</b> [mm]	<b>Velocidad terminal</b> [m/s]	<b>Eo</b>	<b>Re</b>	<b>Clasificación</b>
5	11,8	1,4	0,203	1,1	569,9	spherical-wobbling
50	11,7	1,4	0,203	1,1	567,2	spherical-wobbling
800	3,4	0,9	0,128	0,5	237,9	spherical
3.000	-38,9	-	-	-	-	-

Se puede observar que en la Tabla 5.4 se obtienen algunos resultados absurdos, además que existe un resultado con volumen negativo. A continuación, la Tabla 5.5 y la Tabla 5.6 muestran los resultados para burbujas formadas con un diámetro de orificio de 1 mm.

Tabla 5.5: Cálculos para burbuja formada con un diámetro de orificio de 1 mm, primer caso

<b>Q</b> [mm <sup>3</sup> /s]	<b>Volumen</b> [mm <sup>3</sup> ]	<b>Radio</b> [mm]	<b>Velocidad terminal</b> [m/s]	<b>Eo</b>	<b>Re</b>	<b>Clasificación</b>
5	27,19	1,86	0,236	1,8	876,1	wobbling
50	44,95	2,20	0,245	2,5	1073,1	wobbling
800	74,06	2,60	0,248	3,6	1285,7	wobbling
3.000	118,43	3,04	0,250	4,9	1514,9	wobbling

Tabla 5.6: Cálculos para burbuja formada con un diámetro de orificio de 1 mm, segundo caso

<b>Q</b> [mm <sup>3</sup> /s]	<b>Volumen</b> [mm <sup>3</sup> ]	<b>Radio</b> [mm]	<b>Velocidad terminal</b> [m/s]	<b>Eo</b>	<b>Re</b>	<b>Clasificación</b>
5	23,6	1,8	0,233	1,7	821,7	wobbling
50	23,5	1,8	0,233	1,7	820,6	wobbling
800	17,1	1,6	0,221	1,4	702,6	wobbling
3.000	-24,7	-	-	-	-	-

Nuevamente se observa en este caso que en la Tabla 5.6 existe un volumen negativo que es físicamente imposible. A continuación, la Tabla 5.7 y Tabla 5.8 muestran los resultados para burbujas formadas con un diámetro de orificio de 2 mm.

Tabla 5.7: Cálculos para burbuja formada con un diámetro de orificio de 2 mm, primer caso

<b>Q</b> [mm <sup>3</sup> /s]	<b>Volumen</b> [mm <sup>3</sup> ]	<b>Radio</b> [mm]	<b>Velocidad terminal</b> [m/s]	<b>Eo</b>	<b>Re</b>	<b>Clasificación</b>
5	52,9	2,3	0,246	2,9	1140,6	wobbling
50	84,5	2,7	0,249	3,9	1346,4	wobbling
800	137,9	3,2	0,251	5,5	1598,5	wobbling
3.000	181,9	3,5	0,253	6,6	1763,7	wobbling

Tabla 5.8: Cálculos para burbuja formada con un diámetro de orificio de 2 mm, segundo caso

<b>Q</b> [mm <sup>3</sup> /s]	<b>Volumen</b> [mm <sup>3</sup> ]	<b>Radio</b> [mm]	<b>Velocidad terminal</b> [m/s]	<b>Eo</b>	<b>Re</b>	<b>Clasificación</b>
5	47,2	2,2	0,245	2,7	1092,7	wobbling
50	47,1	2,2	0,245	2,7	1092,3	wobbling
800	42,6	2,2	0,244	2,5	1051,6	wobbling
3.000	4,9	1,1	0,151	0,6	318,3	spherical

Se puede observar que en la tabla Tabla 5.8 existe un resultado que clasifica a la burbuja como esférica, lo cual no es esperable en este caso. A continuación, la Tabla 5.9 y la Tabla 5.10 muestran los resultados para burbujas formadas con un diámetro de orificio de 4 mm.

Tabla 5.9: Cálculos para burbuja formada con un diámetro de orificio de 4 mm, primer caso

<b>Q</b> [mm <sup>3</sup> /s]	<b>Volumen</b> [mm <sup>3</sup> ]	<b>Radio</b> [mm]	<b>Velocidad terminal</b> [m/s]	<b>Eo</b>	<b>Re</b>	<b>Clasificación</b>
5	103,7	2,9	0,250	4,5	1446,1	wobbling
50	158,7	3,4	0,252	6,0	1679,8	wobbling
800	265,9	3,9	0,256	8,5	2027,0	wobbling
3.000	310,7	4,2	0,258	9,4	2149,3	wobbling

Tabla 5.10: Cálculos para burbuja formada con un diámetro de orificio de 4 mm, segundo caso

Q [mm <sup>3</sup> /s]	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	Radio [mm]	Velocidad terminal [m/s]	Eo	Re	Clasificación
5	94,4	2,8	0,249	4,2	1399,4	wobbling
50	94,3	2,8	0,249	4,2	1399,2	wobbling
800	91,3	2,8	0,249	4,2	1383,4	wobbling
3.000	61,3	2,4	0,248	3,2	1202,2	wobbling

## 5.2 Simulaciones 2D

### 5.2.1 Variación de malla

Como paso previo a las simulaciones, es necesario encontrar una malla correcta y efectiva que permita la convergencia del problema, por lo tanto para realizar esto se simuló el mismo problema con 3 niveles de mallas diferentes. El problema simulado corresponde a burbujas de aire generadas por un diámetro de boquilla de 1 mm, con una velocidad de entrada de aire de 3,5 m/s. Las mallas utilizadas para este estudio corresponden a mallas uniformes compuestas solo por elementos cuadrados, en las cantidades de a) 100 x 300, b) 200 x 450 y c) 300 x 600. En primera instancia se puede observar en la Figura 5.1 una comparación de la forma que desarrolló la primera burbuja generada.

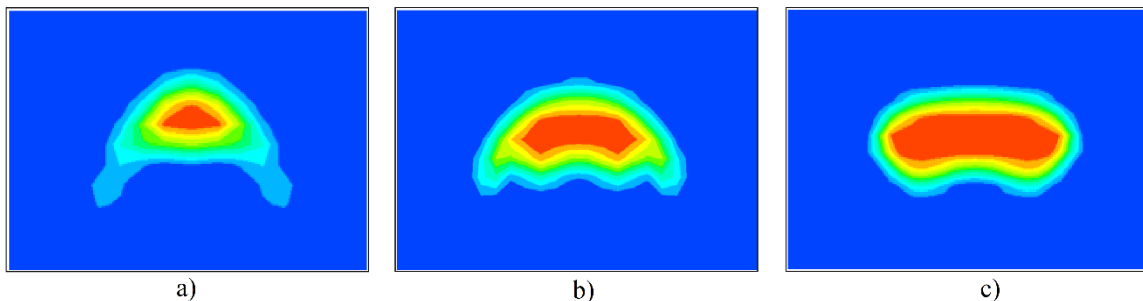


Figura 5.1: Forma de la primera burbuja en 330 [ms] para las mallas: a) 100 x 300, b) 200 x 450 y c) 300 x 600

Con respecto al volumen de las burbujas obtenidas, estas se pueden observar en la Tabla 5.11, cabe mencionar que para las condiciones de esta simulación según las expresiones expuestas en los antecedentes, se espera un radio equivalente de 3,0 mm, por lo tanto los resultados obtenidos para cada simulación se asemeja bastante a lo esperado.

Tabla 5.11: Volúmenes y radio equivalente promedios para cada simulación

<b>Malla</b>	<b>Volumen [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>Radio equivalente [mm]</b>
50 x 200	104,4 ± 9,8	2,88 ± 0,08
100 x 350	108,4 ± 6,3	2,95 ± 0,05
150 x 450	111,2 ± 6,1	2,97 ± 0,05
<b>Promedio</b>	108 ± 7,4	2,93 ± 0,06

En las Figura 5.2 a la Figura 5.4 se pueden observar tres instantes de tiempo para cada una de las simulaciones referentes a la influencia de malla. Se observa en las figuras que a medida que aumenta el número de elementos de la malla, la definición de las burbujas es mejor y la forma se aproxima a “Elipsoidal” o “Spherical Cap”. También se observa que existe una pequeña diferencia en la evolución de la simulación, posiblemente referente a la mejor definición cuando se usan más elementos, provocando que burbujas que antes no existían, si existan, o que los movimientos sean mejor capturados.

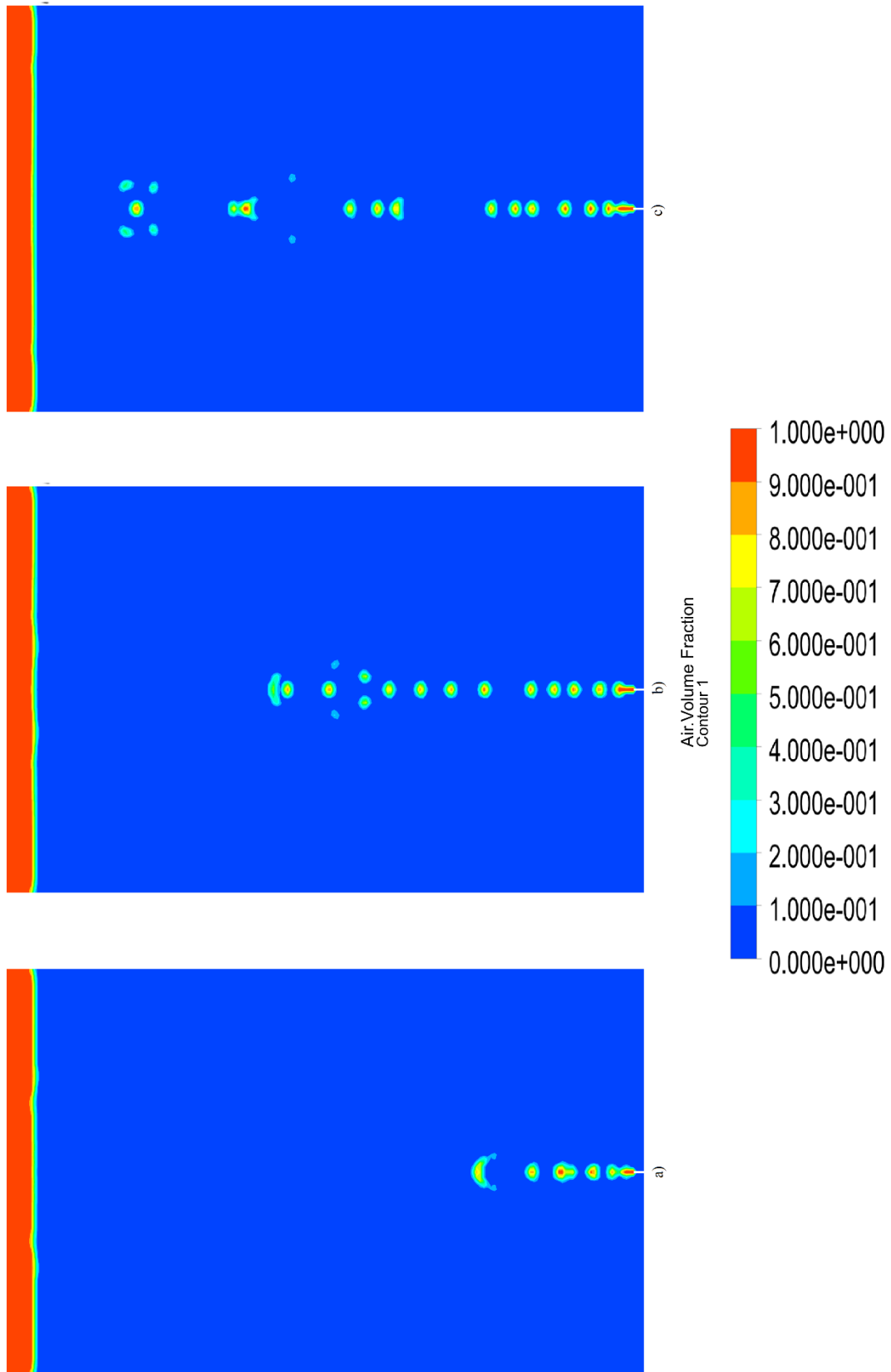


Figura 5.2: Simulación de la malla 100 x 300 para los instantes: a) 330 [ms], b) 705 [ms] y c) 950 [ms].

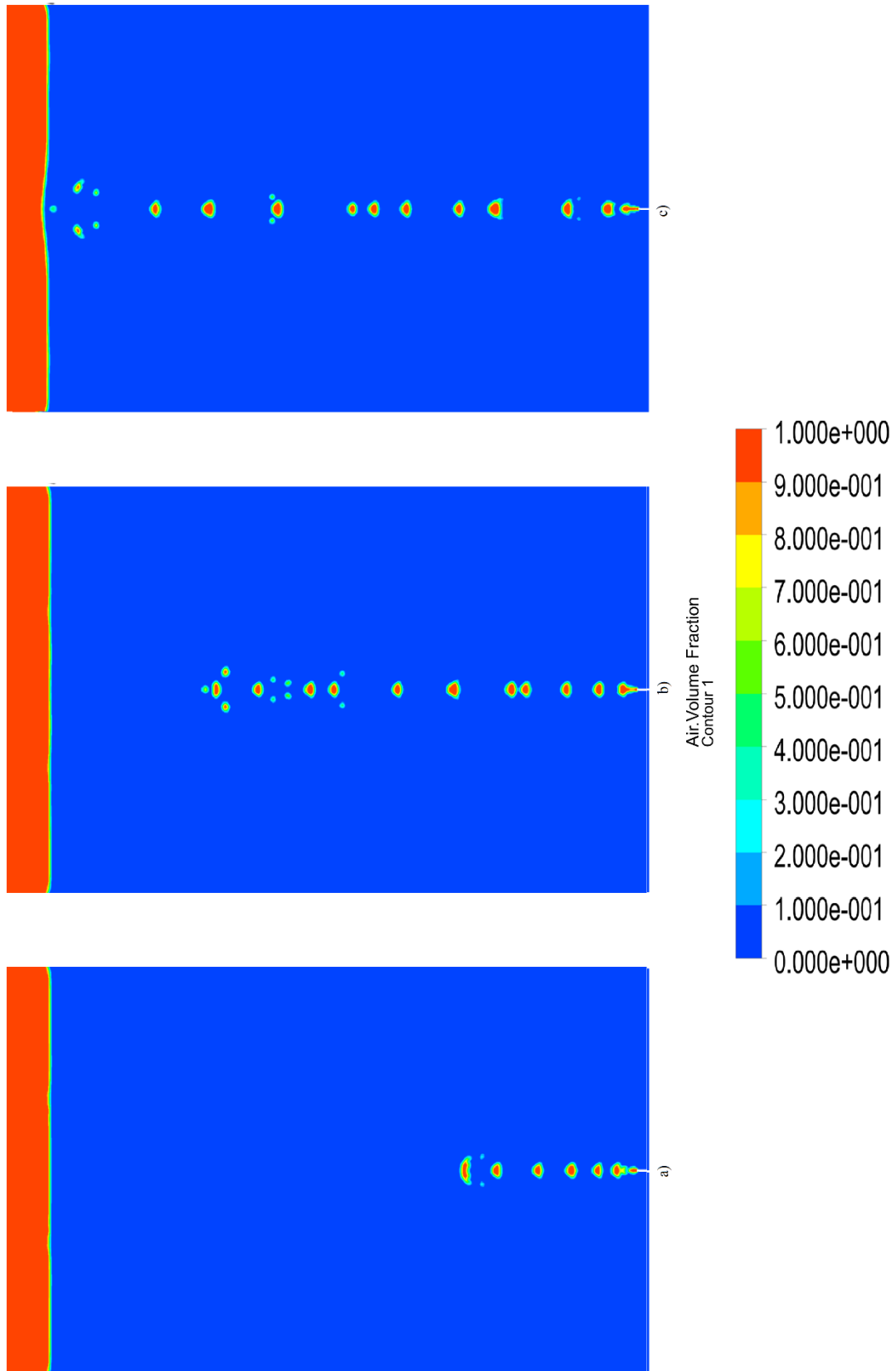


Figura 5.3: Simulación de la malla 200 x 450 para los instantes: a) 330 [ms], b) 705 [ms] y c) 950 [ms].



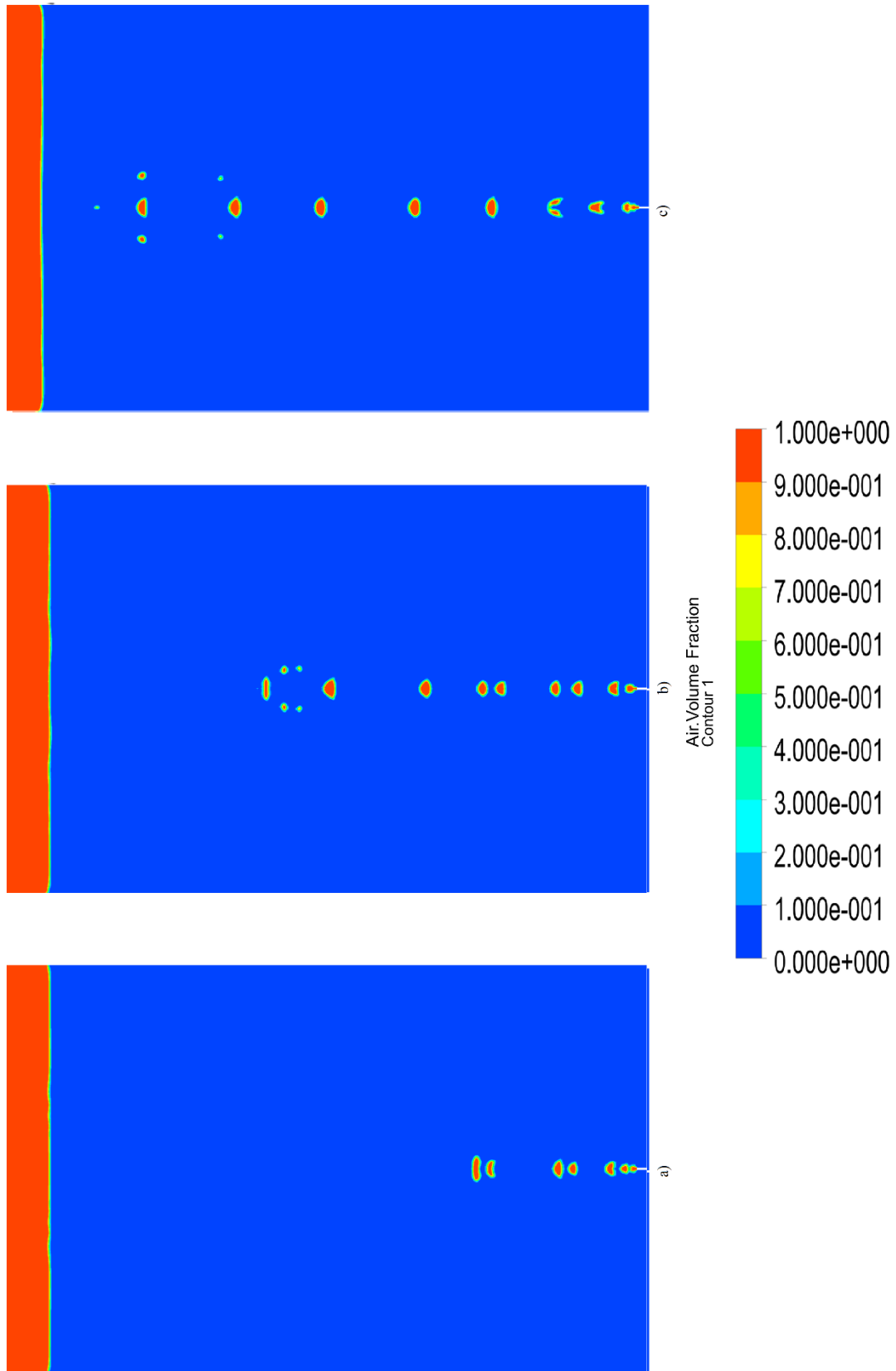


Figura 5.4: Simulación de la malla 300 x 600 para los instantes: a) 330 [ms], b) 705 [ms] y c) 950 [ms].

La Tabla 5.12 muestra el periodo de formación promedio que se obtuvo en las simulaciones de estudio, se aprecia que el periodo de formación es bastante pequeño y similar entre las simulaciones, al final de la tabla se puede observar la frecuencia promedio de formación de burbujas en [Hz].

*Tabla 5.12: Tiempos de formación promedio de cada una de las simulaciones*

<b>Malla</b>	<b>Periodos [ms]</b>
100 x 300	$38,0 \pm 3,5$
200 x 450	$39,5 \pm 2,3$
300 x 600	$40,5 \pm 2,2$
<b>Promedio</b>	$39,3 \pm 2,6$
<b>Frecuencia de desprendimiento promedio</b>	$25,4 \pm 0,0$

Con respecto a la velocidad, en la Tabla 5.13 se encuentran las velocidades de ascenso promedio para cada una de las simulaciones, notar que no existe una relación lineal entre la velocidad de la burbuja y el refinado de malla, eso si la variación encontrada es en una pequeña cantidad, de modo tal que la velocidad promedio en las tres simulaciones son bastante parecidas. Según las relaciones mostradas en la sección 2.5 se espera una velocidad de burbuja de 0,25 m/s, valor que es inferior a la velocidad de burbuja promedio obtenida en las simulaciones. En la Figura 5.5 se puede observar cómo evoluciona la velocidad promedio de las burbujas en cada una de las simulaciones, se tiene que luego de 400 [ms] las burbujas alcanzan su velocidad terminal.

*Tabla 5.13: Velocidad promedio de ascenso de cada simulación*

<b>Malla</b>	<b>Velocidad [m/s]</b>
100 x 300	$0,359 \pm 0,025$
200 x 450	$0,381 \pm 0,018$
300 x 600	$0,330 \pm 0,021$
<b>Promedio</b>	$0,356 \pm 0,021$

Es sabido que se puede caracterizar la burbuja por medio de números adimensionales como el número de Eotvos ( $Eo$ ) y Reynolds ( $Re$ ), los cuales se encuentran tabulados en la Tabla 5.14 para cada una de las simulaciones en estudio. Además se observa en la tabla la calificación de la forma de la burbuja generada según lo observado, la forma que se puede predecir usando la Figura 2.1 corresponde a “wobbling”, sin embargo en cada una de las mallas simuladas la forma obtenida se puede asociar en mejor medida con la “Spherical Cap”.

Tabla 5.14: Caracterización de las burbujas obtenidas en cada simulación

Malla	$Eo$	$Re$	Forma observada
100 x 300	$4,5 \pm 0,2$	$4142 \pm 264$	Spherical - Cap
200 x 450	$4,6 \pm 0,1$	$4420 \pm 171$	Spherical - Cap
300 x 600	$4,7 \pm 0,1$	$3926 \pm 251$	Spherical - Cap
<b>Promedio</b>	$4,6 \pm 0,1$	$4162 \pm 228$	-

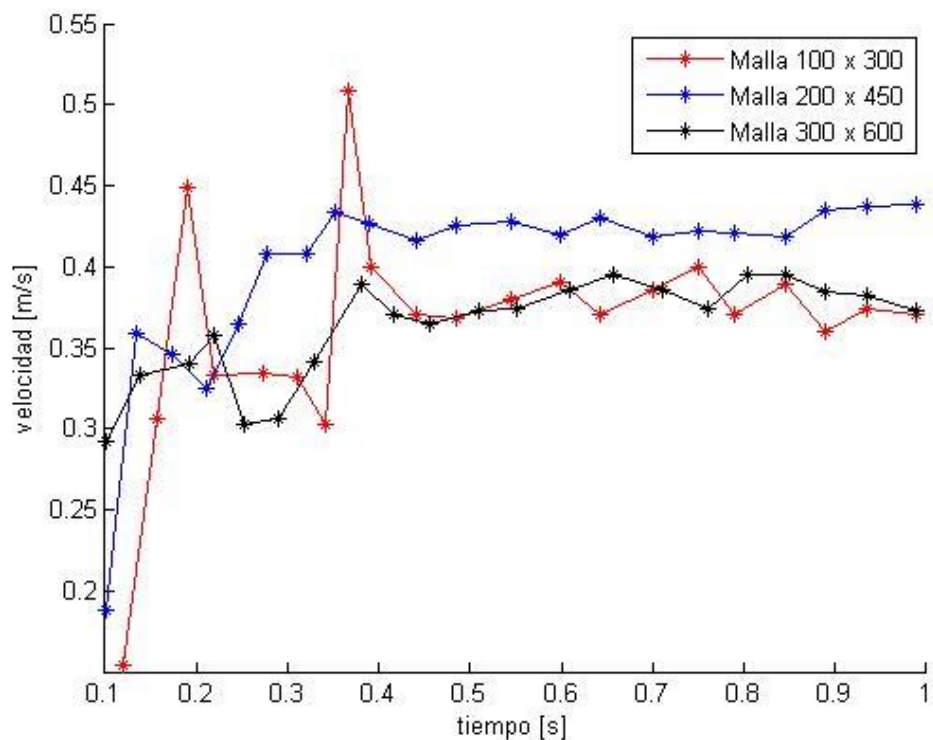


Figura 5.5: Velocidad promedio de ascenso de cada simulación en el tiempo

### 5.2.2 Variación de la velocidad de inyección de aire

Según los resultados obtenidos en la sección anterior, se procede a utilizar la malla de 200 x 450 elementos, el diámetro de inyector de 1 [mm] y se realizaron simulaciones con distinta velocidad de inyección de aire, (además de la velocidad de inyección de aire ya simulada 3,5 m/s), se utilizaron las velocidades de 0,1 m/s, 1 m/s y 5 m/s. En la Tabla 5.15 se puede observar el volumen y radio equivalente promedio que se obtuvo en cada simulación, exhibiendo que a mayor caudal de inyección aumenta el volumen de las burbujas generadas, en esta tabla además se tabulan los radios equivalente esperados según el modelo expuesto en la sección 2.4, se observa que el radio obtenido y el esperado están dentro de un orden muy similar, como ha sido la tónica con las simulaciones anteriores, y que a medida que aumenta el caudal de inyección aumenta también el volumen de la burbuja, aunque en un proporción mucho menor al aumento del caudal de inyección, lo cual es fácil ver con los valores de radio equivalente obtenidos y esperados para la velocidad de inyección de 0,1 m/s con respecto a 5 m/s, ya que en este último, a pesar de ser un valor 50 veces superior al anterior, el radio equivalente aumenta menos de lo que se podría esperar.

Tabla 5.15: Volúmenes y radio equivalente promedios para cada velocidad de inyección

<b>Velocidad de Inyección [m/s]</b>	<b>Volumen [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>Radio equivalente [mm]</b>	<b>Radio equivalente esperado [mm]</b>
0,1	7,1 ± 0,6	1,18 ± 0,04	1,89
1,0	37,0 ± 2,5	2,06 ± 0,04	2,30
3,5	108,4 ± 6,3	2,95 ± 0,05	2,89
5,0	168,8 ± 7,1	3,41 ± 0,04	3,14

En las Figura 5.6 a la Figura 5.8 y la Figura 5.3 se puede observar la situación de las simulaciones en tres instantes distintos (330 [ms], 705 [ms] y 950 [ms]), se puede observar que mientras mayor es la velocidad de inyección de aire mayor es la velocidad de ascenso de las burbujas generadas puesto que para un mismo instante la primera burbuja de la simulación con mayor velocidad se encuentra más arriba. Con respecto a las formas se puede observar que no distan mucho unas de otras, se observa además una diferencia de tamaño entre las burbujas de una simulación y otra,

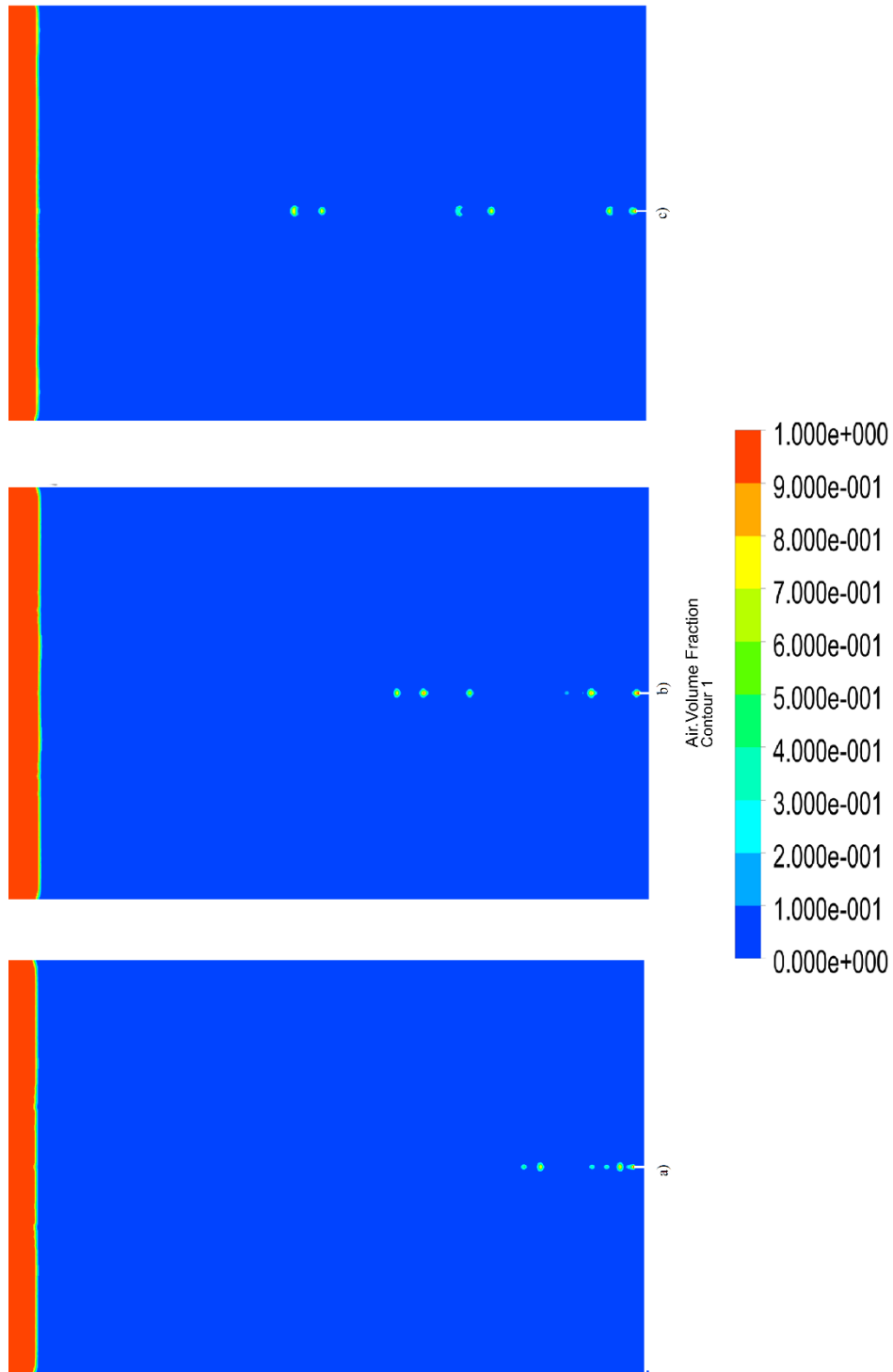


Figura 5.6: Simulación de inyección de aire a 0,1 [m/s] para los instantes: a) 330 [ms], b) 705 [ms] y c) 950 [ms].

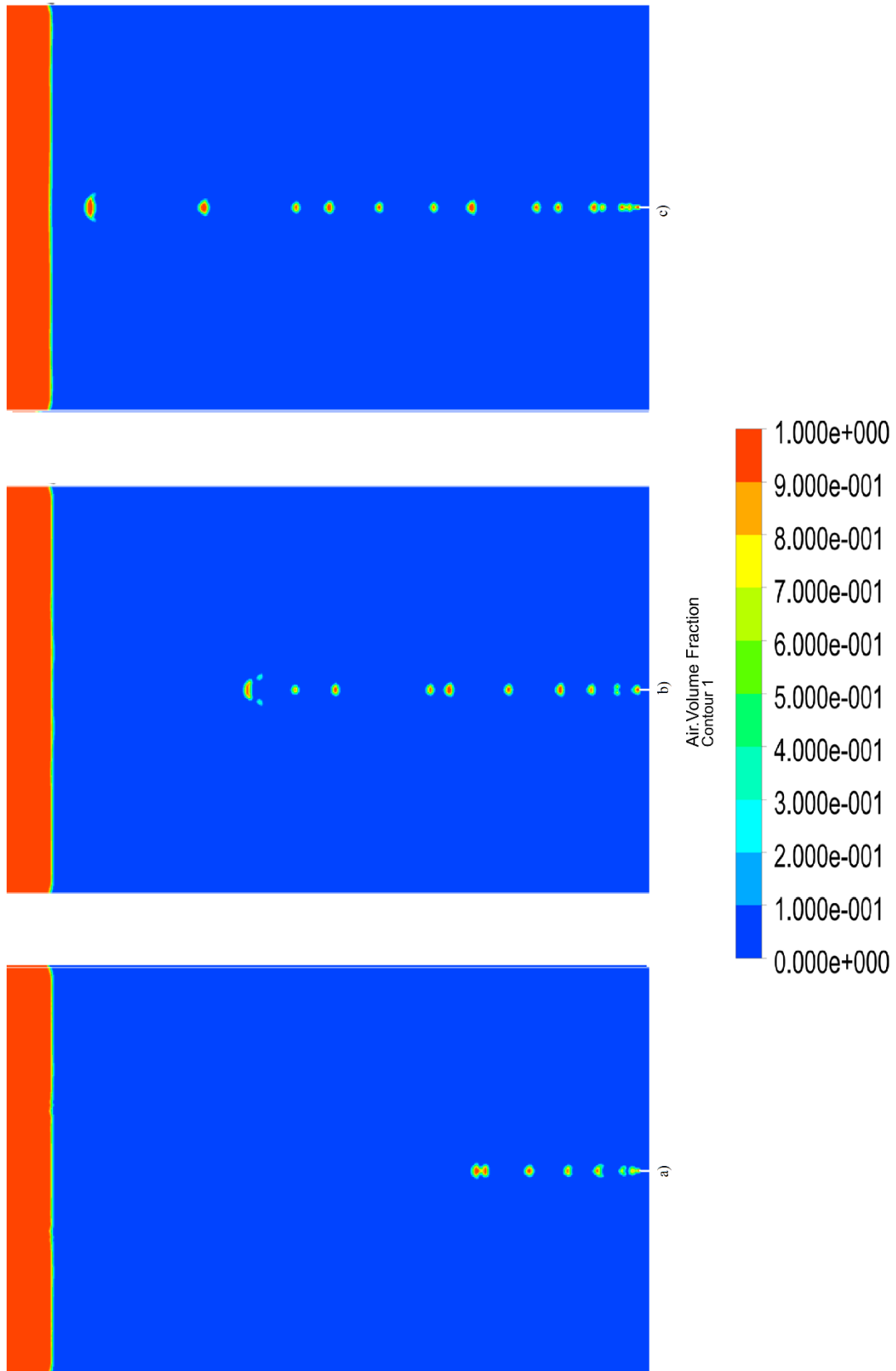


Figura 5.7: Simulación de inyección de aire a 1 [m/s] para los instantes: a) 330 [ms], b) 705 [ms] y c) 950 [ms].

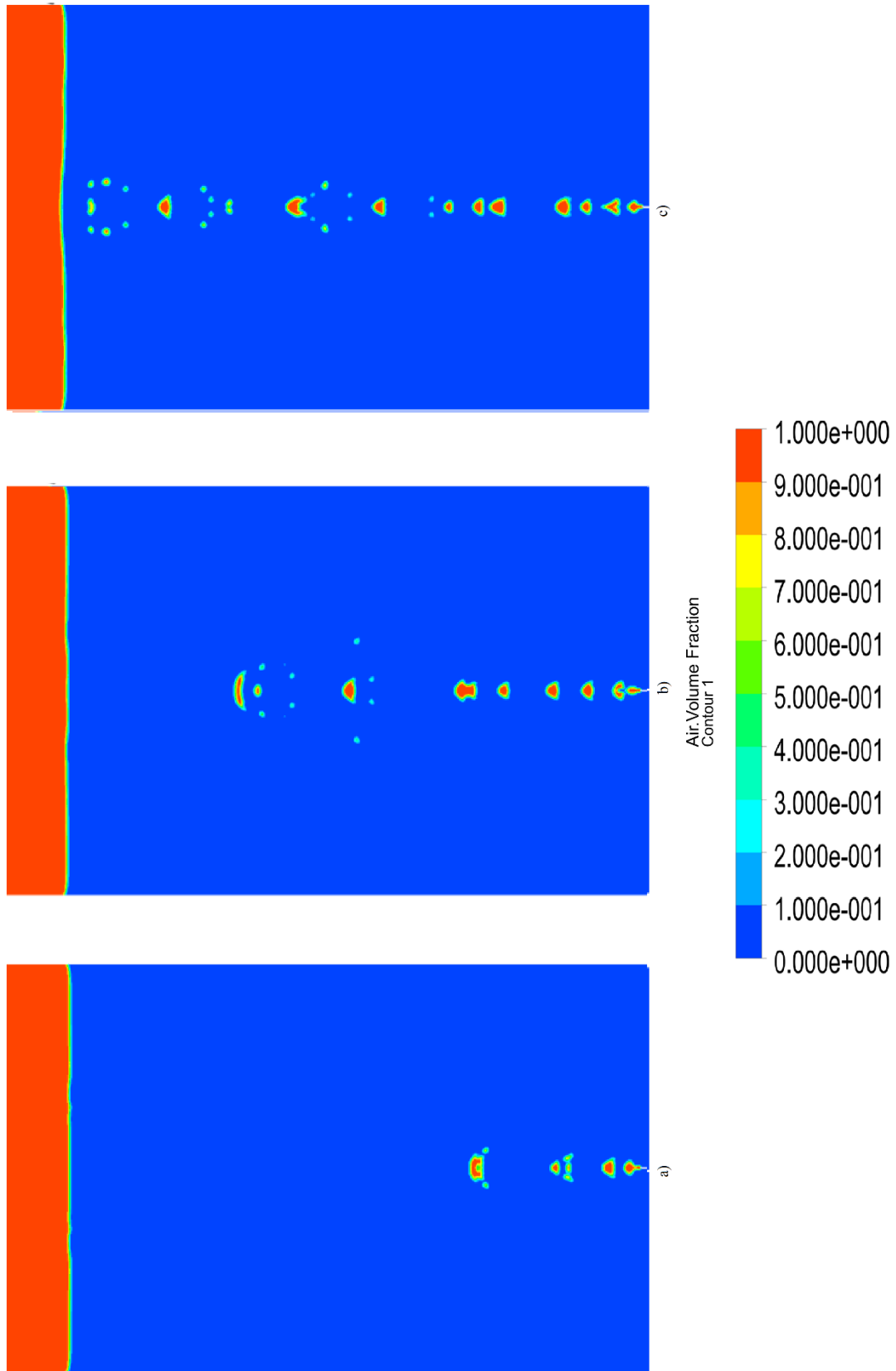


Figura 5.8: Simulación de inyección de aire a 5 [m/s] para los instantes: a) 330 [ms], b) 705 [ms] y c) 950 [ms].

La diferencia entre los volúmenes de burbuja obtenidos se puede relacionar con la frecuencia de desprendimiento de la burbuja, la cual ha sido relativamente constante en cada una de las simulaciones. Dada la diferencia de inyección de caudal, se observa que el aumento del periodo de formación de una burbuja influye en medianamente en el volumen de la burbuja, esto se puede observar en la Tabla 5.16 en la cual se muestran los periodos de formación de burbuja promedio para cada una de las velocidades de inyección.

*Tabla 5.16: Tiempos de formación promedio para cada una de las velocidades de inyección*

<b>Velocidad de Inyección [m/s]</b>	<b>Periodos [ms]</b>	<b>Frecuencia de desprendimiento promedio [Hz]</b>
0,1	$90,7 \pm 8,7$	$11,0 \pm 0,0$
1,0	$47,1 \pm 3,2$	$21,2 \pm 0,0$
3,5	$39,5 \pm 2,3$	$25,3 \pm 0,0$
5,0	$43,0 \pm 1,8$	$23,2 \pm 0,0$

Respecto de la dinámica de la burbuja, como ya fue comentado antes, se observa que la velocidad de las burbujas en promedio es mayor para las simulaciones con mayor caudal de inyección de aire, se debe mencionar que tal como ha ocurrido en simulaciones anteriores, la primera burbuja siempre es la más lenta de cada tren de burbujas, la velocidad promedio de ascenso para cada simulación, se puede encontrar en la Tabla 5.17, y en la Figura 5.9 se puede observar la velocidad de ascenso promedio de las burbujas en el tiempo, en esta última se aprecia que la velocidad terminal se alcanza alrededor de los 0,4 [s] cualquiera sea la simulación en análisis.

*Tabla 5.17: Velocidad promedio de ascenso para cada velocidad de inyección de aire*

<b>Velocidad de Inyección [m/s]</b>	<b>Velocidad [m/s]</b>
0,1	$0,23 \pm 0,02$
1,0	$0,36 \pm 0,01$
3,5	$0,38 \pm 0,01$
5,0	$0,40 \pm 0,01$



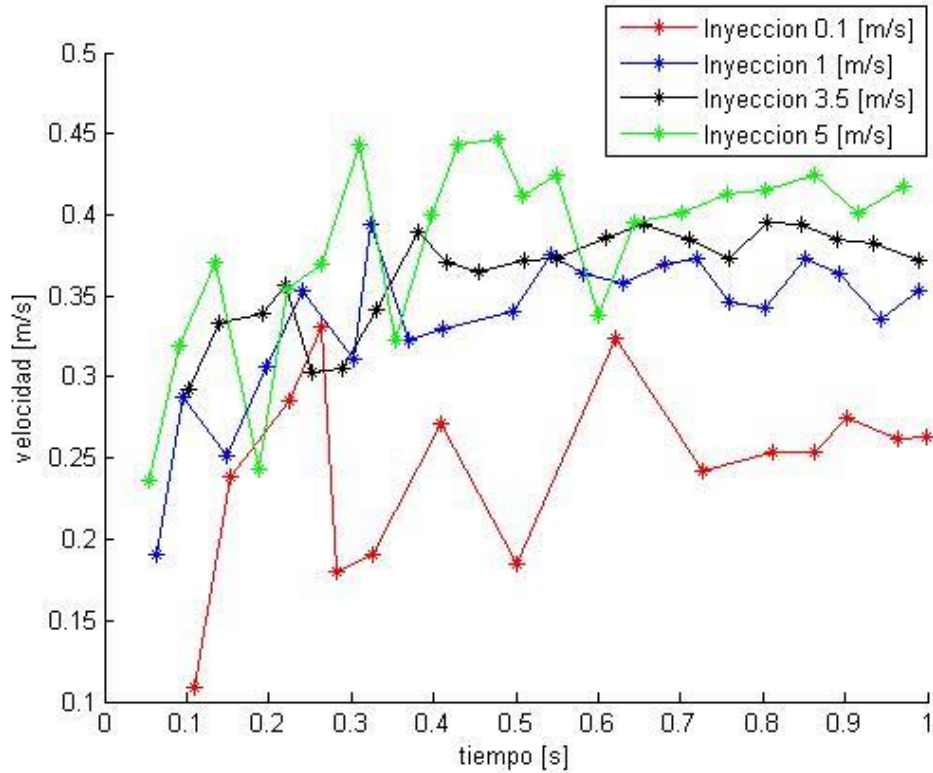


Figura 5.9: Velocidad promedio de ascenso de cada simulación en el tiempo

Finalmente, con respecto a la caracterización de las burbujas obtenidas, se obtuvo el número de Reynolds y de Eotvos promedio de cada simulación, los cuales están tabulados en la Tabla 5.18. Se Tabula además la forma observadas de las burbujas en cada simulación, cabe mencionar que dados los números adimensionales y el diagrama presentado en la Figura 2.1, se espera que las burbujas tengan una forma clasificable dentro de la familia “wobbling” para todas las simulaciones, sin embargo la forma observada corresponde con la “Spherical Cap”, la cual sería razonable para un Re sobre 1000 y Eo por sobre 30.

Tabla 5.18: Caracterización de las burbujas obtenidas en cada simulación

Velocidad de Inyección [m/s]	Eo	Re	Forma observada
0,1	$0,8 \pm 0,1$	$1110 \pm 153$	Spherical
1,0	$2,2 \pm 0,1$	$4172 \pm 154$	Spherical - Cap
3,5	$4,6 \pm 0,1$	$4420 \pm 171$	Spherical - Cap
5,0	$6,2 \pm 0,1$	$5535 \pm 187$	Spherical - Cap

### 5.2.3 Variación del diámetro de inyección

Como siguiente parte del trabajo se procedió a simular un caudal de aire constante con distintos diámetro de inyector. Cabe señalar que, ya que el inyector tiene una forma cilíndrica, la variación de su diámetro modifica en parte la geometría y por tanto la malla del dominio simulado, originando así un nuevo factor que afecta a los resultados obtenidos. Para realizar este análisis se ha escogido utilizar una inyección de aire con velocidad constante de 1 m/s, y los diámetros corresponden a 0,5 mm, 1 mm y 2 mm. En la Tabla 5.19 se muestra los volúmenes y radio equivalentes obtenidos en cada una de las simulaciones, junto con el radio equivalente esperado según el modelo presentado en los antecedentes. En este caso, a diferencia de la variación de velocidad de inyección se puede observar como un cambio en el diámetro del inyector, afecta más en el volumen de la burbuja, ejemplificando se tiene que el radio equivalente esperado para el diámetro de inyector de 0,5 mm corresponde 1,10 mm, y al aumentar el diámetro del inyector 4 veces (2,0 mm), el radio equivalente esperado aumenta alrededor de 200%. Un comportamiento a lo menos aceptable se tiene para los radio equivalente obtenidos con las respectivas simulaciones, en los cual los orden de magnitud se encuentran muy parecidos a los esperados.

Tabla 5.19: Volúmenes y radio equivalente promedios para cada diámetro de inyector

<b>Diámetro de Inyector [mm]</b>	<b>Volumen [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>Radio equivalente [mm]</b>	<b>Radio equivalente esperado [mm]</b>
0,5	5,6 ± 0,1	1,10 ± 0,01	1,66
1,0	37,0 ± 2,5	2,06 ± 0,04	2,30
2,0	139,6 ± 10,6	3,18 ± 0,08	3,32

Para visualizar cómo evolucionó el comportamiento de las burbujas con cada uno de los diámetros de inyector distintos, se tienen las Figura 5.10 y Figura 5.11 en las que se puede observar la situación del estanque con las burbujas en tres instantes distintos, para cada uno de los inyectores. En particular es bastante notorio la diferencia de tamaños entre las burbujas creadas con un diámetro de inyector menor, con respecto a las que fueron simuladas con uno mayor.

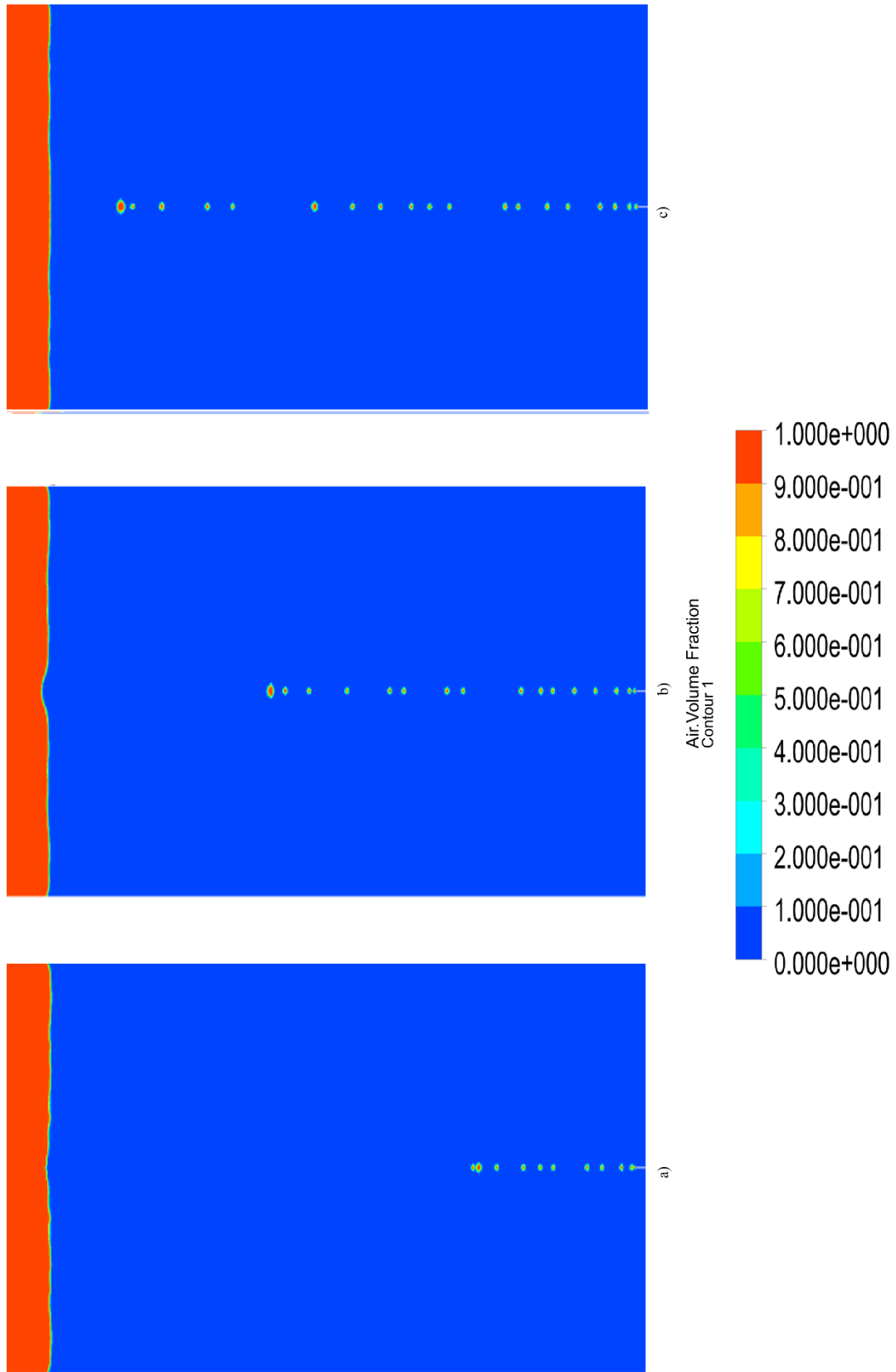


Figura 5.10: Simulación del inyector diámetro 0,5 [mm] para los instantes: a) 330 [ms], b) 705 [ms] y c) 950 [ms].

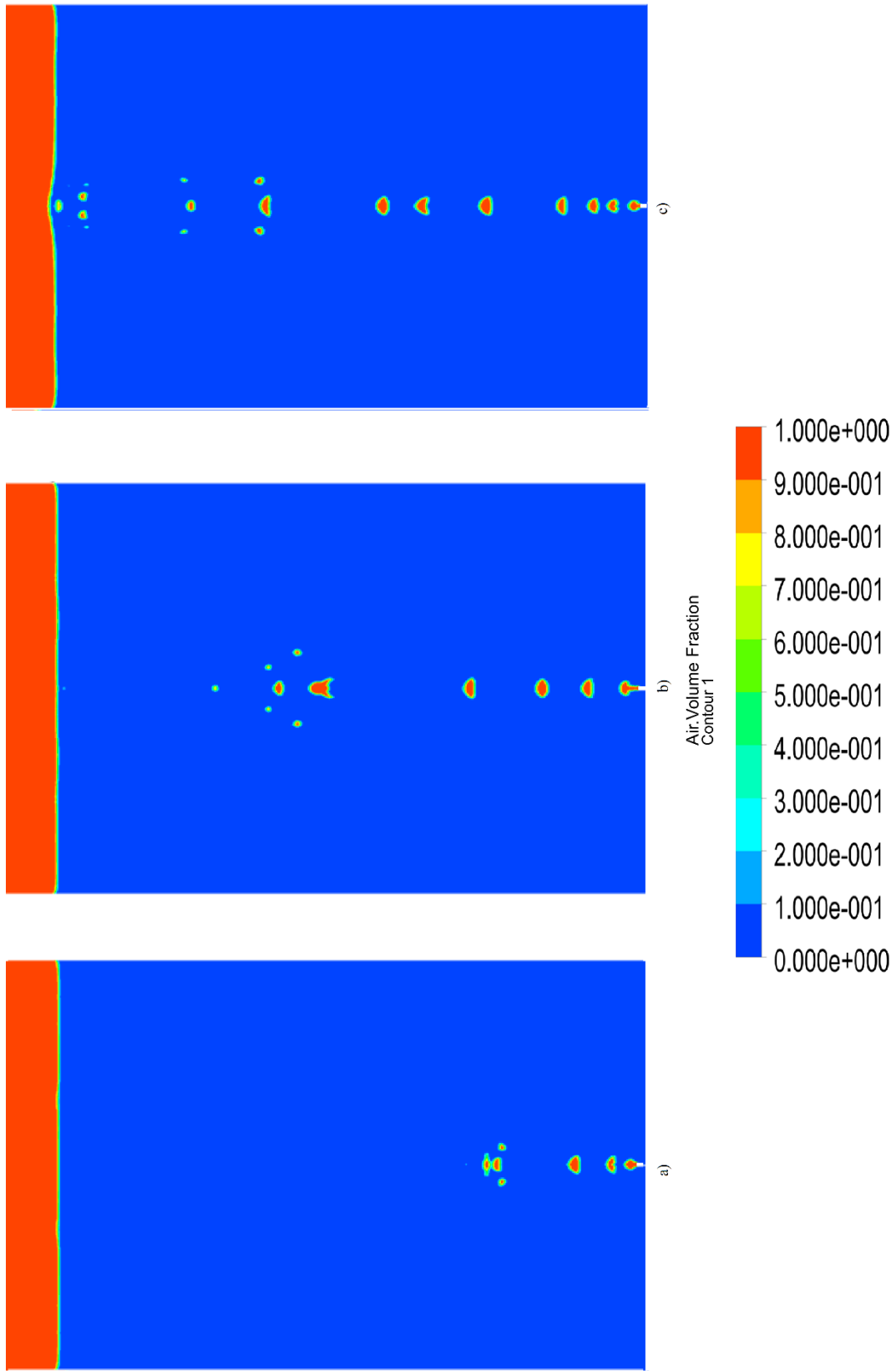


Figura 5.11: Simulación del inyector diámetro 2 [mm] para los instantes: a) 330 [ms], b) 705 [ms] y c) 950 [ms].

Con respecto a la formación de las burbujas, es evidente comparando las imágenes dispuestas de cada simulación que mientras más pequeño sea el diámetro del inyector más rápido se generan las burbujas (observar la distancia entre las burbujas generadas). El periodo de formación de las burbujas es relativamente constante y esto se puede observar en el bajo error asociado al periodo medio de formación de burbujas para cada uno de los inyectores mostrado en la Tabla 5.20.

*Tabla 5.20: Tiempos de formación promedio para cada uno de los inyectores*

<b>Diámetro de Inyector [mm]</b>	<b>Periodos [ms]</b>	<b>Frecuencia de desprendimiento promedio [Hz]</b>
0,5	$28,8 \pm 0,8$	$34,7 \pm 0,2$
1,0	$47,1 \pm 3,2$	$21,2 \pm 0,1$
2,0	$44,4 \pm 3,3$	$22,5 \pm 0,01$

En cuanto a la dinámica de la burbuja, se observa que en los casos con mayor diámetro de inyector las burbujas obtuvieron una mayor velocidad de ascenso, sin duda relacionado con el mayor volumen que tienen. Los valores promedios que se obtuvieron de la velocidad de ascenso para cada uno de los inyectores se pueden observar en la Tabla 5.21. Cabe mencionar que salvo la primera burbuja de cada simulación (burbuja más lenta) y las burbujas próximas a entrar en coalescencia (burbujas más rápidas) las velocidades tienden a ser muy parecidas. Además en la Figura 5.12 se puede observar la evolución de las velocidades con respecto al tiempo, se observa claramente como la velocidad terminal es un tanto mayor mientras mayor es el diámetro del inyector, así como también la velocidad terminal se alcanza unos instantes después para mayor diámetro.

*Tabla 5.21: Velocidad promedio de ascenso para cada uno de los inyectores*

<b>Diámetro de Inyector [mm]</b>	<b>Velocidad [m/s]</b>
0,5	$0,34 \pm 0,01$
1,0	$0,38 \pm 0,01$
2,0	$0,44 \pm 0,01$

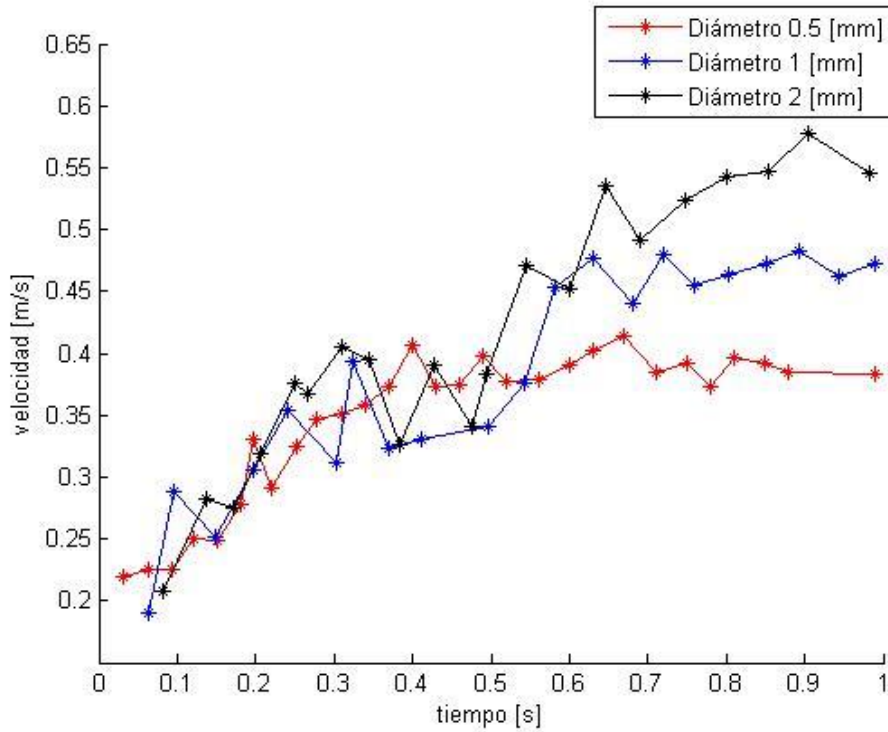


Figura 5.12: Velocidad promedio de ascenso de cada inyector en el tiempo

Finalmente se puede realizar la caracterización de las burbujas obtenidas con cada uno de los inyectores por medio de los números adimensionales, es sabido que el número de Morton (M) es constantes, pues depende solo de la naturaleza de los fluidos en contacto. En cuanto al  $E_o$  y  $Re$ , como es de esperarse, se tienen mayores valores para el caso de un diámetro de inyector más grande, obviamente relacionado con su mayor velocidad como fue expuesto antes. Dado los valores medio de  $E_o$  y  $Re$  para cada diámetro de inyector, que se pueden observar en la Tabla 5.22, se espera que la forma de las burbujas sea del tipo “wobbling”, sin embargo una vez más, como en las simulaciones de influencia de malla, la forma observada se relaciona más con la familia “Spherical Cap”, para la cual se necesita un  $E_o$  de al menos el orden de 30.

Tabla 5.22: Caracterización de cada una de las burbujas

<b>Diámetro de Inyector [mm]</b>	<b><math>E_o</math></b>	<b><math>Re</math></b>	<b>Forma observada</b>
0,5	$0,6 \pm 0,0$	$1487 \pm 45$	Spherical - Cap
1	$2,2 \pm 0,1$	$3172 \pm 154$	Spherical - Cap
2	$5,4 \pm 0,2$	$5444 \pm 182$	Spherical - Cap

### 5.3 Resultados de la simulación 3D

#### 5.3.1 Datos de la simulación

La simulación efectuada consistió en la observación de burbujas generadas por medio de un flujo constante de aire a través de un inyector cilíndrico, en un entorno 3D. Los parámetros más importantes de la simulación se resumen en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23: Resumen de los parámetros más importantes de la simulación 3D

Parámetro	Valor
Geometría	Cilindro de $R = 0,1$ [m] y $H = 0,35$ [m]
Materiales	Agua y Aire
Diámetro de inyector	1 [mm]
Condición de inyección de aire	Flujo constante, $V = 3,5$ m/s
Número de elementos de malla	456.200 elementos (hexágonos)
Modelo computacional	VOF
Esquema de discretización temporal	Esquema explícito
Coefficiente de tensión superficial	0,736 [n/m]
Ángulo de contacto	60°
Condiciones de borde	Flujo constante y superficie libre a 0,3 [m]
Algoritmo de solución presión velocidad	Piso
Método de solución para la presión	PRESTO!
Método de solución para el momentum	Second Order Upwind
Método de solución para la fracción de volumen	Geo-Reconstruct
Número de Courant	0,5
Tiempo a simular	1,3 [s]

#### 5.3.2 Volumen de burbujas y frecuencia de generación

En primera instancia la simulación 3D generó 12 burbujas dentro del intervalo de tiempo analizado. De ahora en adelante se referirá a cada una de las 12 burbujas generadas por el orden en que fueron generadas, de esta forma la burbuja 1 corresponde a la primera burbuja generada y la burbuja 12 corresponde a la última burbuja generada. De modo de tener una referencia general de los resultados de la simulación, a continuación se muestra una bitácora con los sucesos más importantes ocurridos dentro del tiempo en que se generaron las primeras 12 burbujas.

- 0 [ms]; Inicio de la simulación, velocidad de inyección 3,5 [m/s] y diámetro de inyector 1 [mm], se inicia el crecimiento de la primera burbuja.
- 72,1 [ms]; Se desprende la primera burbuja, se inicia el crecimiento de la segunda.
- 118 [ms]; Se desprende la segunda burbuja. se inicia el crecimiento de la tercera.
- 148 [ms]; La segunda burbuja entra en coalescencia con la primera.
- 178 [ms]; Finaliza el proceso de coalescencia entre la primera y segunda burbuja. Se mantendrá el nombre de la primera burbuja, a la unión de ambas burbujas.

- 179 [ms]; Se empiezan a presenciar movimientos laterales en las burbujas existentes.
- 182 [ms]; Se desprende la tercera burbuja, se inicia el crecimiento de la cuarta.
- 234 [ms]; Se desprende la cuarta burbuja, se inicia el crecimiento de la quinta.
- 317 [ms]; Se desprende la quinta burbuja, se inicia el crecimiento de la sexta.
- 388 [ms]; Se desprende la sexta burbuja, se inicia el crecimiento de la séptima.
- 405 [ms]; La sexta burbuja entra en coalescencia con la séptima burbuja, aún en contacto con el inyector, se considerará a esta solo como la sexta burbuja.
- 413 [ms]; Se desprende definitivamente la sexta burbuja e inicia el crecimiento de la séptima.
- 429 [ms]; Entra en coalescencia la primera burbuja con la tercera.
- 457 [ms]; Finaliza el proceso de coalescencia entre la primera y tercera burbuja. Se mantendrá el nombre de la primera burbuja, a la unión de ambas burbujas.
- 484 [ms]; Se desprende la séptima burbuja, inicia el crecimiento de la octava.
- 518 [ms]; Entra en coalescencia la primera burbuja con la cuarta.
- 546 [ms]; Finaliza el proceso de coalescencia entre la primera y cuarta burbuja. Se mantendrá el nombre de la primera burbuja, a la unión de ambas burbujas.
- 549 [ms]; Se desprende la octava burbuja, inicia el crecimiento de la novena.
- 604 [ms]; Se desprende la novena burbuja, inicia el crecimiento de la décima.
- 616 [ms]; La novena burbuja entra en coalescencia con la décima burbuja, aún en contacto con el inyector, se considerará a esta solo como la novena burbuja.
- 625 [ms]; Se desprende definitivamente la novena burbuja e inicia el crecimiento de la décima.
- 696 [ms]; Se desprende la décima burbuja, inicia el crecimiento de la undécima.
- 740 [ms]; Se desprende la undécima burbuja, inicia el crecimiento de la duodécima.
- 745 [ms]; Entra en coalescencia la séptima burbuja con la octava.
- 760 [ms]; Finaliza el proceso de coalescencia entre la séptima y octava burbuja. Se mantendrá el nombre de la séptima burbuja, a la unión de ambas burbujas.
- 801 [ms]; Se desprende la duodécima burbuja, inicia el crecimiento de la decimotercera.
- 824 [ms]; Entra en coalescencia la décima burbuja con la undécima.
- 842 [ms]; Finaliza el proceso de coalescencia entre la décima y undécima burbuja. Se mantendrá el nombre de la décima burbuja, a la unión de ambas burbujas.
- 1150 [ms]; la primera burbuja alcanza la superficie libre.

La Tabla 5.24 muestra el volumen y radio equivalente de cada una de las 12 burbujas generadas, se observa en esta que el radio equivalente promedio corresponde a 3,5 mm, siendo 0,5 mm más grande que el radio equivalente obtenido según las relaciones mostradas en la sección 2.4



Tabla 5.24: Volúmenes y radio equivalente de cada burbuja

Burbuja	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	Radio equivalente [mm]
1	198,2	3,6
2	128,4	3,1
3	175,1	3,5
4	144,0	3,3
5	226,0	3,8
6	263,3	4,0
7	196,8	3,6
8	177,6	3,5
9	209,5	3,7
10	196,0	3,6
11	121,2	3,1
12	165,8	3,4
<b>Promedio</b>	183,5 ± 11,8	3,5 ± 0,1

La Tabla 5.25 muestra el periodo de formación de cada una de las 12 burbujas generadas, se aprecia que salvo la burbuja 2 y 4 los periodos de formación de cada burbuja se encuentran en un rango bastante cercano, al final de la tabla se puede observar la frecuencia promedio de formación de burbujas en [Hz].

Tabla 5.25: Tiempos de formación de cada una de las burbujas

Burbuja	Periodos [ms]
1	72,1
2	46,7
3	63,7
4	52,4
5	82,2
6	95,8
7	71,6
8	64,6
9	76,2
10	71,3
11	44,1
12	60,3
<b>Promedio</b>	66,8
<b>Frecuencia de desprendimiento</b>	14,9 ± 0,0

### 5.3.3 Velocidad y caracterización de las burbujas generadas

Con respecto a la velocidad, en la Tabla 5.26 se encuentran las velocidades de ascenso promedio para cada burbuja, notar que para la burbuja 1 la velocidad promedio es bastante inferior con respecto a las burbujas posteriores. Además destacar que las velocidades más altas corresponden a las burbujas 2, 3, 4, 8 y 11, de las cuales, todas alcanzaron a su predecesora, efectuándose así el fenómeno de coalescencia. Según las relaciones mostradas en la sección 2.5 se espera una velocidad de burbuja de 0,25 m/s, valor que es inferior a la velocidad de burbuja promedio obtenida en la simulación.

Tabla 5.26: Velocidad promedio de ascenso de cada burbuja

Burbuja	Velocidad [m/s]
1	0,265 ± 0,002
2	0,410 ± 0,024
3	0,365 ± 0,007
4	0,389 ± 0,007
5	0,303 ± 0,003
6	0,340 ± 0,004
7	0,319 ± 0,004
8	0,376 ± 0,007
9	0,344 ± 0,005
10	0,302 ± 0,006
11	0,376 ± 0,010
12	0,282 ± 0,007
<b>Promedio</b>	0,339 ± 0,007

De los resultados mostrados anteriormente, es posible caracterizar las burbujas mediante sus números adimensionales ( $E_o$ ,  $Re$  y  $M$ ), los números de Eotvos ( $E_o$ ) y Reynolds ( $Re$ ) se encuentran tabulados en la Tabla 5.27, cabe mencionar que el número de Morton ( $M$ ) no se encuentra en la tabla ya que como se mencionó antes, este número depende solo de la naturaleza de los fluidos en contacto, por lo tanto es constante y corresponde  $2,5E-11$ . Además se observa en la tabla la calificación de la forma de la burbuja generada, las cuales coinciden con las formas que se pueden predecir usando la Figura 2.1. Las formas de las burbujas se pueden observar posteriormente en el anexo A

Tabla 5.27: Caracterización de cada una de las burbujas

Burbuja	Eo	Re	Forma
1	6,95	3800,4	Wobbling
2	5,20	5087,4	Wobbling
3	6,40	5022,8	Wobbling
4	5,62	5015,7	Wobbling
5	7,58	4539,5	Wobbling
6	8,40	5360,5	Wobbling
7	6,91	4564,2	Wobbling
8	6,46	5198,4	Wobbling
9	7,21	5025,1	Wobbling
10	6,90	4314,9	Wobbling
11	5,01	4577,3	Wobbling
12	6,17	3810,3	Wobbling
<b>Promedio</b>	$6,57 \pm 0,28$	$4693,0 \pm 149,5$	-

Para cada burbuja se obtuvo la posición cada 0,12 ms aproximadamente (ver anexo B), esto permitió calcular la derivada discreta mediante el uso del método de la derivada centrada, obteniendo así los gráficos de velocidad de ascenso en función del tiempo para cada burbuja, a continuación se muestran estos gráficos para las burbujas 1, 5, 7 y 10, ya que estas burbujas tienen una cantidad considerable de datos. Se puede observar de los gráficos que existe bastante ruido en las curvas, es por esto que se agregó una curva suavizada para aproximar la velocidad de cada burbuja. Los gráficos para todas las burbujas se encuentran en el anexo C

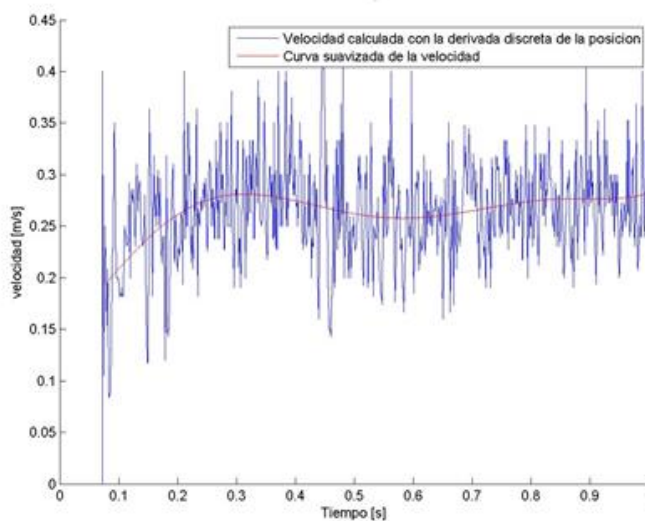


Figura 5.13: Velocidad de ascenso de la burbuja 1 en función del tiempo

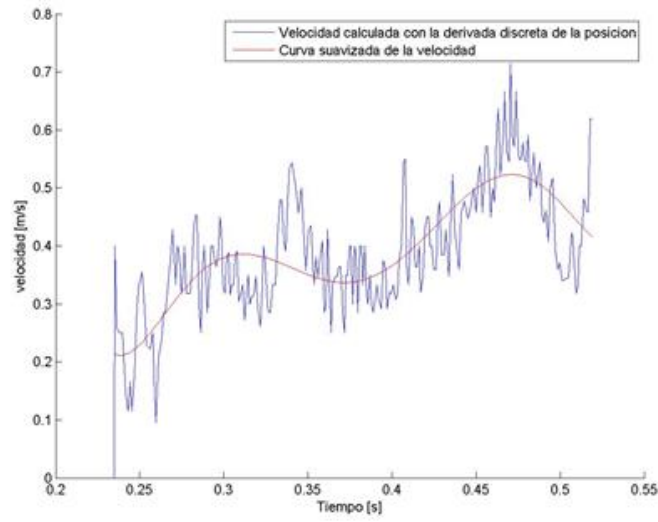


Figura 5.14: Velocidad de ascenso de la burbuja 4 en función del tiempo

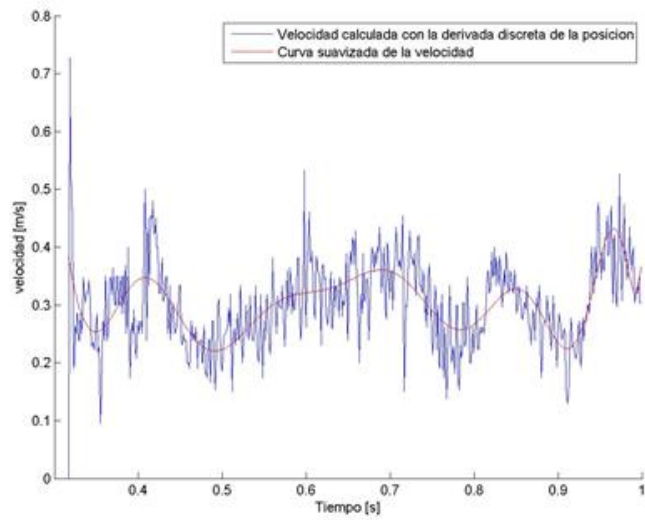


Figura 5.15: Velocidad de ascenso de la burbuja 5 en función del tiempo

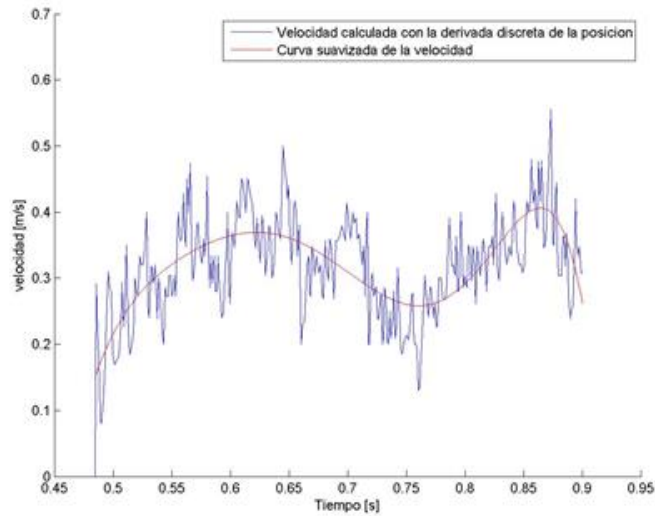


Figura 5.16: Velocidad de ascenso de la burbuja 7 en función del tiempo

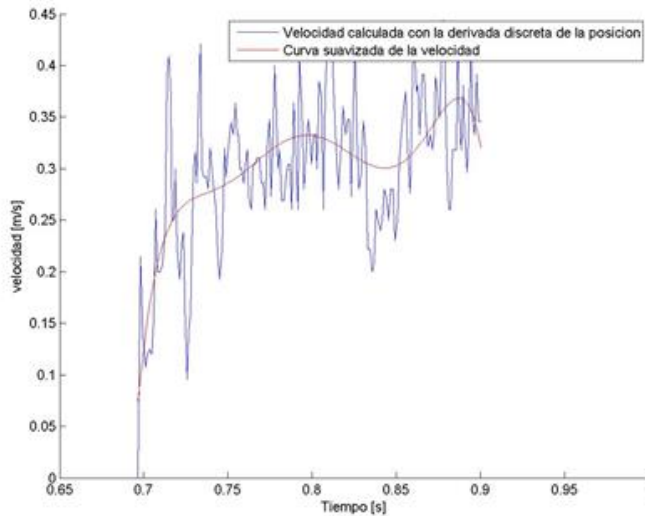


Figura 5.17: Velocidad de ascenso de la burbuja 10 en función del tiempo

En las Figura 5.18 a Figura 5.24 se pueden observar los campos de velocidad en distintos instantes de tiempo, los vectores mostrados en estos campos de velocidad corresponden a vectores de tamaño normalizado y generados en el centro de cada celda de malla, por lo tanto el mapa de colores es el único indicativo de la magnitud de la velocidad. Se muestran en estas figuras, mayores valores de velocidad en la formación de burbujas, y vórtices generados por la acción de las burbujas, además lo interesante de estas figuras, es la posibilidad de apreciar la estela de cada burbuja, en particular para la Figura 5.24 se puede observar el tren de

burbujas completo y dada la alta frecuencia de generación de burbujas, como cada una de las burbujas prácticamente entra en la estela de la burbuja predecesora. Esto influye notablemente en la velocidad de las burbujas como se comentará posteriormente en las discusiones.

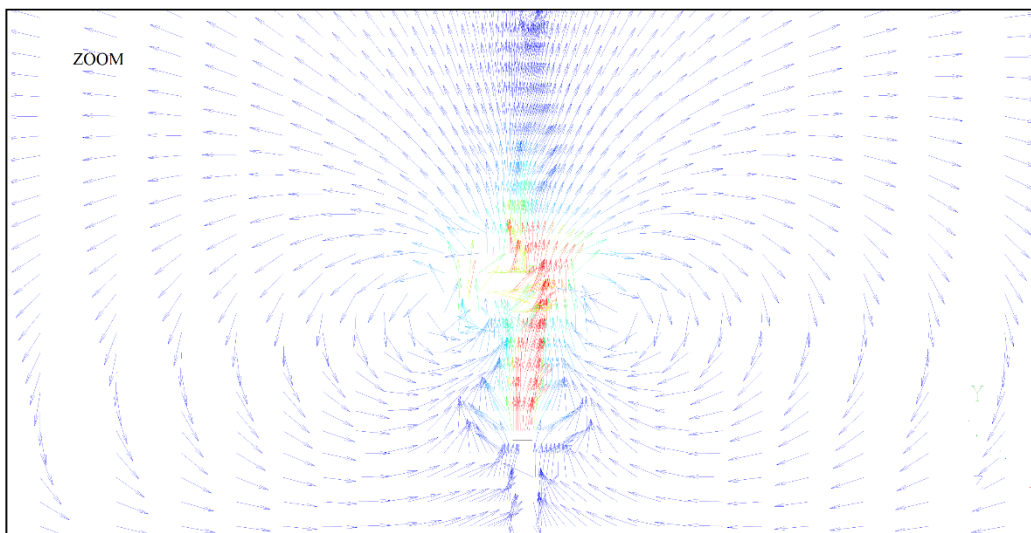
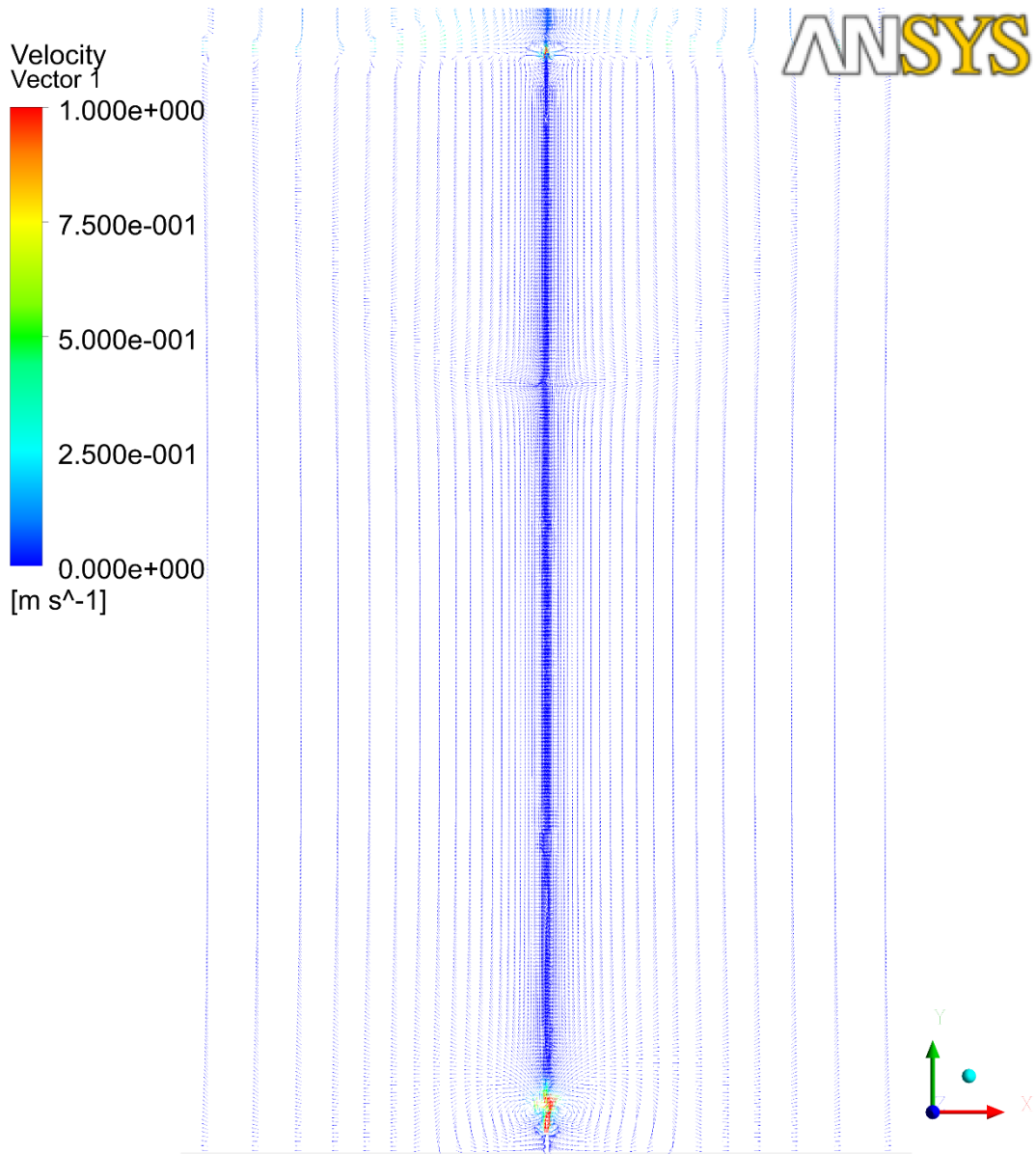


Figura 5.18: Campo de velocidades para el tiempo 72 [ms], instante de formación de la primera burbuja

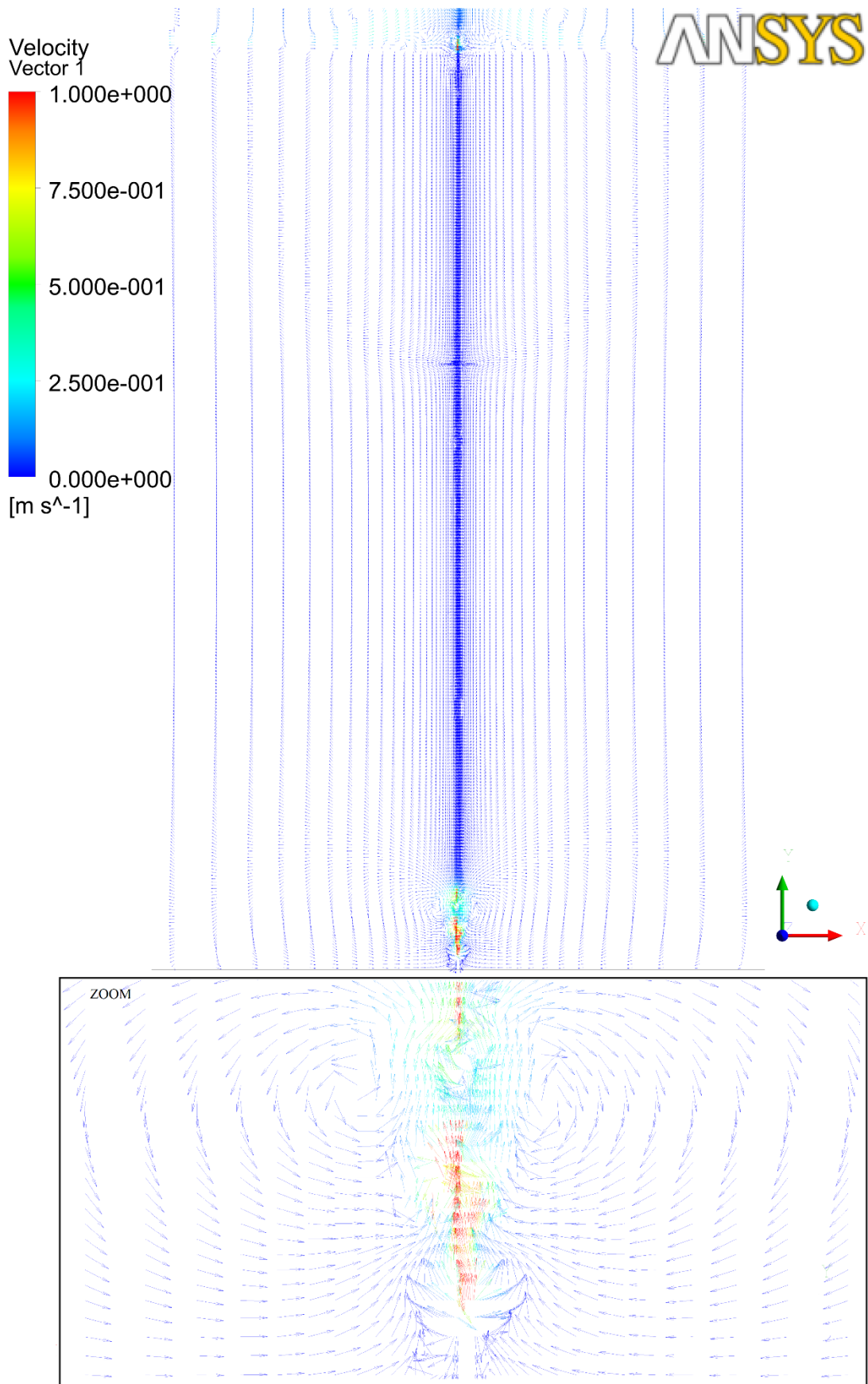


Figura 5.19: Campo de velocidades para el tiempo 118 [ms], instante de formación de la segunda burbuja



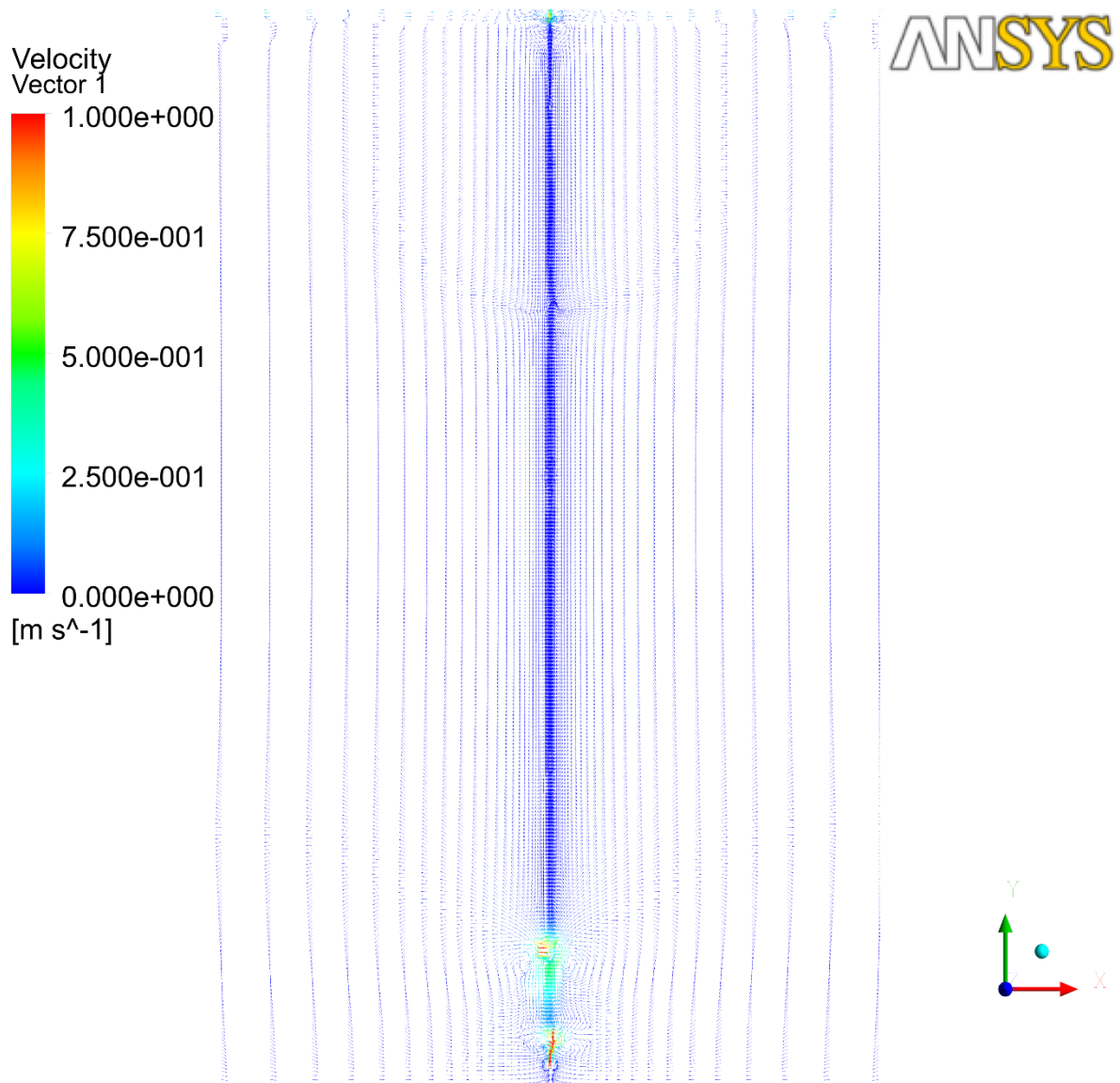


Figura 5.20: Campo de velocidades para el tiempo 182 [ms], instante de formación de la tercera burbuja

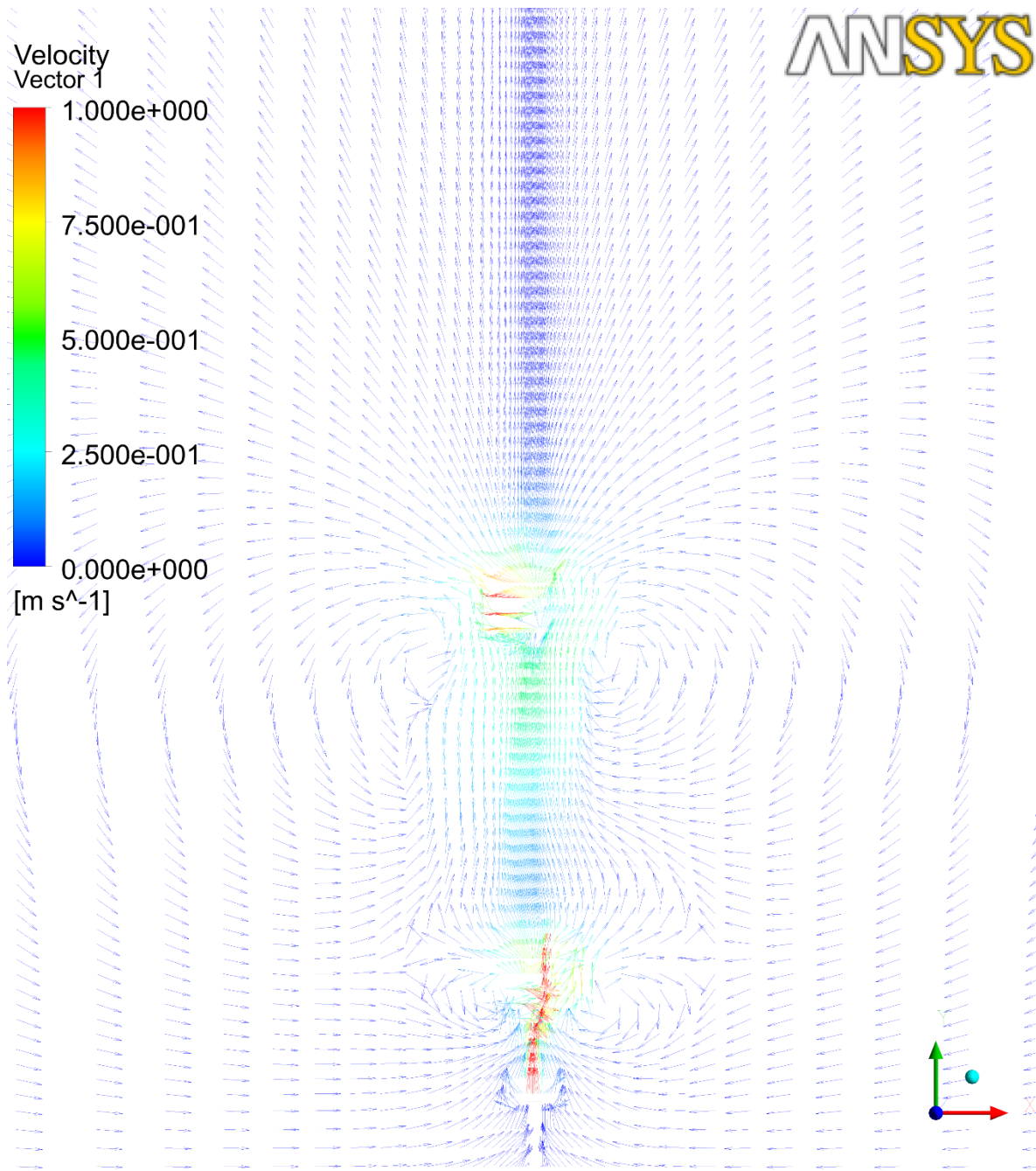


Figura 5.21: Zoom al campo de velocidades para el tiempo 182 [ms], instante de formación de la tercera burbuja

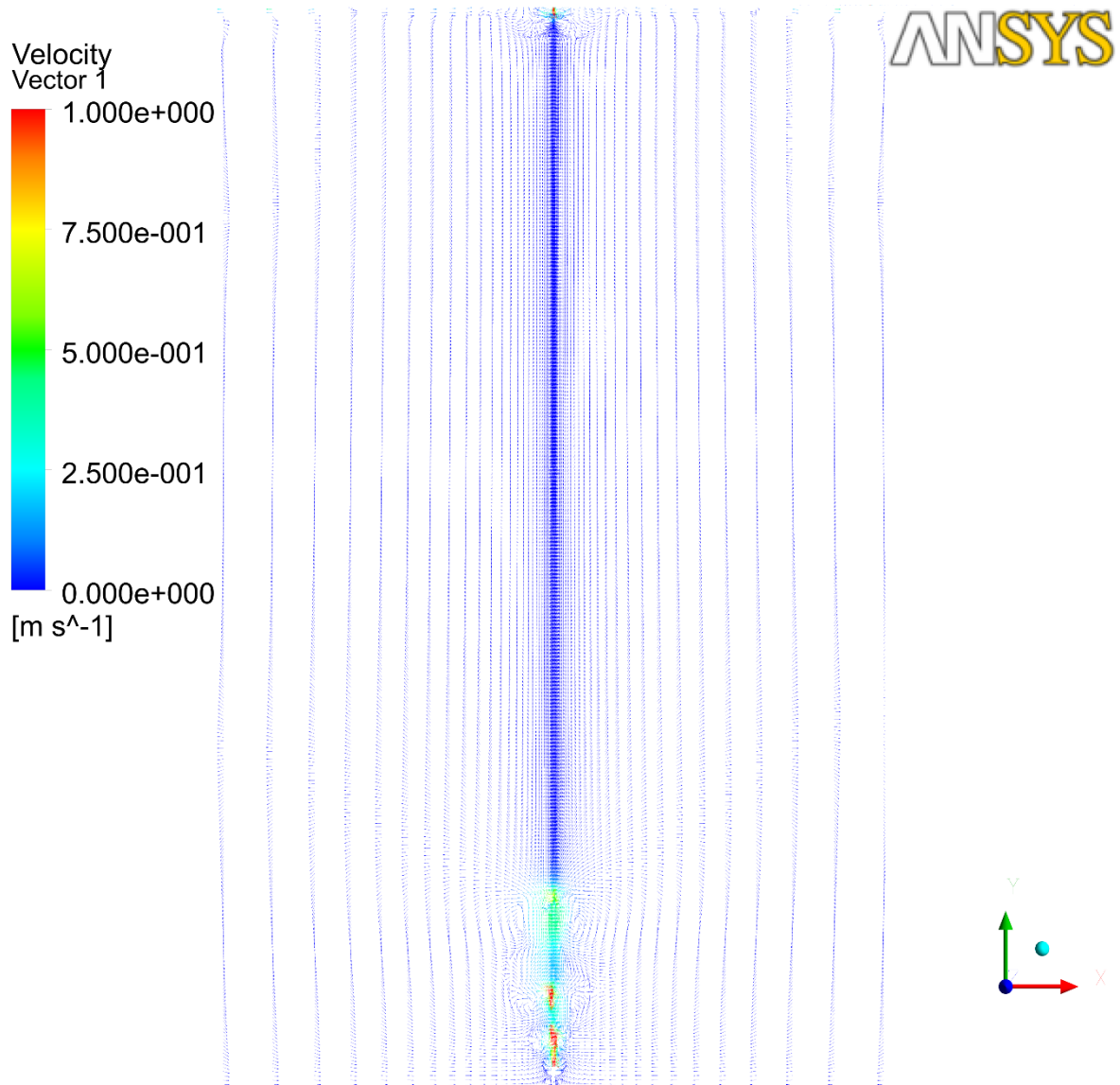


Figura 5.22: Campo de velocidades para el tiempo 234 [ms], instante de formación de la cuarta burbuja

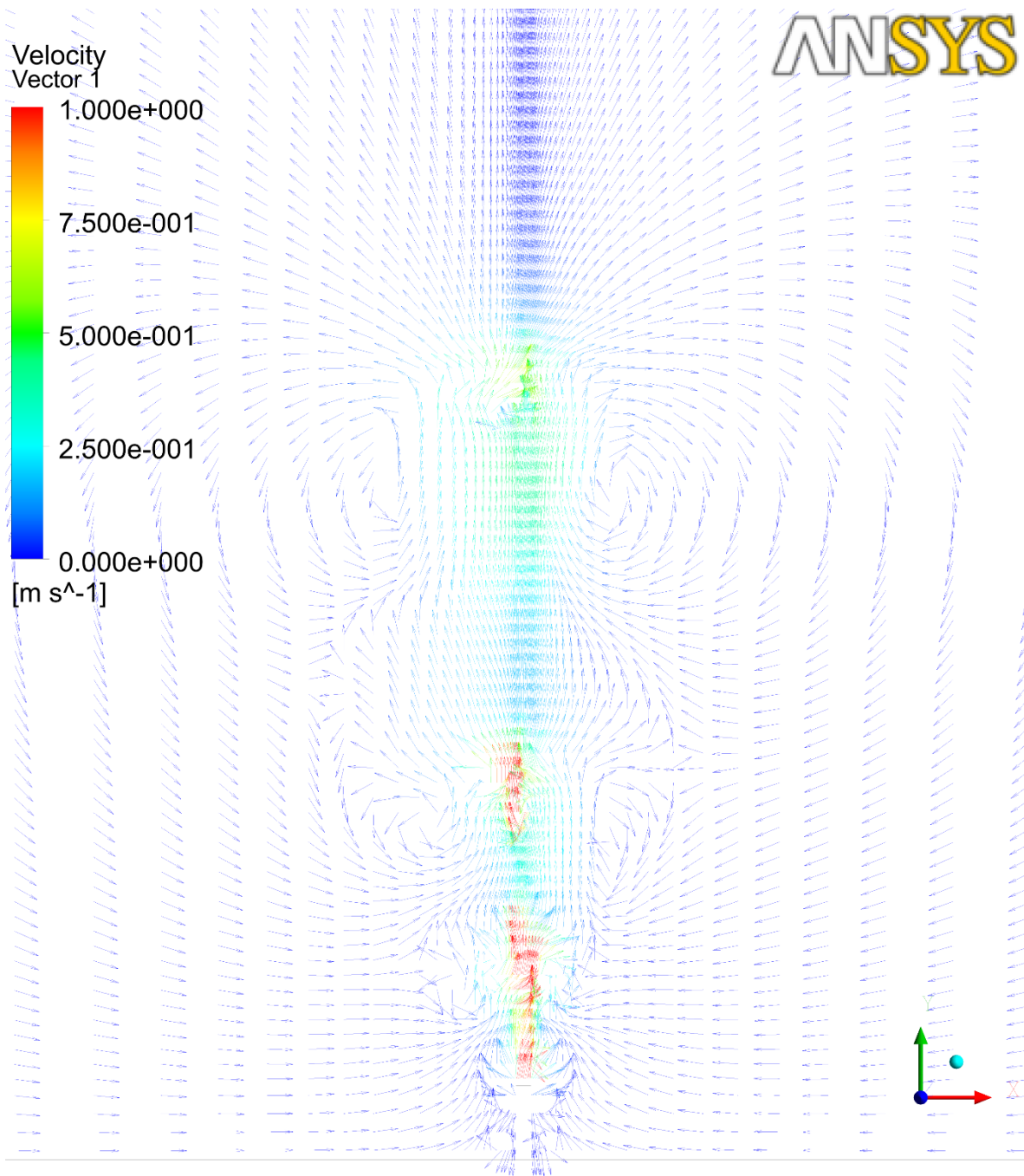


Figura 5.23: Zoom al campo de velocidades para el tiempo 234 [ms], instante de formación de la cuarta burbuja

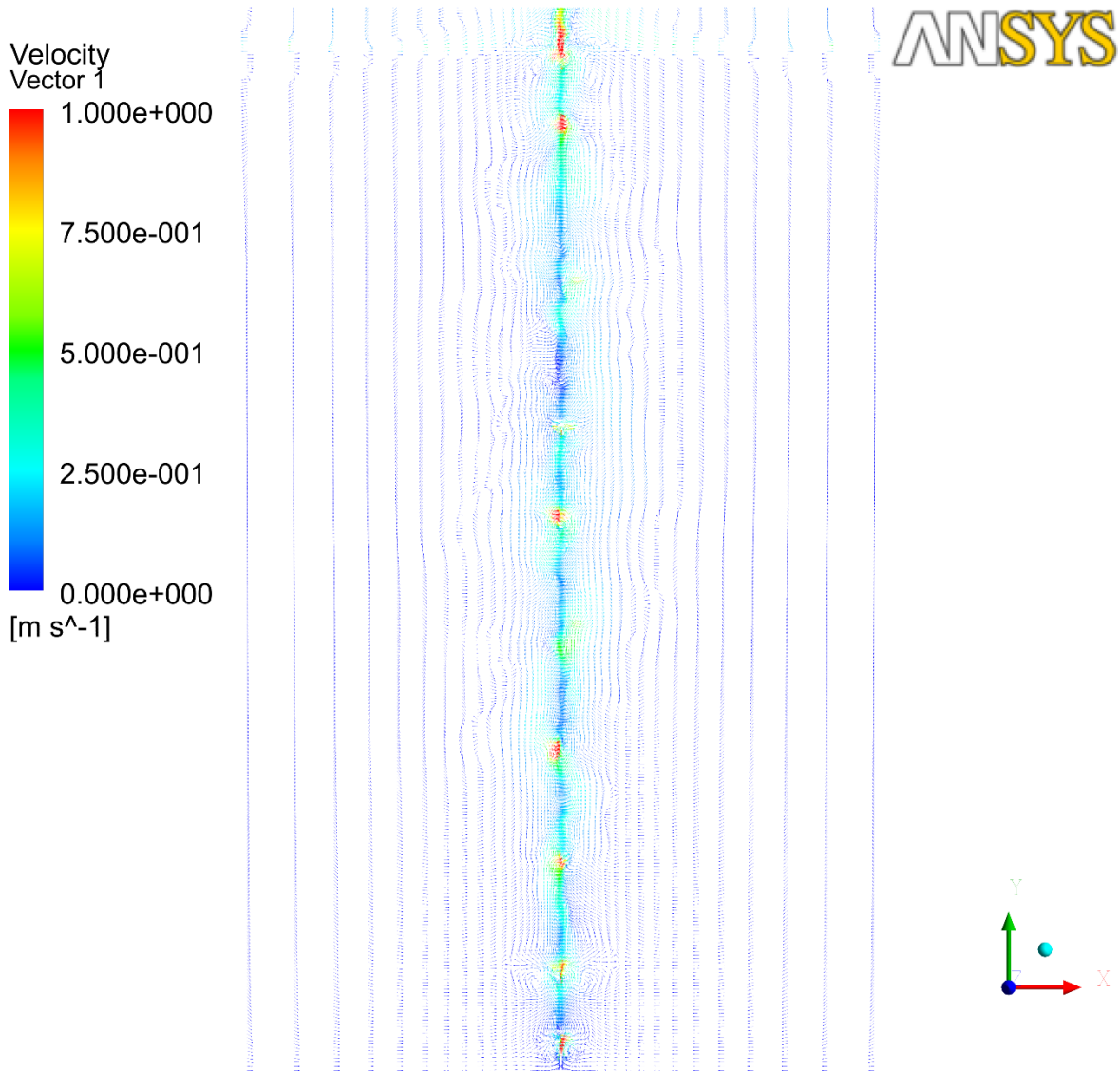


Figura 5.24: Campo de velocidades para el tiempo 1148 [ms], instante de llegada de la primera burbuja a la superficie libre

### 5.3.4 Trayectoria de las burbujas

La simulación en el entorno 3D permitió observar la trayectoria de la burbuja, la cual evidentemente no era en línea recta. Se observaron desviaciones en la trayectoria de la burbuja que alcanzaron el 81,3% del diámetro equivalente de la burbuja, y un 44,3% considerando la amplitud máxima promedio con respecto al diámetro equivalente promedio. En la Tabla 5.28 se tabulan los datos de la amplitud máxima observada en la trayectoria de cada burbuja, siendo amplitud x, la amplitud máxima generada en la trayectoria según el eje x, y de la misma forma para amplitud z, la correspondiente según el eje z, mencionar que en la simulación el eje y, corresponde a la altura.

Tabla 5.28: Amplitud máxima en la trayectoria de cada burbuja

Burbuja	Amplitud x [mm]	Amplitud z [mm]
1	3,2	1,8
2	0,2	0,0
3	3,0	0,6
4	4,1	1,3
5	4,4	6,3
6	6,5	5,0
7	4,0	2,9
8	2,8	1,6
9	1,9	2,2
10	4,0	2,0
11	1,7	1,4
12	1,0	0,7
<b>Promedio</b>	$3,1 \pm 0,5$	$2,2 \pm 0,5$

Dado el interés por observar la trayectoria de la burbuja en la simulación, se realizaron graficas que permiten observar el movimiento de cada burbuja, en particular, a continuación se puede observar el movimiento de la burbuja que se aprecia desde 2 planos perpendiculares para las burbujas 1, 5, 6 y 7. La grafica se encuentra enmarcada dentro de un dominio con ejes de dimensiones iguales a las del volumen de agua en que se generan las burbujas, además se agrega un tamaño aproximado de las burbujas con el afán de tener una perspectiva para la comparación

En el anexo D, se encuentran las trayectorias para todas las burbujas, además se agregan gráficos 3d para apreciar las trayectorias completas de cada burbuja, cabe destacar que estos gráficos no están hechos en la misma escala, ni tampoco se enmarcan un dominio de dimensiones iguales al dominio simulado.

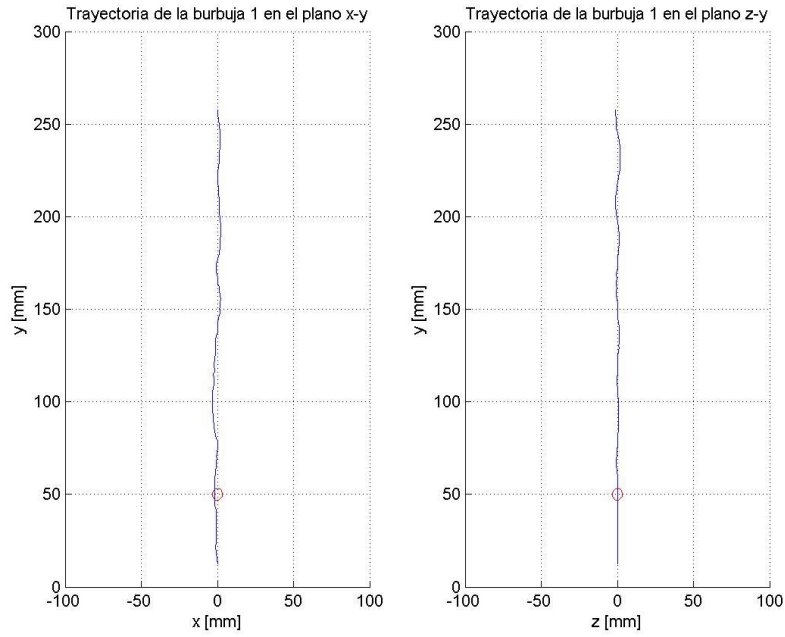


Figura 5.25: Trayectoria ascendente para la burbuja 1

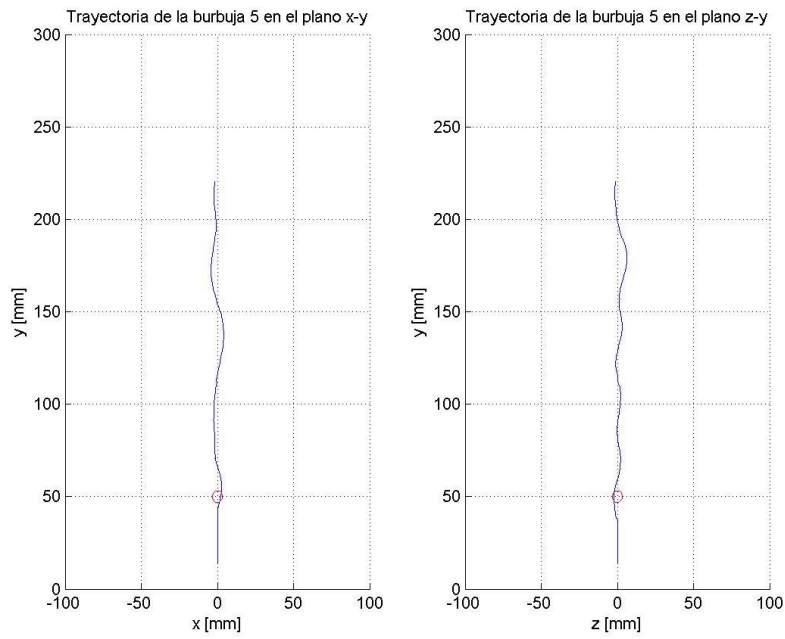


Figura 5.26: Trayectoria ascendente para la burbuja 5

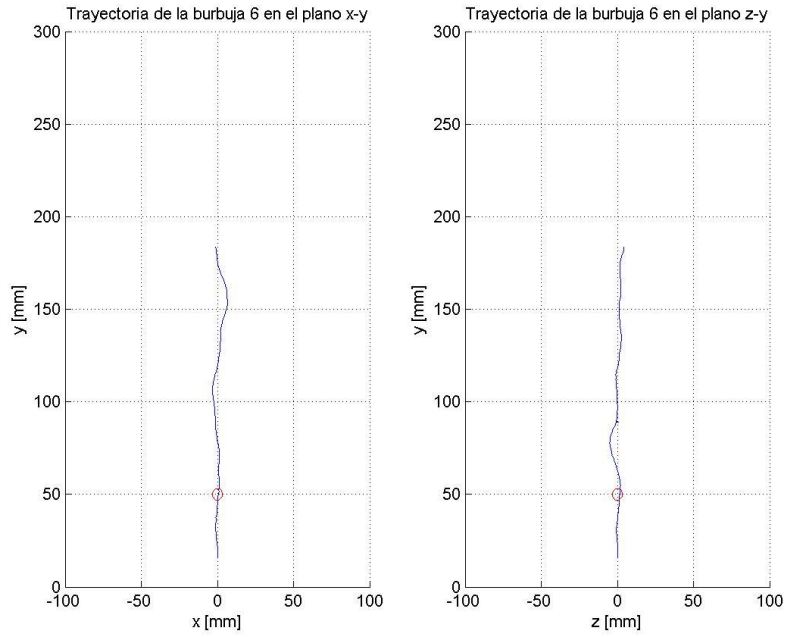


Figura 5.27: Trayectoria ascendente para la burbuja 6

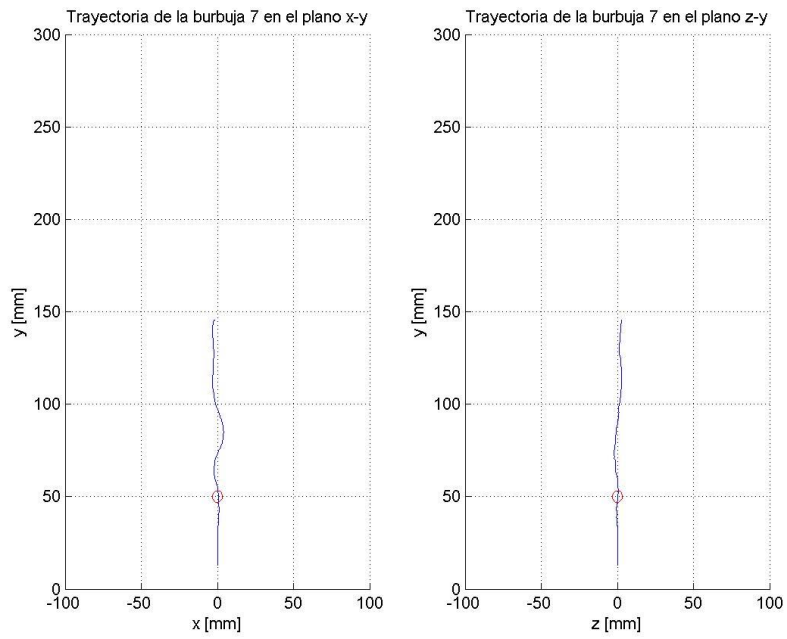


Figura 5.28: Trayectoria ascendente para la burbuja 7



### 5.3.5 Presión Total

En la Figura 5.29 se muestra una imagen de contorno con los niveles de presión total, en la figura además se observa en negro la posición de cada burbuja generada en ese instante de tiempo, esto facilita observar el aumento de presión en comparación con la presión hidrostática esperada debido a la existencia de una burbuja.

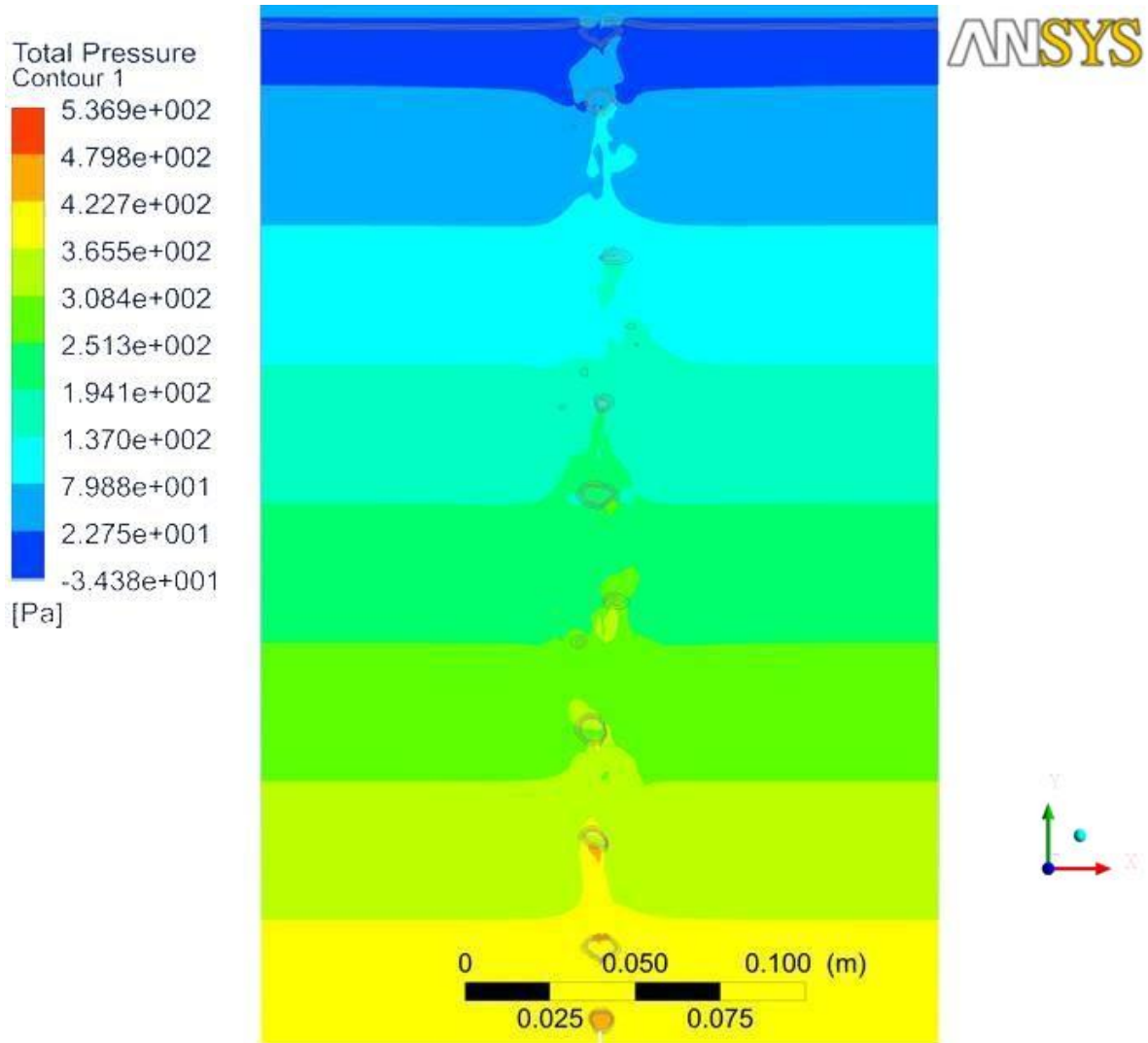


Figura 5.29: Contornos de presión total en el tiempo 1152 [ms], instante que primera burbuja alcanza superficie libre

## 6 Discusiones y Conclusiones

**La predicción del volumen de una burbuja es más complejo y tiene un margen de error más grande en comparación con la predicción de velocidad o forma.** Con respecto al análisis de los modelos teóricos utilizados, y los resultados experimentales que se recopilaron, es posible observar que al momento de determinar el volumen de la burbuja, los resultados distan en buena medida de lo obtenido en los experimentos, generalmente la predicción del volumen es menor a la obtenida en los experimentos consultados.

**Los modelos teóricos para predecir la velocidad terminal de la burbuja son bastante acertados.** En el caso de determinar la velocidad terminal de la burbuja, se observa que el modelo es bastante simple y hay una gran precisión en la velocidad predicha, ya que como se puede ver de la Figura 2.7, el método presentado por Baz Rodriguez [4], se ajusta bastante bien a los datos experimentales obtenidos por Duineveld [7].

**Con respecto al volumen de la burbuja, se puede decir que el modelo utilizado (sección 2.4) es más aceptable para valor de flujo volumétrico inferior a  $10 \text{ mm}^3/\text{s}$ .** Esto se puede apreciar observando la Tabla 5.1 ya que en los casos con flujo volumétrico inferior a  $10 \text{ mm}^3/\text{s}$ , se encuentran errores en la predicción menores al 10%. En particular se puede observar el caso ilustrado en la Tabla 5.2, en que se compara un caso específico obtenido por el trabajo de C. Wanhg [6], en este se puede observar claramente que la predicción de volumen realizada es bastante aceptable, este caso particular se logró realizar dado que los datos estaban explícitos en el documento referenciado, no es así en el caso de la Tabla 2.3, que fue usada para la construcción de la Tabla 5.1, ya que los volúmenes tabulados fueron extraídos de forma minuciosa desde un gráfico disponible en el documento referenciado. La Tabla 2.1 y Tabla 2.2 también permiten tener una idea de la eficacia del modelo utilizado para predecir el volumen, en este caso los valores tabulados en la columna “calculado” corresponden a los volúmenes según el modelo presentado en este trabajo, la tabla incluye además del dato experimental un volumen calculado con el modelo propuesto por Deshpande [3], nuevamente se observa que para mayores caudales el modelo aumenta su error.

**La caracterización de la burbuja mediante el diagrama de Clift et al arroja un resultado aceptable.** Para realizar una comparativa que permita verificar la utilidad del diagrama presentado en la Referencia: Clift, Grace y Weber

Figura 2.1, se tiene solo el caso particular mostrado en la Tabla 5.2, en esta se puede observar una imagen de la burbuja obtenida experimentalmente. Según el diagrama la clasificación de la burbuja se encuentra entre los límites de la familia de burbujas wobbling y elipsoidal (más cerca de la familia wobbling), que se acerca bastante a la imagen mostrada, en la cual la burbuja puede ser calificada como elipsoidal.

**Los parámetros necesarios (diámetro de inyector y caudal de aire) para generar burbujas esféricas tienen valores muy extremos.** Para buscar los valores de las variables diámetro de inyector y flujo de aire que generen burbujas dentro de la familia de burbujas esféricas o se acerquen lo más posible, utilizando 4 diámetros (0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm)

y 4 flujos ( $5 \text{ mm}^3/\text{s}$ ,  $50 \text{ mm}^3/\text{s}$ ,  $800 \text{ mm}^3/\text{s}$ ,  $3000 \text{ mm}^3/\text{s}$ ), con los que se construyeron las Tabla 5.3 a la Tabla 5.10. Como se observa de las tablas y del diagrama de la Figura 2.1, es necesario tener burbujas de tamaño muy pequeños para lograr acercarse o entrar en la familia de las burbujas esféricas, se está hablando de burbujas del orden de 1 mm de diámetro equivalente. De las tablas, se observa que aún para diámetros de inyector tan pequeños como 0,5 mm y flujos de aire de  $5 \text{ mm}^3/\text{s}$ , el diámetro equivalente obtenido es cerca de los 3 mm, Cayendo en el rango de burbujas elipsoidales. La dificultad en encontrar los valores para obtener burbujas en el rango deseado ha sido uno de los problemas que ha consumido mayor tiempo.

**Una malla no uniforme tiene mayor influencia en los resultados de la simulación que el refinado de la malla.** Considerando los resultados numéricos de la sección sobre la variación de malla, se tiene que los resultados no distan mucho unos de otros cuando se procede con refinamientos de malla, sin embargo durante el trabajo existieron algunas simulaciones que evidentemente arrojaban resultados erróneos, la superficie libre de agua se comenzó a deformar en niveles extremadamente altos, por lo cual se podía asegurar que no correspondía a una simulación exitosa. Al analizar a fondo estos casos, se descubrió que el problema no tenía que ver con el número de elementos, sino con la uniformidad de la malla, en esta existían elementos que aun siendo cuadriláteros, estos no tenían sus lados perfectamente ortogonales entre sí, por lo tanto, al existir en algunos puntos de la malla una pequeña inclinación de los lados de los elementos, el rastreo de la interface seguramente no era totalmente eficaz y tendía a deformarse.

**Los resultados cualitativos de las simulaciones sobre la variación de malla, expone grandes cambios en los sucesos ocurridos.** Los resultados obtenidos de las simulaciones concernientes a la variación de malla muestran que los valores observados de volumen, velocidad y forma, convergen y se acercan bastante a lo esperado, sin embargo el historial de eventos ocurridos en la simulación difieren mayormente, esto último se refiere a que un pequeño cambio en alguna propiedad o valor, ya sea velocidad, volumen, periodo de formación, etc. implica un cambio en la evolución de la simulación, ejemplificando se puede decir que, si en una simulación una burbuja se forma en un periodo de 45 ms y en otra tarda 42 ms, este pequeño cambio provoca que en esta última el periodo de formación puede ser tal que la burbuja entre en la estela de su predecesora y termine entrando en coalescencia con ella, generando con esto grandes cambio en la evolución de la simulación.

**Las simulaciones 2D muestran buenos resultados en general salvo en la forma esperada de la burbuja.** En todas las simulaciones se puede observar que tanto el volumen como la velocidad de la formación obtenida en las simulaciones están en un orden muy cercano a lo esperado, sin embargo en cuanto a la forma, se obtuvieron burbujas clasificables dentro de la familia “Spherical Cap”, mientras que, lo esperado debiese ser “Wobbling”. Esto se puede relacionar con la simulación axi-simétrica, ya que la simulación se llevó a cabo en la mitad del dominio y la otra mitad corresponde a la simetría de la primera mitad, es obvio que se obtendrá un campo de velocidades simétrico, y forma simétrica, por lo tanto es bastante complejo obtener una burbuja del tipo “Wobbling”.

**La variación de diámetro de inyector, tiene mayor influencia en las burbujas generadas que la variación de velocidad de inyección.** Las simulaciones 2D muestran que aumentar el diámetro de inyector genera burbujas mucho más grande y en un mayor porcentaje que aumentar la velocidad de inyección de aire, esto se explica fácilmente por el caudal de aire inyectado, ya que en la fórmula de caudal, el aumentar la velocidad del aire inyectado aumenta el caudal en forma proporcional, en el caso del diámetro, el aumento es en una potencia de 2. A esto se debe sumar el hecho de que los periodos de formación de burbuja no varían significativamente en las simulaciones de variación de inyección de aire, no es lo mismo en la variación de diámetro, en el cual si se aprecia una variación en el periodo de formación de burbuja más considerable.

**El aumento del caudal de aire inyectado implica un aumento en el volumen de las burbujas y velocidad.** Esto se puede observar en las secciones de variación de diámetro y velocidad de inyección, en ambas, la acción equivalente al aumento de caudal implica un aumento en el volumen de las burbujas, por lo tanto, considerando que el periodo de formación de burbuja cambia en los dos casos, el aumento de caudal implica un mayor aumento del volumen generado, más aún, en el caso de variación de diámetro de inyección el aumento del diámetro no solo evidencia un aumento del caudal de inyección, sino también un aumento considerable del periodo de formación de burbujas. Con respecto a la velocidad, esto es fácilmente explicable por el aumento del volumen, lo cual implica una mayor fuerza de empuje, y al no existir gran diferencia en la forma de la burbuja, no existe un aumento en la fuerza de arrastre que pueda compensar el aumento del empuje.

**Dadas las discusiones anteriores se pueden usar como referencia comparativa los modelos teóricos recopilados y se escogió simular en 3D con un diámetro de 1 [mm] y velocidad de inyección 3,5 [m/s].** Como se ha comentado antes, los resultados obtenidos del análisis de los modelos teóricos generan errores aceptables, con los cuales se puede realizar una comparativa posterior con la simulación, de modo de poder calificar simulación como exitosa en términos de resultados. Además se escogió un diámetro de inyector de 1 mm, puesto que es un diámetro para el cual se tienen valores experimentales para comparar, pero ante la dificultad de generar una burbuja esférica con un flujo de aire constante, se eligió utilizar un flujo de aire alto, para intentar crear burbujas de mayor tamaño y forma diferente y así privilegiar la visualización de trayectorias no rectas.

**El volumen de las burbujas simuladas en promedio corresponde en buena medida con lo esperado según el modelo teórico planteado, además se observan grupos de burbuja con un volumen similar.** El promedio del radio equivalente de las burbujas obtenidas en la simulación corresponde a 3,5 mm, y lo predicho por el modelo teórico planteado en este trabajo es de 3,0 mm, es así que se puede validar la simulación con respecto a este parámetro. Se observa de la tabla de volúmenes de las burbujas generadas, que existen un primer grupo de burbujas con un volumen relativamente similar, (4 primeras), luego existe un segundo grupo de burbujas generadas con un volumen mayor relativamente similar (6 burbujas) y finalmente, las últimas 2 burbujas generadas con un volumen similar, pero menor a sus antecesoras. Se puede relacionar estos conjuntos de burbujas con los campos de velocidad existentes en cada instante, ya que el desprendimiento de una burbuja tiene que ver con que

las fuerzas ascendentes son mayores que las descendentes, es así que para la primera burbuja existe un mayor volumen con respecto a las 3 posteriores en su mismo rango ya que al principio no existía un campo de velocidad notorio que impulsara a la burbuja a liberarse antes, no es así con las 3 burbujas posteriores que se generan en un dominio en el cual existe un campo de velocidad alterado por el paso de la primera burbuja. De modo similar se puede razonar para el segundo grupo de burbujas tomando en consideración la estabilización del campo de velocidades porque en el momento de la generación de la quinta burbuja, la burbuja 2 y 3 habían entrado en coalescencia con la burbuja 1. Cabe mencionar que en el caso específico para determinar el volumen usando la relación expuesta en la sección 2.4, es necesario asumir una condición para resolver las ecuaciones, la condición establecida por el autor del modelo, asume que el largo del cuello formado de la burbuja es igual al radio de la burbuja en la etapa de expansión, lo cual no ocurre en las simulaciones

**La frecuencia de generación de burbujas se mantiene relativamente constante.** Observando la Tabla 5.25 se tiene que los periodos de formación de burbujas son muy pequeños, del orden de centésimas de segundo, variando muy poco entre burbuja y burbuja, exceptuando el caso de la burbuja 2 y 4 en que el periodo está por debajo del rango de valores de las otras 10 burbujas, esto se puede explicar una vez más por el campo de velocidades existentes en esos instantes, se tiene que la frecuencia de generación de burbujas es de 14,9 burbujas por segundo.

**La velocidad ascendente de las burbujas simuladas se ven favorecidas por la alta frecuencia de generación de burbujas, encontrándose sobre el rango de velocidades esperado.** Según el modelo teórico presentado en la sección 2.5, la velocidad esperada para burbujas con un diámetro equivalente como las simuladas, entran en un rango cercano a los 0,25 m/s, sin embargo los datos obtenidos de la simulación muestran velocidades por sobre este valor, en promedio una velocidad de 0,33 m/s, inclusive alcanzando la burbuja 2 la velocidad de 0,4 m/s. con respecto esto se puede atribuir la velocidad nuevamente al campo de velocidades, y a la frecuencia de generación de burbujas. Al haber una alta frecuencia de generación de burbujas, cada burbuja generada se encuentra muy cercana a su predecesora, entrando así en su campo de velocidad, esto puede favorecer el movimiento ascendente de la burbuja. Esta conclusión se ve reforzada si se toma en consideración que la mayoría de los modelos teóricos para el cálculo de la velocidad terminal de una burbuja, se realizan tomando en cuenta que la burbuja se encuentra aislada, es el caso del modelo teórico utilizado, lo mismo ocurre con los experimentos que intentan medir la velocidad de la burbuja

**Existe un aumento de velocidad en las burbujas que se encuentran cerca de sus predecesoras.** Esto se puede observar claramente en la Figura 5.14, en la que es evidente el aumento de velocidad de la burbuja 4 hacia el final de la curva, esto ocurre en la simulación momentos antes de entrar en coalescencia con la burbuja 1 (mencionar que la burbuja 1 ya había entrado en coalescencia con la burbuja 2 y 3, y se supondrá que estas, la 2 y 3 se agregan a la burbuja 1 sobreviviendo esta última). Este aumento de velocidad se puede explicar por la cercanía a una burbuja predecesora, al encontrarse esta en niveles superiores, la burbuja que se encuentra por debajo entra dentro de la estela dejada por la burbuja predecesora, esto ayuda a reducir la fuerza de arrastre que limita la velocidad ascendente, se considera que este

efecto es trascendental en el aumento de velocidad pero también se puede volver a mencionar que la burbuja entra dentro del campo de velocidades de su predecesora.

**La forma de las burbujas simuladas coincide con la caracterización que predice el diagrama de Clift et al.** Según el diagrama de la figura Figura 2.1 para burbujas generadas con un número de Eo de 1,6 y número de Re alrededor de 2200, se esperan burbujas de clasificación “wobbling”, y observando las imágenes que se encuentran en los anexos, se puede clasificar a las burbujas en esta familia, ya que no existe una forma clara y definida para alguna de las burbujas.

**La trayectoria de las burbujas simuladas se aleja bastante de la recta y se relacionan con el volumen de la burbuja.** Como era esperable de la simulación se obtuvieron trayectorias no rectas (salvo la burbuja 2), en promedio cada burbuja se movió fuera de la recta en un 44,3% en relación a su diámetro equivalente y cabe destacar que la burbuja con una mayor amplitud de movimiento, esto es 6,5 mm (81,3% de su diámetro equivalente), es también la burbuja con mayor volumen generado (burbuja 6), lo mismo pasa con la burbuja 5, la cual es la segunda mayor burbuja generada y a la vez la segunda burbuja con mayor amplitud de movimiento. Está relación también se puede observar en algunas de las relaciones teóricas mostradas en la sección 2.7 que usan como referencia el diámetro equivalente para establecer un movimiento recto, zigzag u espiral de la burbuja. Se debe dejar fuera de análisis la burbuja 9 y posteriores, ya que al ser generadas estas en un tiempo tardío existe aún una trayectoria muy corta para observar mayores amplitudes de movimiento.

**Las trayectorias de las burbujas tienden a ser en espiral, pero con una gran variabilidad.** De los gráficos presentados para la trayectoria ascendente de las burbujas y los gráficos 3D de la trayectoria en los anexos, se puede observar que las burbujas tienden hacia movimientos espirales, como es predicho para burbujas con un diámetro equivalente grande según los modelos teóricos. Pero estas espirales no son uniformes, se presencia en algunos casos el cambio de dirección de la espiral, así como también se observa que en general las espirales no se describen con una disminución de curvatura relativamente constante. Esto se puede relacionar con 2 factores, la coalescencia de burbujas evidentemente influye en la trayectoria, al momento de la coalescencia, ambas burbujas poseen velocidades diferentes en dirección y magnitud, por lo tanto al combinarse las burbujas, es claro que la velocidad se puede alterar en gran razón. El otro factor que se puede relacionar a esto es la forma de la burbuja, como las burbujas no son simétricas, se observa que al moverse en distintas dirección cada burbuja, además se perfila en forma diferente, variando así el área transversal al flujo de agua que atraviesa, esto cambia la fuerza de arrastre de la burbuja, como la forma además no es simétrica, la fuerza que recibe la burbuja la hace perfilarse y atacar el flujo en distintas formas, impidiendo que se mueva de una manera más simétrica.

**La comparación entre la simulación 2D y 3D muestra resultados bastante similares en el volumen y velocidad de la burbuja.** El volumen de burbuja esperado para las condiciones de la simulación 3D, según los modelos teóricos corresponde a 3,0 mm. El resultado obtenido en la simulación 3D corresponde a 3,5 mm, mientras que en el caso de la simulación 2D equivalente se obtuvo 2,95 mm. Con respecto a la velocidad se tiene que, según el modelo

teórico la velocidad debiera ser 0,25 m/s, el resultado de la simulación 3D muestra burbujas con una velocidad de 0,34 m/s, y la simulación 2D tiene burbujas con velocidad de 0,38 m/s. Dados los resultados comentados anteriormente es fácil ver que no hay gran diferencia entre ambas simulaciones con respecto a estos parámetros, la única diferencia existente es la mayor velocidad obtenida en ambas simulaciones con respecto a lo teórico, pero las razones de esto ya ha sido discutido anteriormente. Cabe destacar que aun cuando los volúmenes son aceptablemente parecidos entre las simulaciones, la frecuencia de generación de burbujas cambia considerablemente, 15 [Hz] para la simulación 3D, y 25 [Hz] para la simulación 2D.

**Si se necesita una simulación que permita conocer el volumen y velocidad de las burbujas obtenidas, basta con una simulación 2D, pero si es necesario saber acerca de las formas, movimiento y sucesos importantes, es preferible una simulación 3D.** Por lo comentado anteriormente es fácil ver que para volumen y velocidad, la simulación 2D arroja buenos resultados, sin embargo no es capaz de predecir bien la forma de las burbujas, tampoco el movimiento lateral y espiral. El cambio en la frecuencia de generación de burbujas también puede ser un problema ya que podría implicar coalescencia o no de burbujas y en definitiva, como se ha mencionado antes, la particularidad de este problema es que algunos pequeños cambios en el sistema puede generar un resultado final completamente diferente, por lo que predecir con buena precisión los eventos de un experimento como este puede ser demasiado ambicioso.

**Se ratifica el uso de un modelo numérico para resolver problemas complejos relacionados con el tema de esta memoria.** Finalmente en relación a las conclusiones generadas y las comparaciones, primero entre los modelos teóricos y resultados experimentales, se logra validar los modelos teóricos con cierto rango de error, y dada la comparación de los modelos teóricos con respecto a los resultados obtenidos por la simulación se puede validar esta última como una simulación exitosa, y también se ratifica el uso de un modelo numérico como una buena herramienta para obtener resultados de problemas complejos.

## 7 Bibliografía

- [1] R. Clift, J. Grace, M. Weber, Bubbles, drops, and particles, New York, San Francisco, Londres: Academic Press, 1978.
- [2] D. Azbel, Two phase flows in chemical engineering, Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1981.
- [3] D.A. Deshpande, M.D. Deo, F.V. Hanson y A.G. Oblad, «A model for the prediction of bubble size at a single orifice in two-phase gas-liquid systems,» *Pergamon press*, vol. 47, nº 7, pp. 1669-1676, 1992.
- [4] Baz Rodriguez, Aguilar Corona, A. Soria, «Rising velocity for single bubbles in pure liquids,» *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica*, vol. 11, nº 2, pp. 269-278, 2012.
- [5] Davidson, J. F. y Schüler, «Bubble formation at an orifice in an inviscid liquid,» *Trans Instm Chem. Engrs*, vol. 2, nº 38, pp. 335-342, 1960.
- [6] Wang Hongyi, Dong Feng, Bian Yuchen y Tan Chao, «Improved correlation for the volume of bubble formed in air-water system,» *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 19, nº 3, pp. 529-532, 2011.
- [7] P. C. Duineveld, «The rise velocity and shape of bubble in pure water at high reynolds number,» *Cambridge University Press*, vol. 292, nº 1, pp. 325-332, 1995.
- [8] A. Wilhelmus, «Path and wake of a rising bubble,» A.W.G. de Vries, Enschede, The Netherlands, 1972.
- [9] FLUENT 12, *Theoretical guide*, FLUENT Incorporated, 2010.
- [10] W. L. Haberman, R. K. Morton, An experimental investigation of the drag and shape of air bubbles rising in various liquids, Washington D. C.: Document Service Center Knott Building , 1953.
- [11] E. Delnoij, «Fluid Dynamics of Gas Liquid Bubble Columns,» Universiteit Twente, Enschede, The Netherlands, 1999.
- [12] Mariano Martín, Francisco J. Montes, Miguel A. Galán, «On the influence of the liquids physical properties on bubble volumes and generation times,» vol. 61, 2006.
- [13] Mingming Wu y Morteza Gharib, «Experimental studies on the shape and path of small air bubbles rising in clean water,» *Physics of Fluids*, pp. 49-52, 2002.



- [14] N.M.S.Hassan, M.M.K. Khan, M.G. Rasul, «Bubble rise phenomena in non newtonian crystal suspension,» Intech, 2012.
- [15] O. Miyagi, «The motion of an air,» *Philosophical Magazine*, pp. 112-140, 2009.
- [16] C. M., Simulacion numerica de la inyeccion gaseosa en un liquido, Santiago, Chile: Universidad de Chile, 2002.
- [17] P. C., The fluid Dynamics of bubble column flows., Saint Louis, Missouri, USA: Washington University sever institute of technology department of chemical engineering, 2004.
- [18] A. W. G. d. Vries, «Path and wake of a rising bubbles,» University Twente, Enschede, Netherlands, 2001.
- [19] S. Ozdemir, «Investigation of air bubble motion in water through vertical narrow rectangular channel by using image processing techniques,» Middle east technical university, 2005.
- [20] FLUENT 12, *User guide*, FLUENT Incorporated, 2010.

## **Anexos**

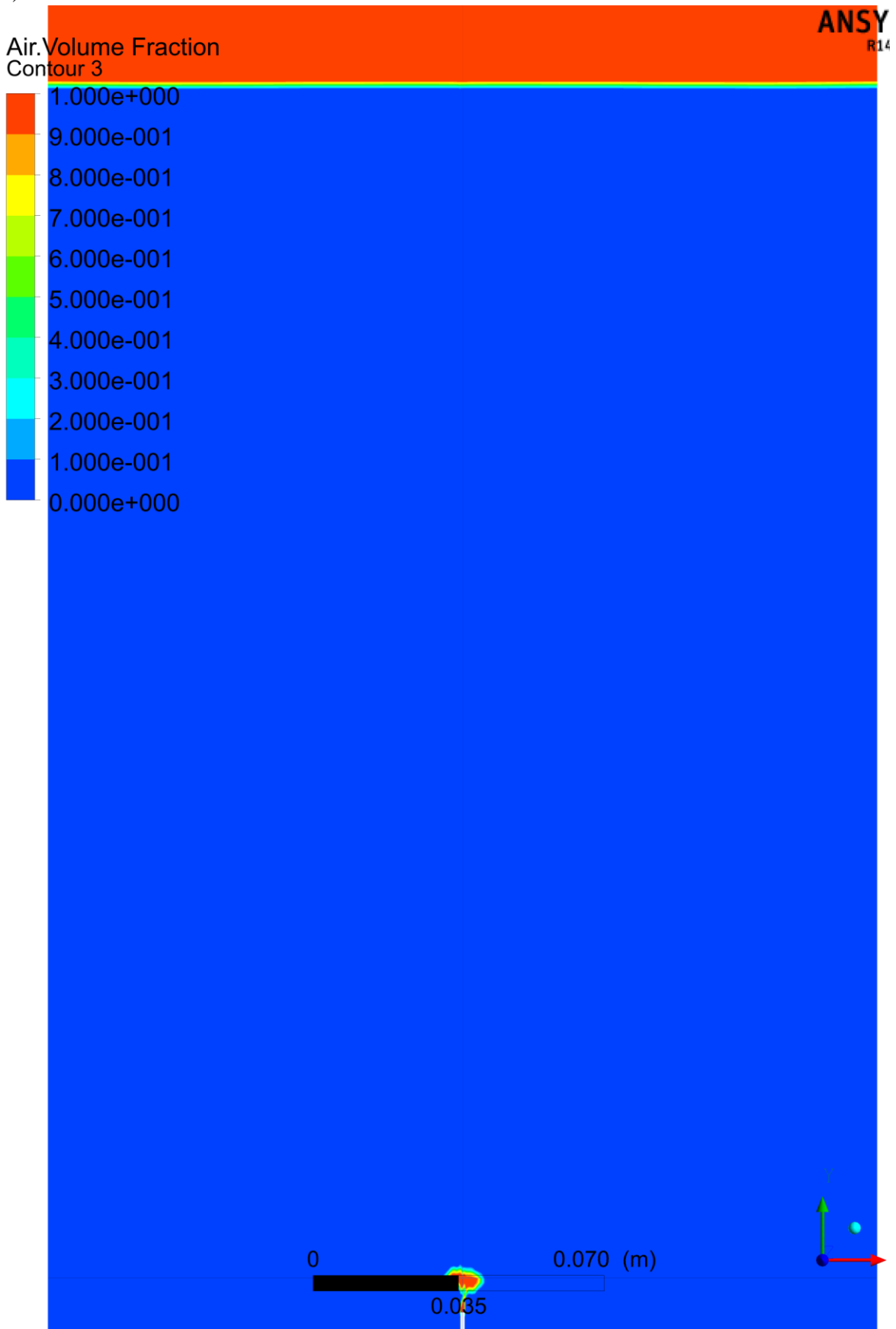
## Anexo A : Evolución de las burbujas en el tiempo

### **Anexo A1: Evolución de las burbujas en el dominio completo**

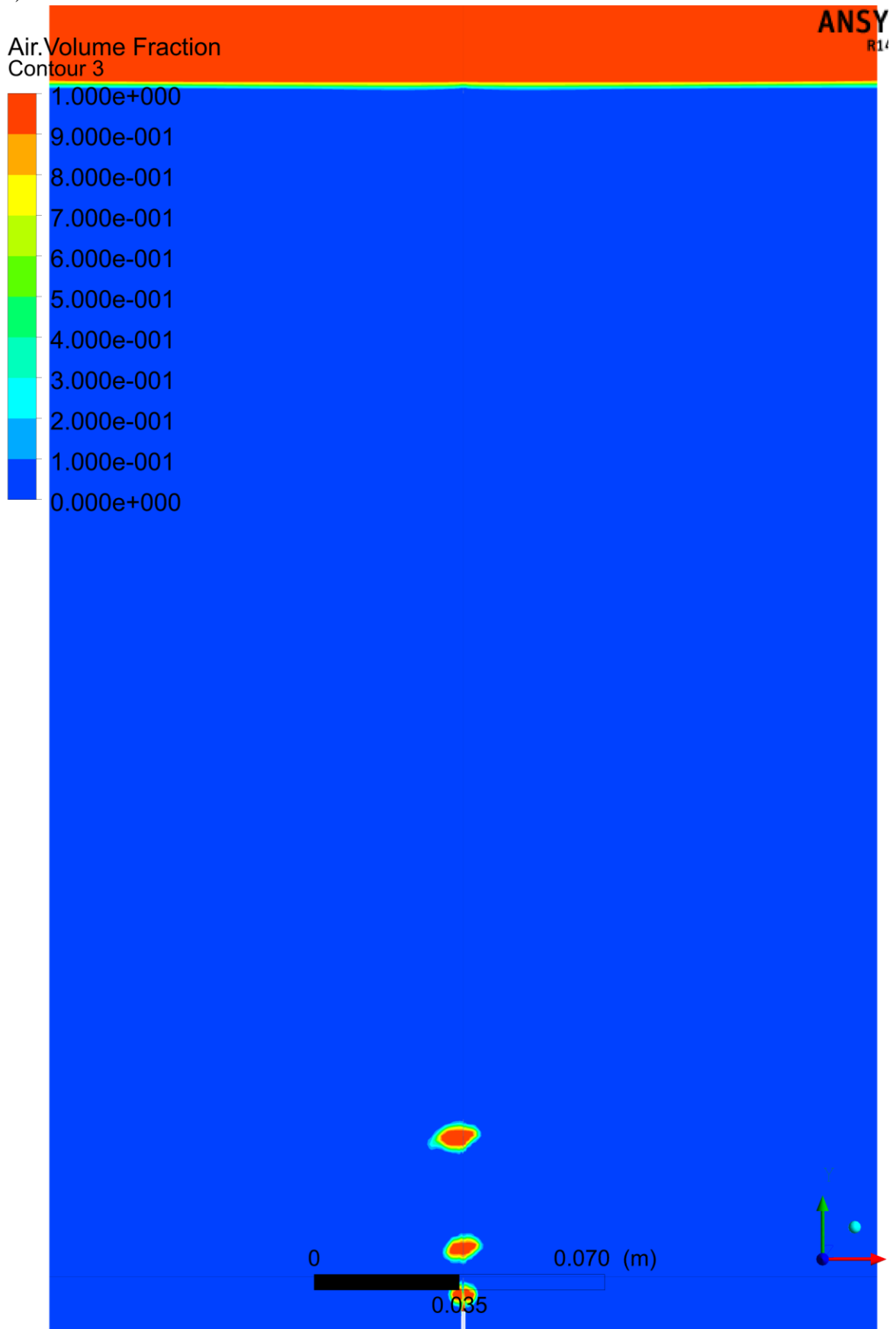
A continuación se muestran imágenes del dominio completo que muestra la evolución de burbujas en el tiempo

- a)  $t = 72$  [ms]
- b)  $t = 216$  [ms]
- c)  $t = 360$  [ms]
- d)  $t = 505$  [ms]
- e)  $t = 649$  [ms]
- f)  $t = 794$  [ms]
- g)  $t = 938$  [ms]
- h)  $t = 1083$  [ms]
- i)  $t = 1200$  [ms]
- j)  $t = 1299$  [ms]

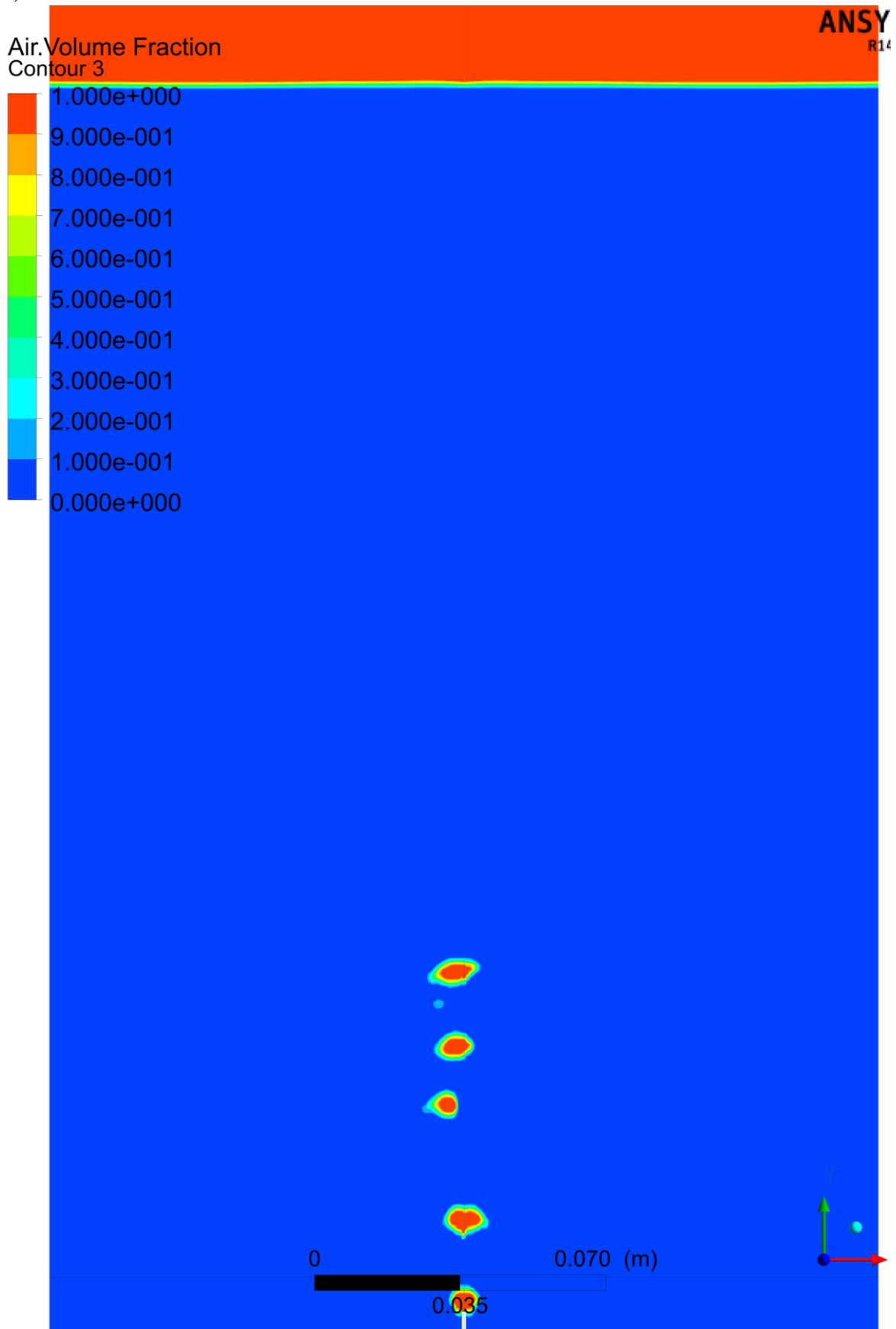
a)



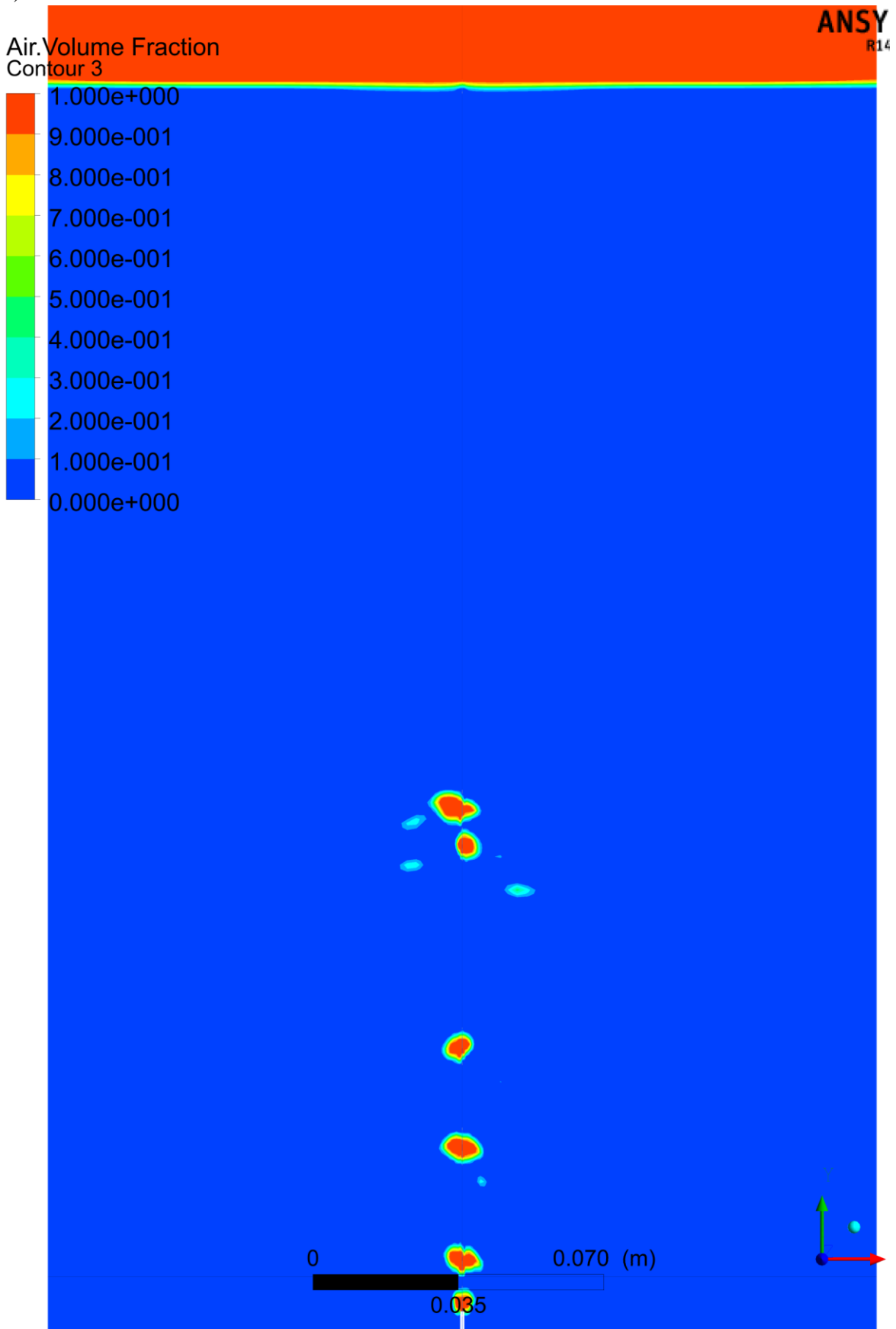
b)



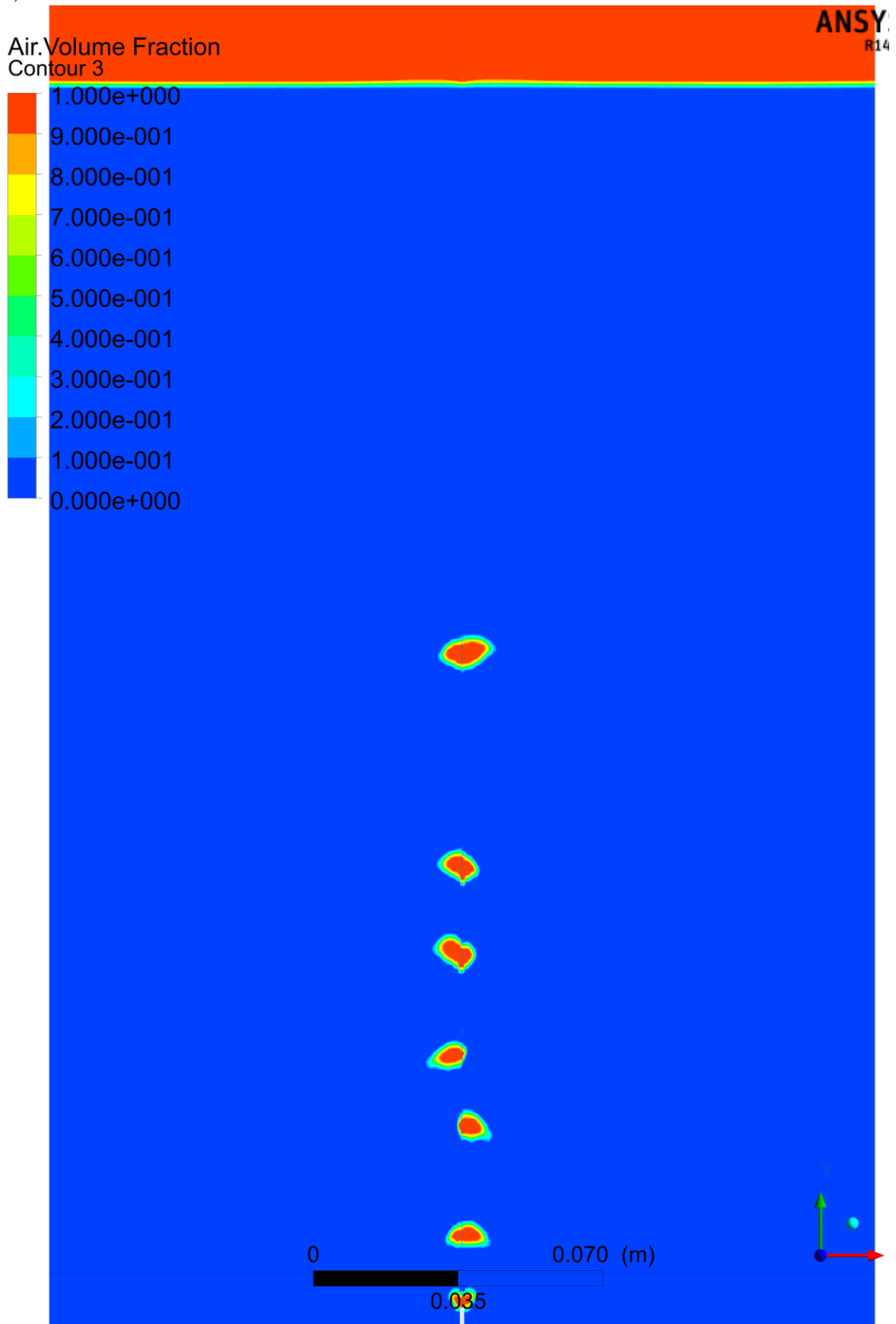
c)



d)

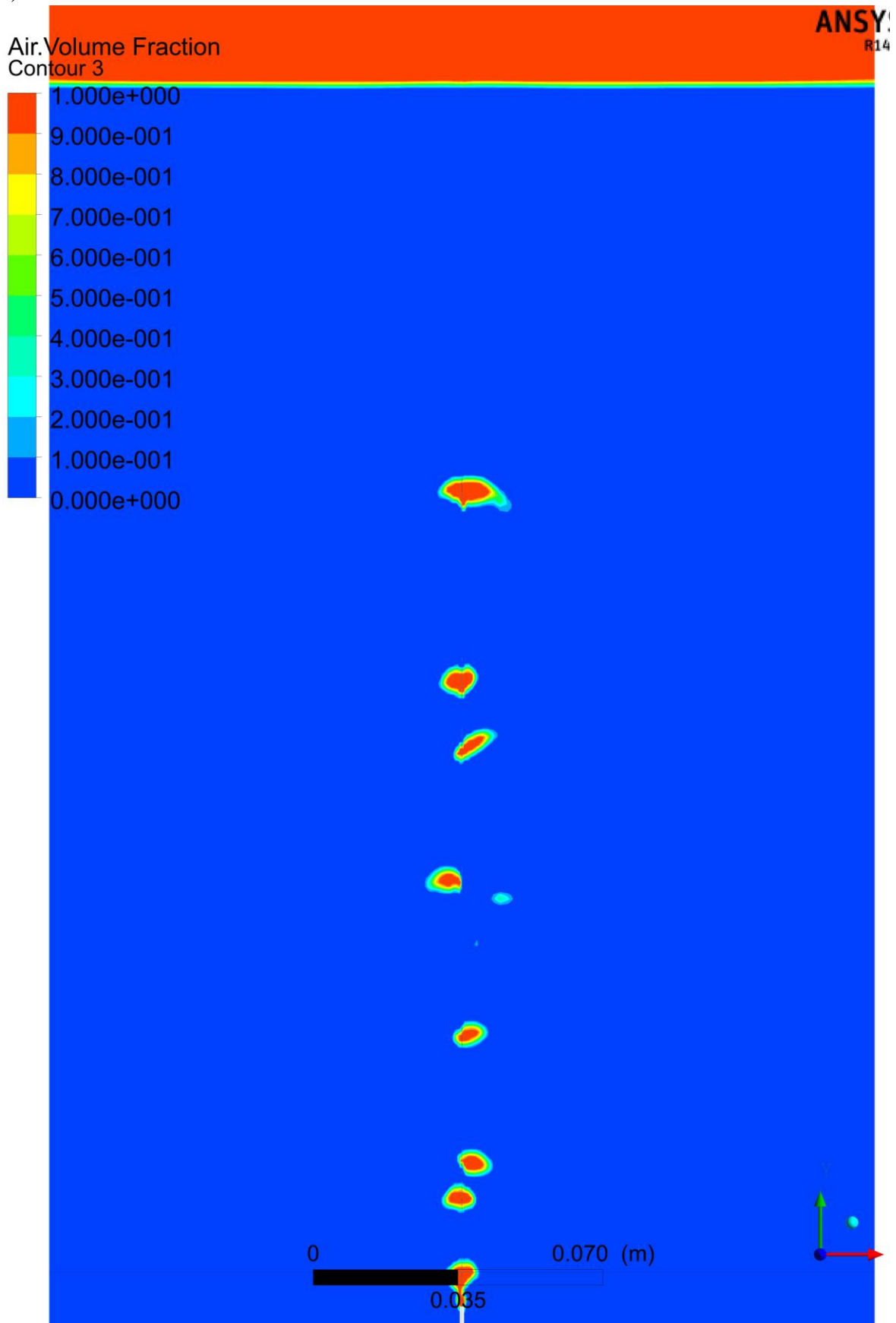


e)

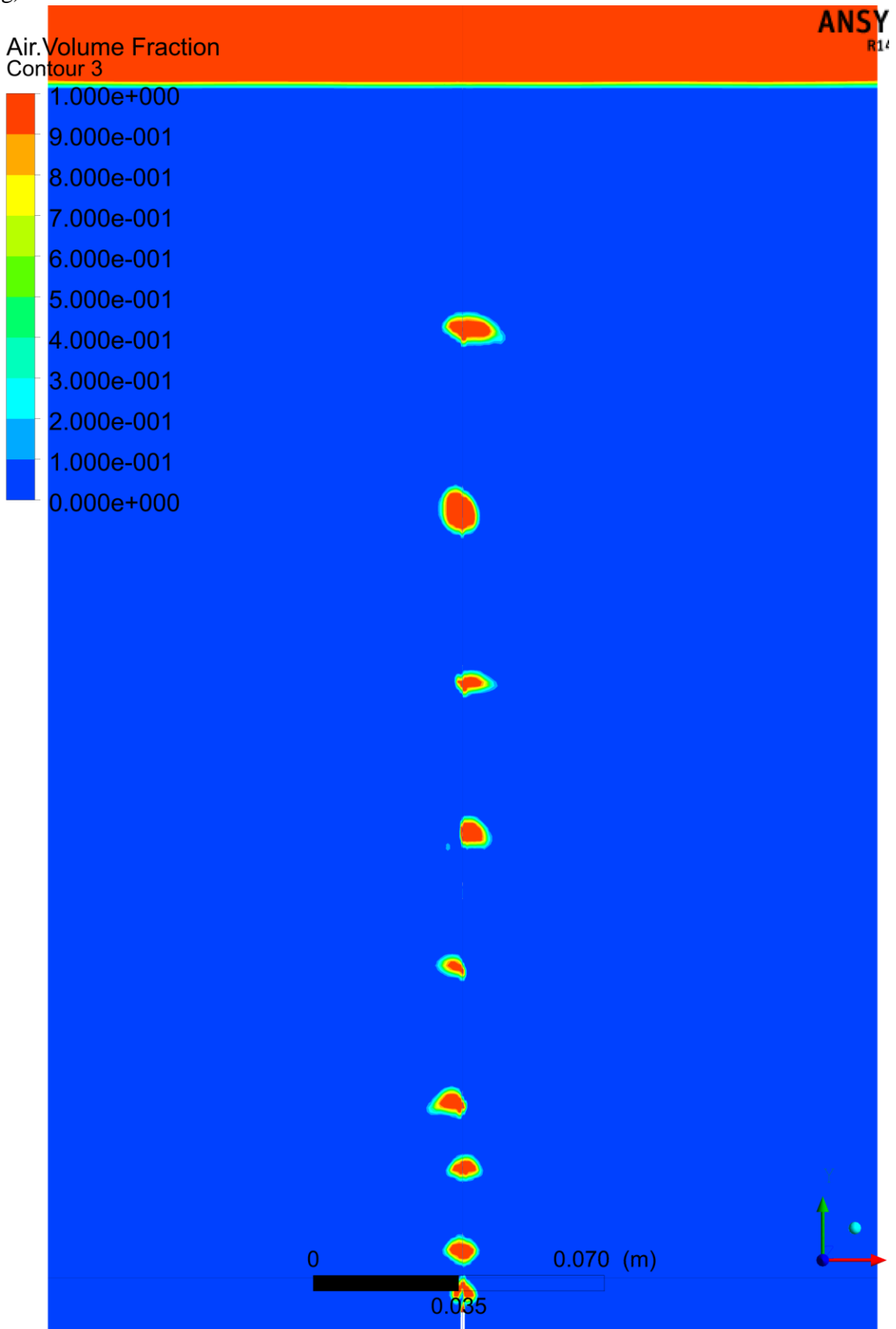




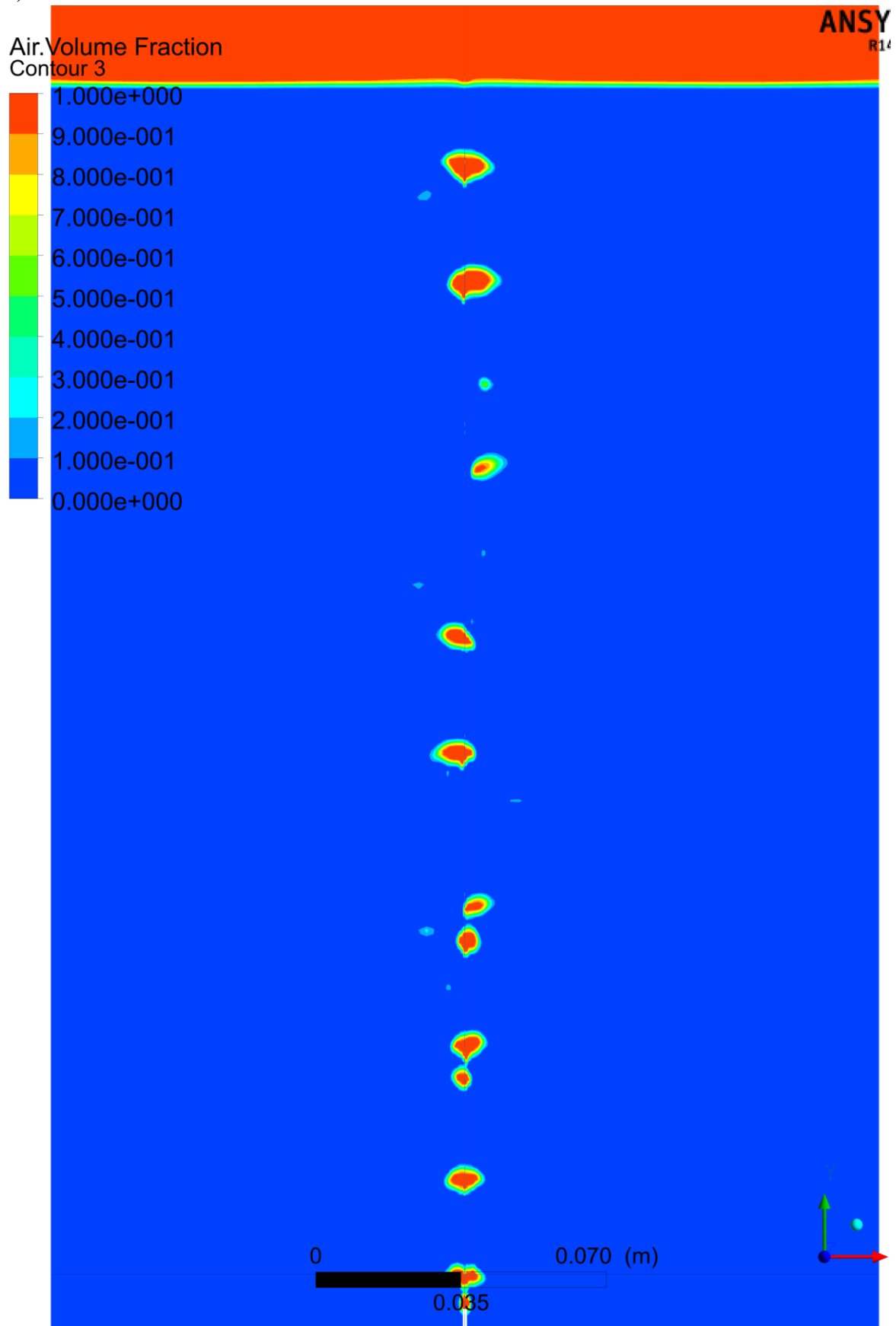
f)



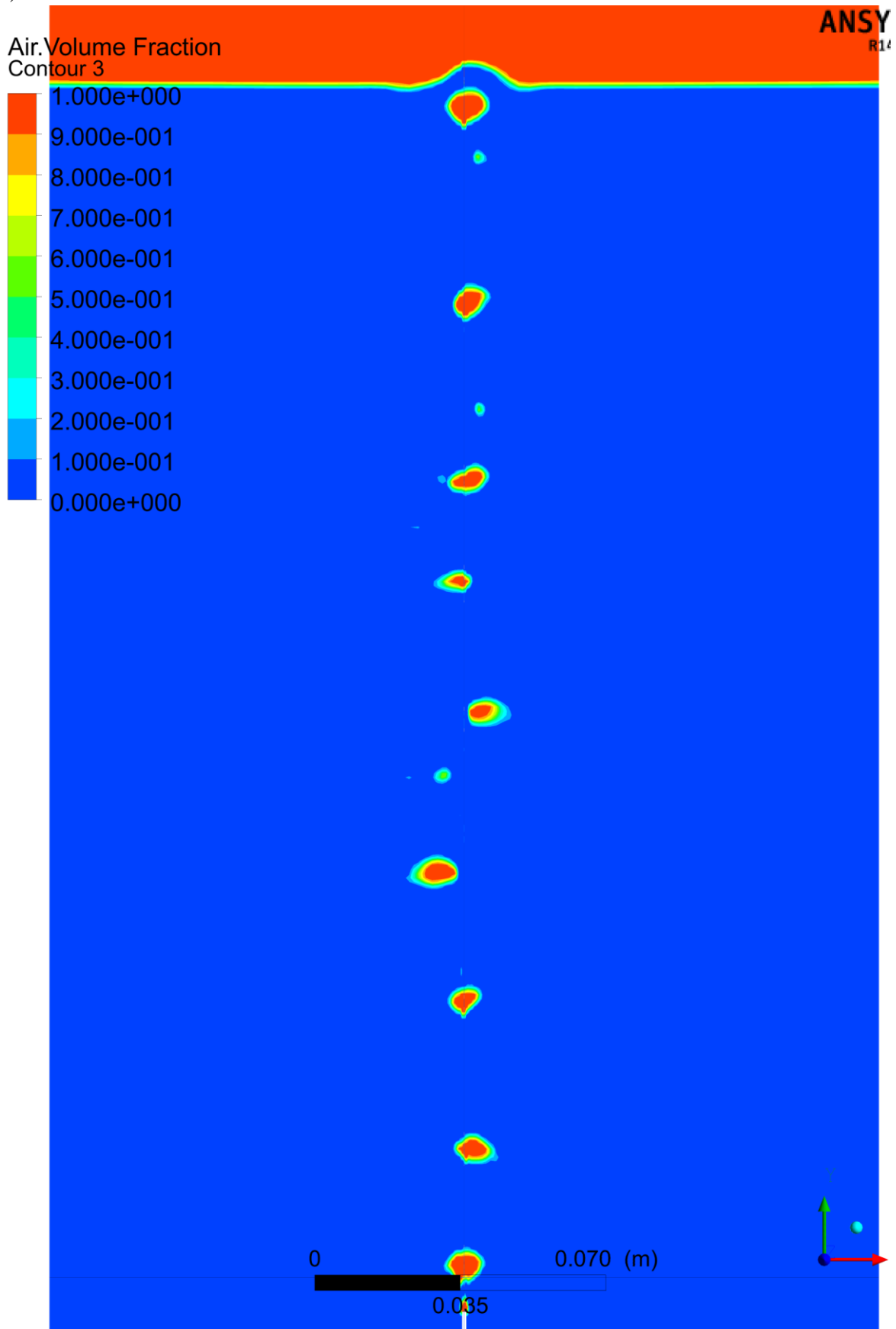
g)



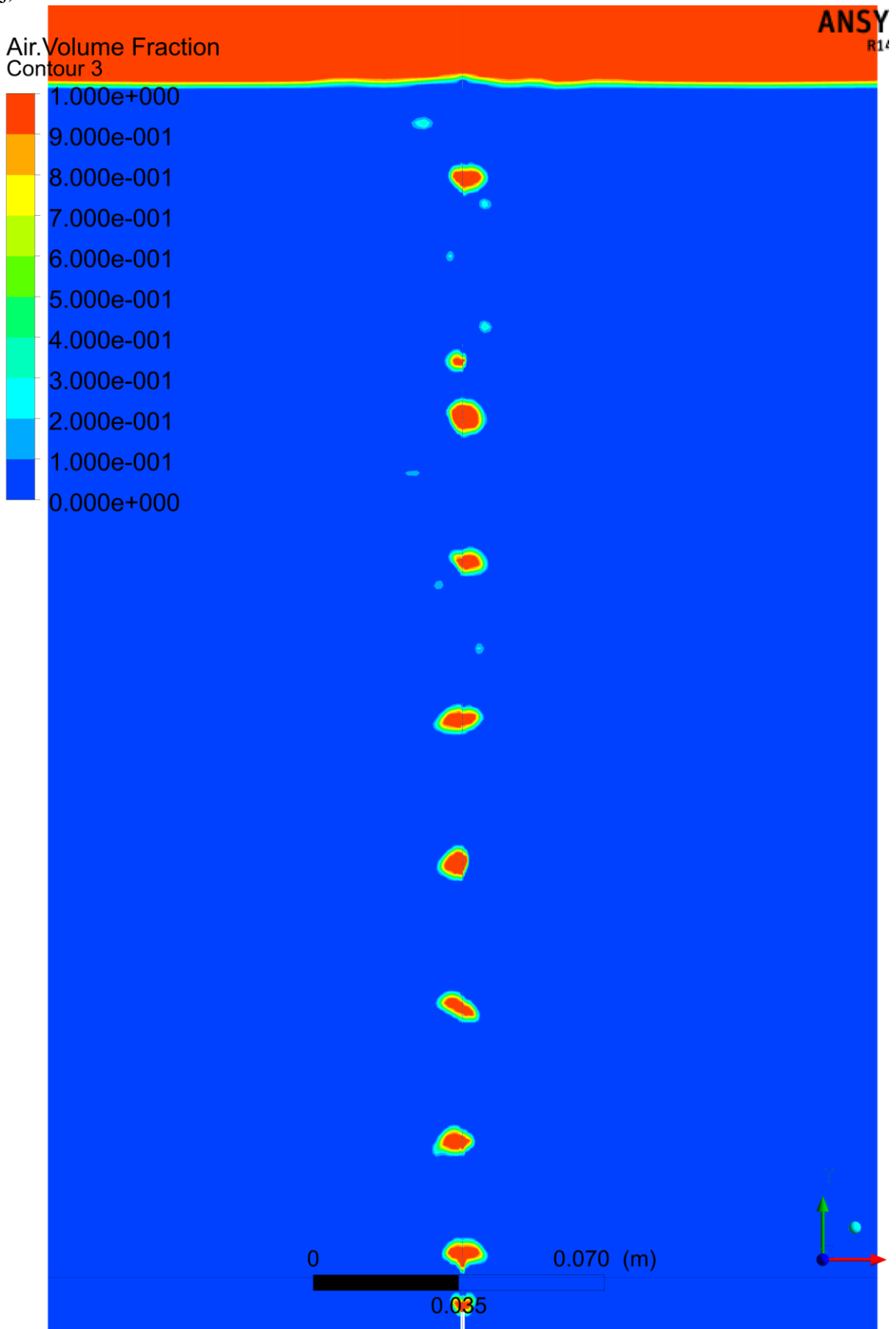
h)



i)



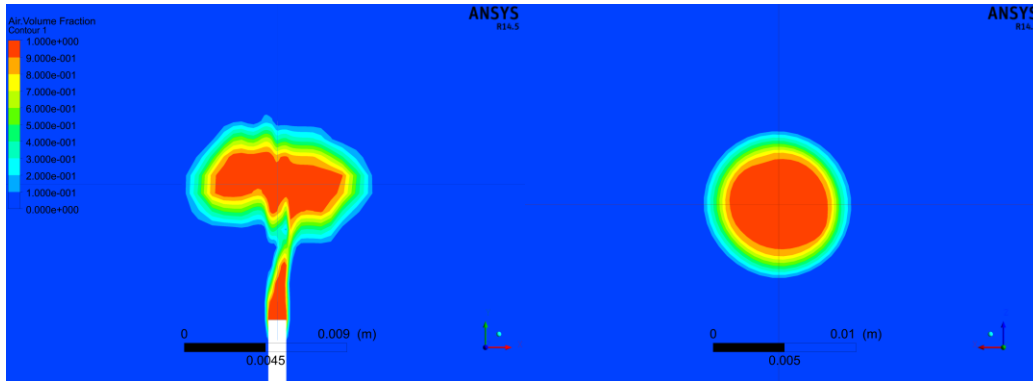
j)



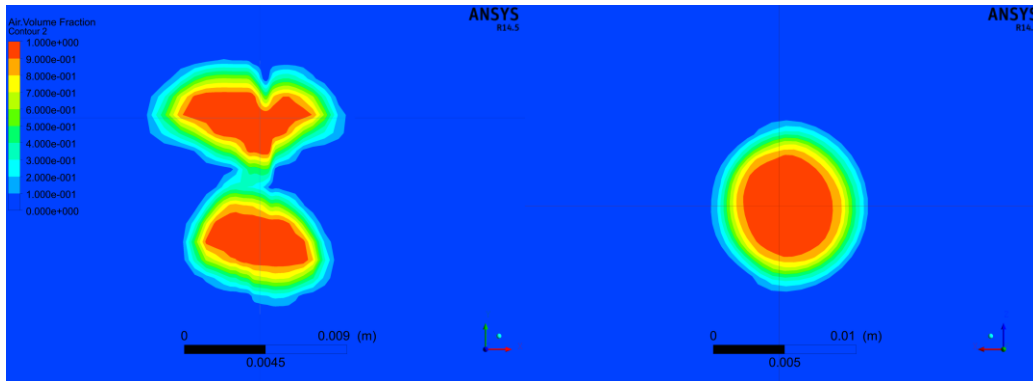
## Anexo A2: Evolución de la burbuja 1 en el tiempo, vista superior y de perfil

Cada imagen cuenta con la vista lateral de la burbuja (lado izquierdo de la imagen) y la vista superior en un corte medio de la burbuja (lado derecho de la imagen).

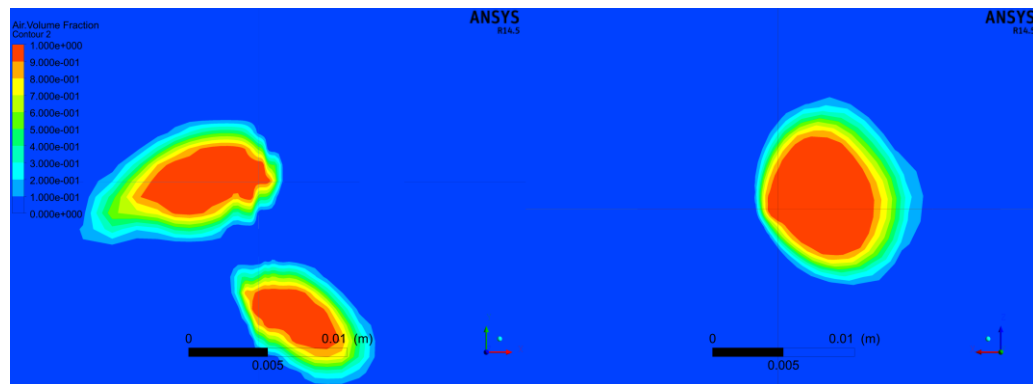
a)  $t = 72$  [ms]



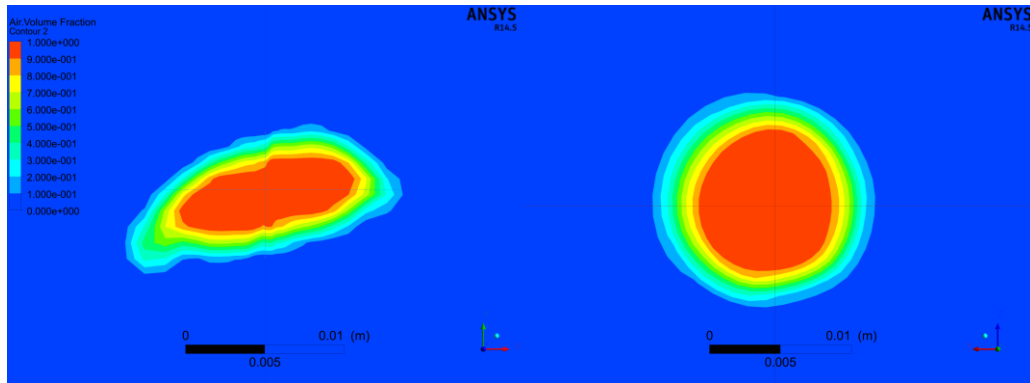
b)  $t = 148$  [ms]



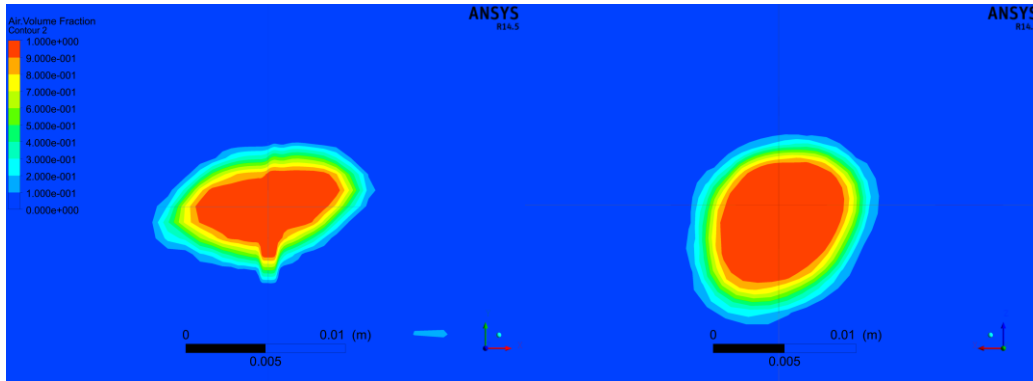
c)  $t = 404$  [ms]



d)  $t = 702$  [ms]

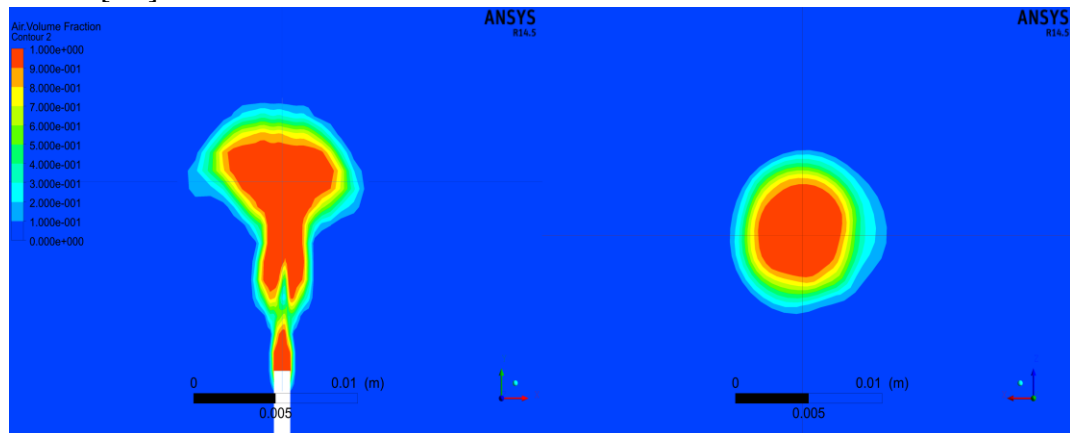


e)  $t = 999$  [ms]

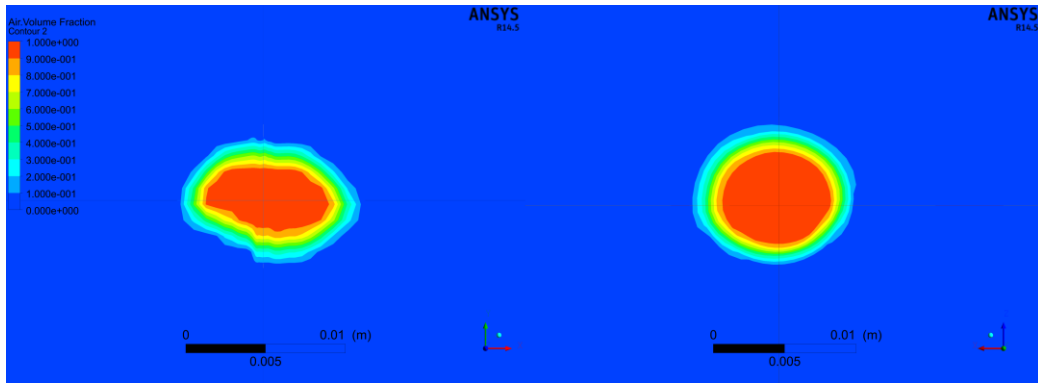


### Anexo A3: Evolución de la burbuja 5 en el tiempo, vista superior y de perfil

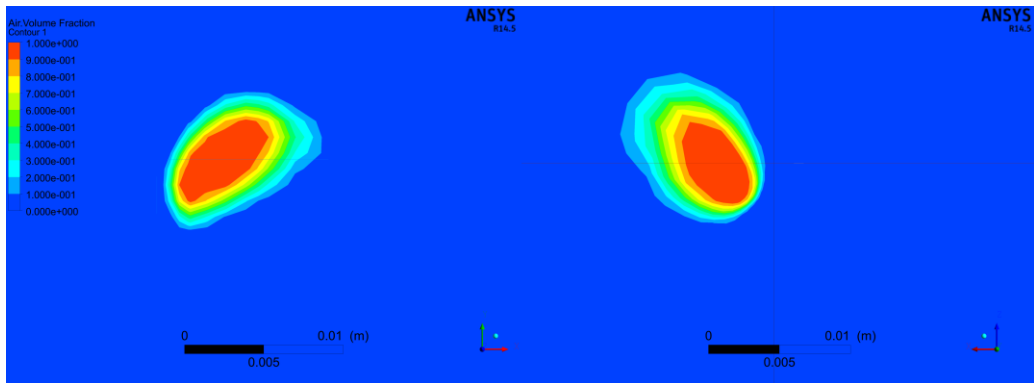
a)  $t = 317$  [ms]



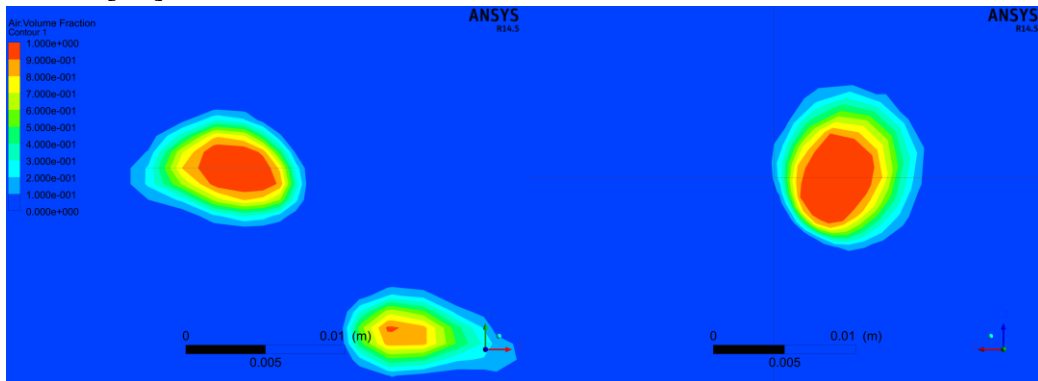
b)  $t = 374$  [ms]



c)  $t = 731$  [ms]

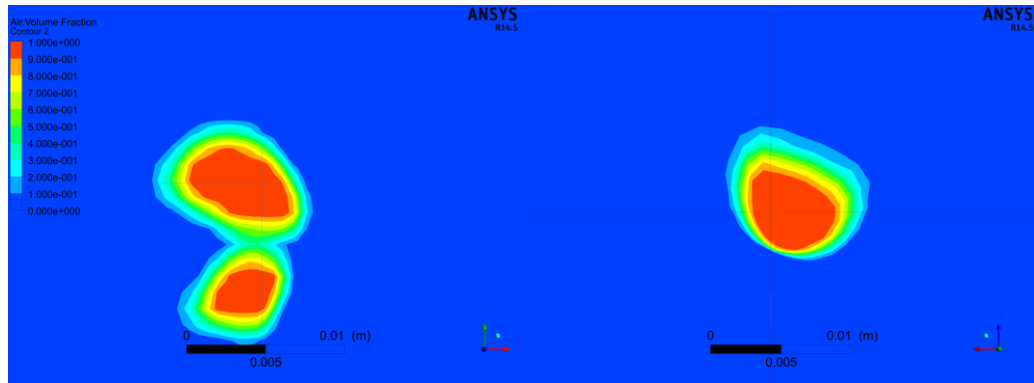


d)  $t = 844$  [ms]



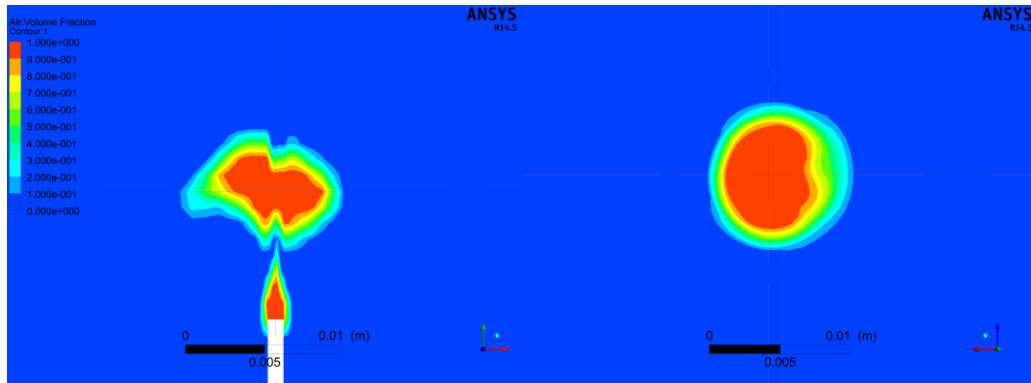


e)  $t = 908$  [ms]

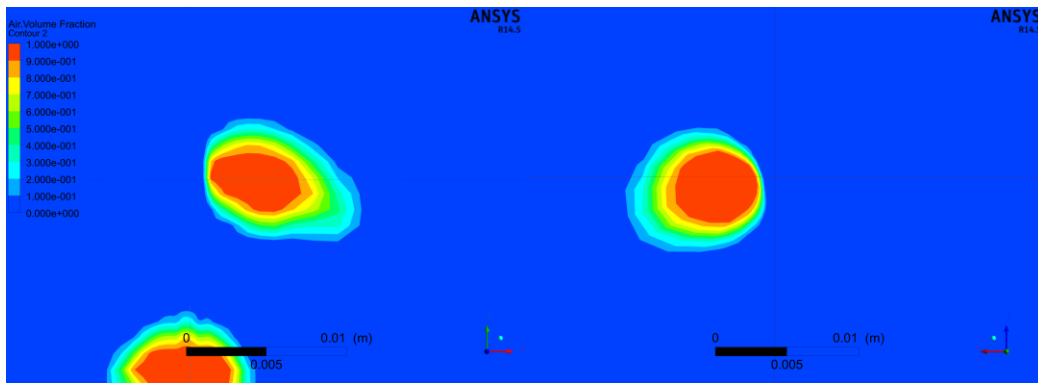


### Anexo A4: Evolución de la burbuja 7 en el tiempo, vista superior y de perfil

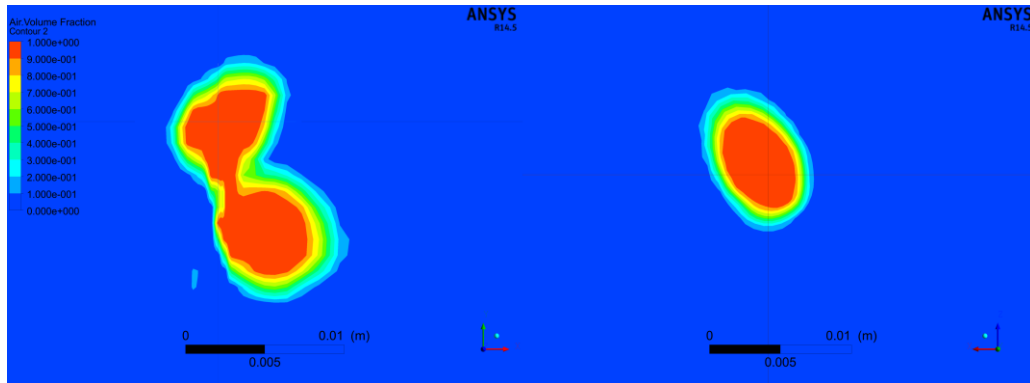
a)  $t = 484$  [ms]



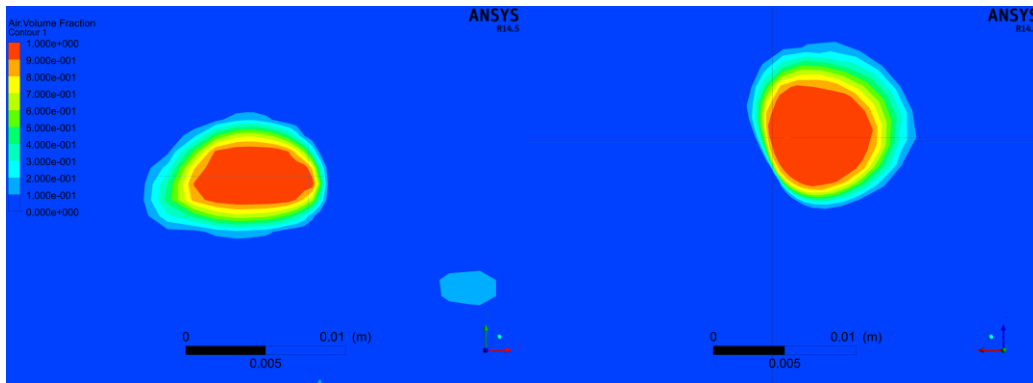
b)  $t = 707$  [ms]



c)  $t = 745$  [ms]

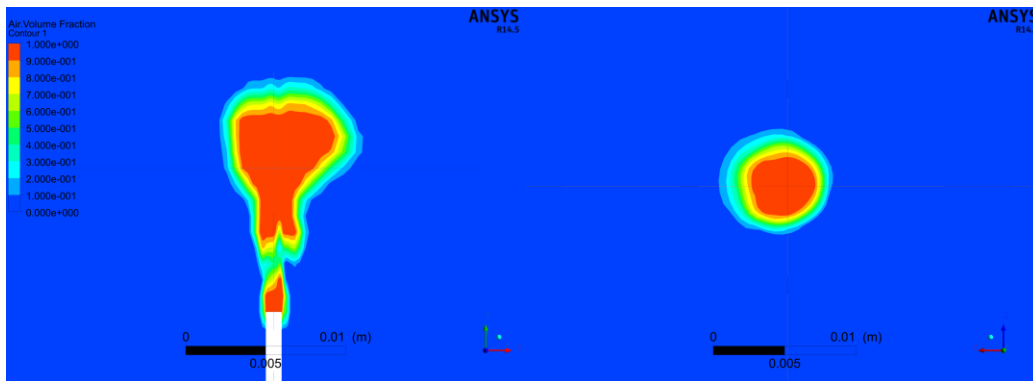


d)  $t = 805$  [ms]

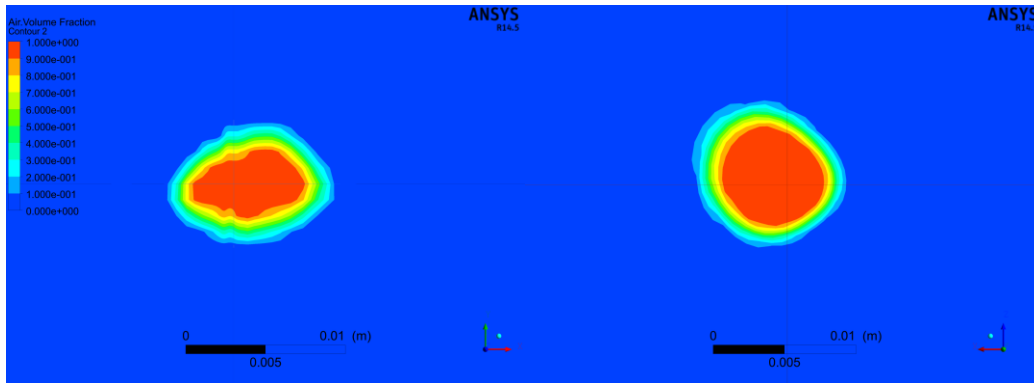


### Anexo A5: Evolución de la burbuja 9 en el tiempo, vista superior y de perfil

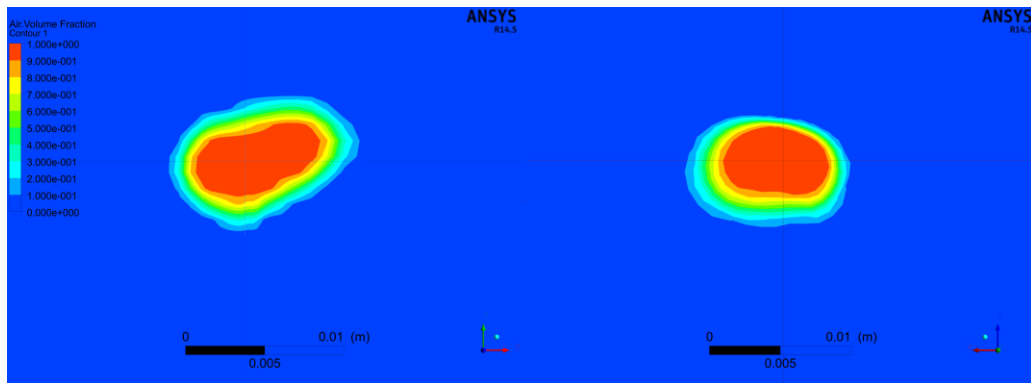
a)  $t = 625$  [ms]



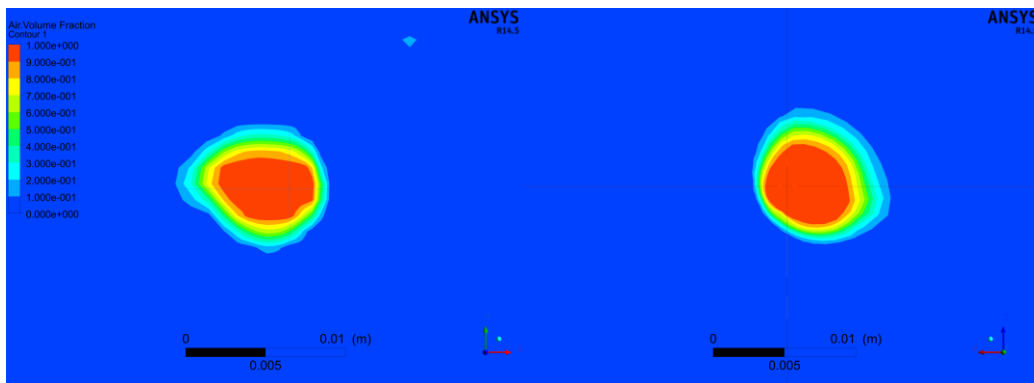
b)  $t = 719$  [ms]



c)  $t = 809$  [ms]



d)  $t = 900$  [ms]



## Anexo B : Posición de cada burbuja en el tiempo

Time	BB1		
	x	y	z
0	-	-	-
0,0721	0	0,0125	0
0,0731	0	0,013	0
0,0741	0	0,0133	0
0,0751	0	0,0134	0
0,076	0	0,0135	0
0,0772	-0,0002	0,0138	0
0,0784	-0,0002	0,0141	0
0,0796	-0,0003	0,0143	0
0,081	-0,0003	0,0145	0
0,082	-0,0003	0,0148	0
0,0832	-0,0003	0,0149	0
0,0844	-0,0003	0,015	0
0,0855	-0,0003	0,0151	0
0,0867	-0,0003	0,0152	0
0,0877	-0,0003	0,0153	0
0,0889	-0,0003	0,0155	0
0,09	-0,0003	0,0158	0
0,0911	-0,0003	0,016	0
0,0922	-0,0003	0,0163	0
0,0932	-0,0004	0,0167	0
0,0942	-0,0005	0,017	0
0,0952	-0,0005	0,0173	0
0,0962	-0,0005	0,0175	0
0,0972	-0,0005	0,0177	0
0,0982	-0,0005	0,0179	0
0,0992	-0,0006	0,0181	0
0,1002	-0,0006	0,0183	0
0,1013	-0,0007	0,0185	0
0,1024	-0,0007	0,0187	0
0,1035	-0,0007	0,0189	0
0,1046	-0,0007	0,0191	0
0,1056	-0,0008	0,0193	0
0,1068	-0,0008	0,0195	0
0,1078	-0,0008	0,0197	0
0,109	-0,0009	0,0199	0
0,11	-0,001	0,0202	0
0,113	-0,001	0,0209	0
0,1152	-0,001	0,0214	0
0,1164	-0,001	0,0217	0
0,1176	-0,001	0,022	0
0,1188	-0,001	0,0224	0
0,12	-0,001	0,0226	0
0,1213	-0,0009	0,0229	0
0,1225	-0,0008	0,0233	0
0,1241	-0,0008	0,0237	0
0,1258	-0,0008	0,0242	0
0,1269	-0,0008	0,0245	0
0,1282	-0,0008	0,0248	0

0,1295	-0,0008	0,0251	0
0,131	-0,0008	0,0256	0
0,1324	-0,0008	0,026	0
0,1344	-0,0008	0,0265	0
0,1359	-0,0008	0,027	0
0,1378	-0,0008	0,0275	0
0,1395	-0,0008	0,0279	0
0,1416	-0,0008	0,0284	0
0,1434	-0,0008	0,0288	0
0,1449	-0,0008	0,0292	0
0,1459	-0,0007	0,0295	0
0,1472	-0,0007	0,0297	0
0,1483	-0,0007	0,0299	0
0,1493	-0,0007	0,03	0
0,15	-0,0007	0,0301	0
0,151	-0,0006	0,0302	0
0,152	-0,0006	0,0306	0
0,1532	-0,0005	0,031	0
0,1542	-0,0005	0,0313	0
0,1552	-0,0005	0,0316	0
0,1562	-0,0005	0,0319	0
0,1573	-0,0005	0,0321	0
0,1584	-0,0005	0,0323	0
0,1595	-0,0005	0,0326	0
0,1606	-0,0005	0,033	0
0,162	-0,0005	0,0333	0
0,1633	-0,0005	0,0337	0
0,1645	-0,0005	0,034	0
0,1657	-0,0005	0,0343	0
0,1669	-0,0005	0,0347	0
0,168	-0,0005	0,035	0
0,1693	-0,0005	0,0353	0
0,1706	-0,0005	0,0357	0
0,172	-0,0005	0,0361	0
0,1735	-0,0005	0,0364	0
0,1748	-0,0005	0,0367	0
0,176	-0,0005	0,037	0
0,1773	-0,0005	0,0373	0
0,1785	-0,0005	0,0376	0
0,1798	-0,0006	0,0376	0
0,1808	-0,0006	0,038	0
0,182	-0,0006	0,0383	0
0,1825	-0,0006	0,0384	0
0,1833	-0,0006	0,0385	0
0,1845	-0,0006	0,0387	0
0,1861	-0,0006	0,0389	0
0,1874	-0,0006	0,0392	0
0,1887	-0,0007	0,0395	0
0,1907	-0,0007	0,04	0
0,1925	-0,0007	0,0406	0
0,1936	-0,0007	0,0409	0
0,1952	-0,0007	0,0412	0
0,1964	-0,0007	0,0415	0
0,1976	-0,0008	0,0418	0
0,1987	-0,0009	0,0421	0
0,2003	-0,001	0,0424	0
0,2021	-0,0012	0,0428	0

0,2038	-0,0013	0,0432	0
0,2057	-0,0015	0,0436	0
0,2076	-0,0015	0,0442	0
0,2092	-0,0016	0,0445	0
0,2107	-0,0018	0,0448	0
0,2117	-0,0018	0,0452	0
0,2127	-0,0018	0,0456	0
0,2138	-0,0018	0,0458	0
0,2148	-0,0018	0,0461	0
0,2158	-0,0018	0,0464	0
0,2168	-0,0018	0,0466	0
0,2178	-0,0018	0,0469	0
0,2188	-0,0018	0,0473	0
0,2198	-0,0018	0,0476	0
0,2208	-0,0018	0,0479	0
0,222	-0,0018	0,0483	0
0,2232	-0,0018	0,0485	0
0,2248	-0,0018	0,0489	0
0,226	-0,0018	0,0492	0
0,2272	-0,0018	0,0494	0
0,2282	-0,0018	0,0497	0
0,2296	-0,0018	0,0501	0
0,2307	-0,0018	0,0504	0
0,232	-0,0018	0,0507	0
0,2331	-0,0018	0,0512	0
0,2342	-0,0018	0,0515	0
0,2349	-0,0018	0,0516	0
0,2353	-0,0018	0,0517	0
0,2364	-0,0018	0,052	0
0,238	-0,0018	0,0524	0
0,2396	-0,0018	0,0528	0
0,2416	-0,0018	0,0534	0
0,243	-0,0018	0,0537	0
0,2442	-0,0018	0,0541	0
0,2454	-0,0018	0,0544	0
0,2468	-0,0018	0,0548	0
0,2482	-0,0018	0,0552	0
0,2495	-0,0018	0,0556	0
0,2512	-0,0018	0,0559	0
0,2526	-0,0018	0,0563	0
0,2541	-0,0018	0,0567	0
0,2561	-0,0018	0,0574	0
0,2577	-0,0017	0,0578	0
0,2589	-0,0017	0,0581	0
0,2598	-0,0017	0,0584	0
0,261	-0,0016	0,0587	0
0,2622	-0,0016	0,059	0
0,2632	-0,0016	0,0593	0
0,2643	-0,0015	0,0595	0
0,2653	-0,0015	0,0598	0
0,2664	-0,0014	0,0602	0
0,2678	-0,0014	0,0605	0
0,2683	-0,0014	0,0607	0
0,2694	-0,0013	0,061	-0,0002
0,2704	-0,0012	0,0612	-0,0002
0,2715	-0,0011	0,0615	-0,0003
0,2725	-0,0011	0,0618	-0,0003

0,2735	-0,0011	0,0622	-0,0003
0,2746	-0,0011	0,0625	-0,0003
0,2757	-0,0011	0,0628	-0,0003
0,2766	-0,001	0,0631	-0,0004
0,2777	-0,001	0,0634	-0,0004
0,2788	-0,001	0,0637	-0,0004
0,2799	-0,0009	0,0639	-0,0004
0,281	-0,0008	0,0642	-0,0005
0,2821	-0,0007	0,0645	-0,0006
0,2833	-0,0007	0,0648	-0,0006
0,2843	-0,0007	0,0652	-0,0006
0,2853	-0,0007	0,0655	-0,0006
0,2863	-0,0007	0,0657	-0,0006
0,2873	-0,0006	0,066	-0,0005
0,2883	-0,0006	0,0662	-0,0005
0,2893	-0,0006	0,0665	-0,0005
0,2903	-0,0006	0,0667	-0,0005
0,2914	-0,0006	0,0671	-0,0005
0,2924	-0,0005	0,0675	-0,0005
0,2934	-0,0005	0,0678	-0,0005
0,2944	-0,0005	0,068	-0,0005
0,2955	-0,0005	0,0683	-0,0005
0,2966	-0,0005	0,0685	-0,0005
0,2976	-0,0003	0,0687	-0,0005
0,2986	-0,0003	0,069	-0,0005
0,2997	-0,0003	0,0693	-0,0005
0,3007	-0,0003	0,0696	-0,0005
0,3019	-0,0003	0,0699	-0,0005
0,3028	-0,0005	0,0703	-0,0004
0,3037	-0,0005	0,0705	-0,0004
0,3047	-0,0005	0,0707	-0,0004
0,3058	-0,0005	0,071	-0,0004
0,3068	-0,0005	0,0712	-0,0004
0,3079	-0,0004	0,0714	-0,0002
0,3091	-0,0004	0,0717	-0,0002
0,3102	-0,0004	0,072	-0,0002
0,3113	-0,0002	0,0723	-0,0002
0,3123	-0,0002	0,0727	-0,0002
0,3135	-0,0001	0,073	-0,0003
0,3145	-0,0001	0,0733	-0,0003
0,3155	-0,0001	0,0735	-0,0003
0,3165	-0,0001	0,0737	-0,0003
0,3171	-0,0001	0,0739	-0,0003
0,3181	0	0,0742	-0,0002
0,3193	0	0,0746	-0,0002
0,3204	0	0,0748	-0,0002
0,3217	0	0,0752	-0,0002
0,3227	0	0,0755	0
0,3238	0	0,0759	0
0,3247	0	0,0761	0
0,3257	0	0,0764	0
0,3267	0	0,0767	0
0,3278	0	0,077	0
0,3288	0	0,0774	0
0,3299	0	0,0777	0
0,3309	0	0,0779	0
0,332	0	0,0782	0

0,3333	0	0,0786	0
0,3345	0	0,079	0
0,3356	-0,0003	0,0793	0
0,3367	-0,0004	0,0796	0
0,3379	-0,0006	0,0802	0
0,3392	-0,0008	0,0805	0
0,3407	-0,0009	0,081	0
0,3427	-0,0011	0,0814	0,0001
0,3443	-0,0011	0,0819	0,0002
0,3462	-0,0012	0,0823	0,0002
0,3477	-0,0014	0,0829	0,0003
0,3489	-0,0015	0,0833	0,0004
0,3505	-0,0015	0,0837	0,0005
0,3517	-0,0015	0,084	0,0006
0,3528	-0,0016	0,0842	0,0006
0,3539	-0,0017	0,0845	0,0006
0,3549	-0,0018	0,0848	0,0006
0,356	-0,0019	0,0851	0,0006
0,3575	-0,002	0,0856	0,0005
0,3586	-0,002	0,0859	0,0005
0,3597	-0,002	0,0862	0,0005
0,3607	-0,002	0,0865	0,0005
0,3617	-0,002	0,0868	0,0005
0,3628	-0,0021	0,087	0,0005
0,3638	-0,0022	0,0873	0,0005
0,3648	-0,0023	0,0877	0,0005
0,3662	-0,0024	0,0879	0,0006
0,3674	-0,0024	0,0883	0,0006
0,3685	-0,0024	0,0886	0,0006
0,3696	-0,0024	0,0888	0,0006
0,3707	-0,0025	0,0891	0,0006
0,3717	-0,0025	0,0895	0,0006
0,3727	-0,0025	0,0899	0,0006
0,3737	-0,0025	0,0901	0,0006
0,3747	-0,0026	0,0904	0,0006
0,3757	-0,0026	0,0907	0,0006
0,3767	-0,0026	0,091	0,0006
0,3777	-0,0027	0,0912	0,0006
0,3787	-0,0028	0,0915	0,0006
0,3798	-0,0028	0,0918	0,0006
0,3808	-0,0028	0,0921	0,0006
0,3818	-0,0028	0,0924	0,0006
0,3828	-0,0028	0,0927	0,0006
0,3839	-0,0028	0,0932	0,0006
0,3848	-0,0028	0,0935	0,0006
0,3858	-0,0029	0,0937	0,0006
0,3868	-0,003	0,094	0,0006
0,3878	-0,0031	0,0943	0,0006
0,3888	-0,0032	0,0945	0,0006
0,3899	-0,0032	0,0949	0,0006
0,3911	-0,0032	0,0953	0,0006
0,3923	-0,0031	0,0956	0,0006
0,3937	-0,003	0,0961	0,0006
0,3947	-0,003	0,0965	0,0006
0,3961	-0,003	0,0969	0,0006
0,3972	-0,0031	0,0972	0,0006
0,3985	-0,0032	0,0976	0,0006

0,3997	-0,0032	0,0979	0,0006
0,4007	-0,0032	0,0983	0,0006
0,4021	-0,0032	0,0986	0,0006
0,4033	-0,0032	0,099	0,0007
0,4043	-0,0032	0,0992	0,0007
0,4057	-0,0032	0,0996	0,0007
0,4068	-0,0032	0,0999	0,0007
0,4079	-0,0032	0,1003	0,0007
0,4088	-0,0032	0,1006	0,0007
0,4098	-0,0032	0,1009	0,0007
0,4109	-0,0032	0,1013	0,0007
0,4118	-0,003	0,1015	0,0006
0,4129	-0,003	0,1018	0,0006
0,4139	-0,003	0,102	0,0005
0,4151	-0,003	0,1023	0,0005
0,4161	-0,003	0,1026	0,0003
0,4171	-0,003	0,1029	0,0003
0,4186	-0,003	0,1032	0,0003
0,4197	-0,003	0,1035	0,0003
0,4207	-0,0032	0,1037	0,0002
0,4217	-0,0032	0,104	0,0002
0,4227	-0,0032	0,1043	0,0002
0,4237	-0,0032	0,1045	0,0002
0,4247	-0,0031	0,1048	0
0,4262	-0,0031	0,1053	0
0,4272	-0,0031	0,1055	0
0,4282	-0,0031	0,1057	0
0,4293	-0,003	0,106	0
0,4308	-0,003	0,1063	0
0,4319	-0,0029	0,1066	0
0,4329	-0,0028	0,1069	0
0,4339	-0,0027	0,1072	0
0,4352	-0,0027	0,1075	0
0,4363	-0,0025	0,1078	0
0,4373	-0,0026	0,1081	0
0,4384	-0,0024	0,1084	-0,0002
0,4398	-0,0024	0,1086	-0,0002
0,4409	-0,0024	0,1088	-0,0002
0,4431	-0,0024	0,1094	-0,0002
0,4453	-0,0024	0,1103	-0,0002
0,4469	-0,0024	0,111	-0,0002
0,4487	-0,0024	0,1118	-0,0002
0,4499	-0,0024	0,1122	-0,0002
0,4511	-0,0024	0,1126	-0,0002
0,4524	-0,0024	0,1129	-0,0001
0,4537	-0,0024	0,1133	-0,0001
0,4548	-0,0024	0,1137	-0,0001
0,4558	-0,0026	0,1139	-0,0001
0,4569	-0,0027	0,1141	-0,0001
0,4579	-0,0028	0,1143	0
0,4589	-0,0028	0,1144	0
0,4599	-0,0028	0,1146	0
0,4609	-0,0028	0,1147	0
0,462	-0,0027	0,1149	0
0,4631	-0,0027	0,1151	0
0,4642	-0,0024	0,1153	0
0,4652	-0,0022	0,1156	0

0,4662	-0,0019	0,1159	0
0,4672	-0,0019	0,116	0
0,4683	-0,0019	0,1163	0
0,4695	-0,0019	0,1166	0
0,4705	-0,0019	0,117	0
0,4716	-0,0019	0,1173	0
0,4727	-0,0019	0,1175	0
0,4737	-0,0019	0,1179	0
0,4748	-0,002	0,1182	0
0,4758	-0,002	0,1184	0
0,4768	-0,002	0,1187	0
0,4778	-0,0021	0,119	0
0,4787	-0,0022	0,1194	0
0,4798	-0,0022	0,1195	0
0,4809	-0,0022	0,12	0
0,482	-0,0023	0,1204	0
0,4832	-0,0024	0,1206	0
0,4845	-0,0023	0,1209	0
0,4857	-0,0022	0,1212	0
0,4869	-0,002	0,1215	0
0,488	-0,0018	0,1218	0
0,4891	-0,0018	0,1221	0
0,4902	-0,0018	0,1224	0
0,4916	-0,0018	0,1226	0
0,4928	-0,0018	0,123	0
0,4943	-0,0018	0,1233	0,0001
0,4958	-0,0017	0,1236	0,0002
0,4972	-0,0017	0,124	0,0003
0,4986	-0,0016	0,1243	0,0004
0,4997	-0,0015	0,1246	0,0004
0,5013	-0,0014	0,125	0,0004
0,505	-0,0013	0,1258	0,0004
0,5068	-0,0012	0,1263	0,0006
0,5076	-0,0012	0,1266	0,0006
0,5085	-0,0012	0,1268	0,0006
0,5095	-0,0012	0,1272	0,0006
0,5107	-0,0013	0,1275	0,0008
0,5116	-0,0013	0,1278	0,0008
0,5127	-0,0013	0,1281	0,0008
0,5141	-0,0013	0,1284	0,0008
0,5154	-0,0013	0,1287	0,001
0,5167	-0,0013	0,1289	0,001
0,5178	-0,0013	0,1292	0,001
0,5188	-0,0013	0,1295	0,001
0,5198	-0,0012	0,1298	0,0008
0,5209	-0,0012	0,1301	0,0008
0,522	-0,0012	0,1305	0,0008
0,523	-0,0012	0,1307	0,0008
0,5241	-0,0011	0,1309	0,001
0,5255	-0,0011	0,1312	0,001
0,5266	-0,0011	0,1315	0,001
0,5279	-0,0011	0,1318	0,001
0,5288	-0,001	0,1321	0,001
0,5299	-0,001	0,1325	0,001
0,5311	-0,001	0,1328	0,001
0,5324	-0,001	0,1331	0,001
0,5333	-0,001	0,1332	0,001

0,5343	-0,001	0,1335	0,001
0,5357	-0,001	0,1338	0,001
0,5368	-0,001	0,1341	0,001
0,5378	-0,001	0,1343	0,001
0,5389	-0,0009	0,1346	0,001
0,5398	-0,0008	0,1348	0,001
0,5407	-0,0006	0,1351	0,001
0,5421	-0,0005	0,1354	0,001
0,5435	-0,0005	0,1357	0,001
0,5446	-0,0005	0,1359	0,001
0,5456	-0,0005	0,1361	0,001
0,5468	-0,0003	0,1363	0,001
0,5478	-0,0003	0,1365	0,001
0,5491	-0,0003	0,1367	0,001
0,5501	-0,0001	0,1371	0,001
0,5513	0	0,1374	0,0011
0,5526	0	0,1377	0,0011
0,5536	0	0,1381	0,0011
0,5548	0	0,1384	0,0011
0,5559	0	0,1387	0,001
0,5573	0	0,139	0,001
0,5587	0	0,1394	0,001
0,5598	0	0,1398	0,001
0,5608	0,0001	0,1401	0,001
0,5622	0,0001	0,1405	0,001
0,5631	0,0001	0,1409	0,001
0,5642	0,0001	0,1413	0,001
0,5651	0,0003	0,1415	0,001
0,566	0,0003	0,1418	0,0008
0,567	0,0003	0,1421	0,0008
0,568	0,0003	0,1424	0,0007
0,5697	0,0004	0,1427	0,0006
0,5714	0,0004	0,143	0,0006
0,5724	0,0004	0,1433	0,0006
0,574	0,0004	0,1437	0,0006
0,5759	0,0006	0,1442	0,0004
0,5771	0,0006	0,1446	0,0004
0,5784	0,0006	0,1449	0,0004
0,5795	0,0006	0,1452	0,0004
0,5806	0,0006	0,1454	0,0002
0,5817	0,0006	0,1457	0,0002
0,5827	0,0008	0,1459	0,0002
0,5838	0,001	0,1461	0,0002
0,5848	0,0012	0,1463	0,0002
0,5862	0,0012	0,1465	0,0002
0,5872	0,0012	0,1468	0,0002
0,5887	0,0013	0,1471	0,0002
0,5897	0,0015	0,1474	0,0003
0,5908	0,0015	0,1477	0,0003
0,5918	0,0015	0,148	0,0003
0,593	0,0015	0,1483	0,0001
0,5943	0,0015	0,1486	0
0,5954	0,0015	0,1489	0
0,5969	0,0015	0,1492	0
0,5977	0,0015	0,1495	0
0,5984	0,0014	0,1498	0
0,5997	0,0014	0,1501	0

0,6007	0,0014	0,1504	0
0,602	0,0014	0,1506	0
0,6034	0,0017	0,1509	0
0,6046	0,0017	0,1513	0
0,6058	0,0017	0,1516	0
0,607	0,0017	0,152	0
0,6086	0,0016	0,1524	0
0,6093	0,0016	0,1527	0
0,6106	0,0016	0,153	0
0,6122	0,0016	0,1533	0
0,6132	0,0016	0,1536	0
0,6147	0,0017	0,1539	0
0,6163	0,0018	0,1543	-0,0001
0,6177	0,0019	0,1546	-0,0002
0,6189	0,002	0,155	-0,0003
0,6199	0,002	0,1553	-0,0003
0,6216	0,002	0,1556	-0,0003
0,6228	0,002	0,156	-0,0003
0,6239	0,0018	0,1563	-0,0005
0,6253	0,0018	0,1566	-0,0005
0,6273	0,0018	0,1572	-0,0005
0,6291	0,0017	0,1576	-0,0005
0,6301	0,0015	0,1579	-0,0007
0,6314	0,0015	0,1583	-0,0007
0,6328	0,0015	0,1586	-0,0007
0,6343	0,0013	0,159	-0,0007
0,6355	0,0012	0,1593	-0,0006
0,6373	0,0012	0,1598	-0,0006
0,6389	0,0012	0,1602	-0,0006
0,6398	0,0012	0,1605	-0,0006
0,6412	0,001	0,1608	-0,0004
0,6425	0,001	0,1611	-0,0004
0,6437	0,001	0,1614	-0,0004
0,6451	0,001	0,1618	-0,0004
0,6467	0,001	0,1622	-0,0005
0,6479	0,0009	0,1625	-0,0005
0,6485	0,0008	0,1627	-0,0005
0,6498	0,0007	0,163	-0,0005
0,651	0,0005	0,1632	-0,0005
0,6523	0,0004	0,1634	-0,0005
0,6538	0,0003	0,1638	-0,0005
0,655	0,0002	0,1642	-0,0005
0,6562	0	0,1644	-0,0007
0,6575	0,0001	0,1648	-0,0007
0,6589	0,0002	0,1651	-0,0007
0,6596	0,0003	0,1654	-0,0005
0,6605	0,0003	0,1656	-0,0004
0,6616	0,0003	0,1661	-0,0004
0,6631	0,0003	0,1663	-0,0004
0,6646	0,0003	0,1666	-0,0003
0,6655	0,0003	0,1669	-0,0002
0,6668	0,0001	0,1671	-0,0002
0,6676	0	0,1674	-0,0002
0,6686	-0,0002	0,1677	-0,0004
0,6698	-0,0003	0,1679	-0,0005
0,6709	-0,0003	0,1681	-0,0005
0,6719	-0,0003	0,1685	-0,0005

0,6732	-0,0003	0,1688	-0,0005
0,6743	-0,0003	0,169	-0,0006
0,6757	-0,0004	0,1694	-0,0006
0,6769	-0,0006	0,1697	-0,0005
0,6782	-0,0007	0,17	-0,0003
0,6794	-0,0008	0,1703	-0,0002
0,6808	-0,0008	0,1706	-0,0002
0,6822	-0,0008	0,171	-0,0002
0,6836	-0,0008	0,1713	-0,0002
0,6849	-0,0007	0,1717	0
0,6861	-0,0007	0,172	0
0,6872	-0,0007	0,1724	0
0,6884	-0,0007	0,1728	0
0,6898	-0,0007	0,1732	0
0,6912	-0,0007	0,1737	0
0,6926	-0,0007	0,174	0,0001
0,6937	-0,0006	0,1744	0,0001
0,6953	-0,0006	0,1749	0,0002
0,6966	-0,0004	0,1754	0,0002
0,698	-0,0003	0,1758	0,0002
0,6994	-0,0001	0,1762	0,0002
0,7009	0	0,1766	0,0003
0,7022	0,0001	0,177	0,0003
0,7034	0,0002	0,1774	0,0003
0,7046	0,0003	0,1777	0,0003
0,7059	0,0005	0,1781	0,0002
0,7072	0,0006	0,1784	0,0002
0,7082	0,0007	0,1788	0,0003
0,7097	0,0008	0,1791	0,0004
0,7112	0,001	0,1795	0,0005
0,7126	0,0011	0,1798	0,0005
0,7137	0,0011	0,18	0,0005
0,7149	0,0012	0,1803	0,0005
0,7159	0,0012	0,1806	0,0006
0,7168	0,0013	0,1809	0,0006
0,7179	0,0013	0,1812	0,0006
0,7188	0,0013	0,1814	0,0006
0,7199	0,0014	0,1817	0,0007
0,7215	0,0014	0,182	0,0007
0,7225	0,0015	0,1823	0,0007
0,7237	0,0015	0,1825	0,0008
0,7246	0,0015	0,1827	0,0008
0,7258	0,0016	0,183	0,0009
0,7267	0,0016	0,1833	0,001
0,7279	0,0016	0,1836	0,001
0,7286	0,0016	0,1838	0,0009
0,7297	0,0016	0,184	0,0009
0,7306	0,0017	0,1843	0,001
0,7316	0,0017	0,1845	0,001
0,7327	0,0017	0,1847	0,001
0,7338	0,0017	0,185	0,001
0,7346	0,0018	0,1853	0,001
0,7358	0,0018	0,1856	0,0011
0,737	0,0018	0,1859	0,0012
0,7382	0,0018	0,1862	0,0013
0,7395	0,0018	0,1865	0,0014
0,7407	0,0018	0,1868	0,0014

0,7419	0,0019	0,1872	0,0015
0,7429	0,0019	0,1875	0,0015
0,7438	0,0019	0,1878	0,0014
0,7452	0,0019	0,1882	0,0013
0,7464	0,0019	0,1886	0,0012
0,7479	0,0019	0,1889	0,0012
0,7489	0,002	0,1892	0,0012
0,7503	0,002	0,1896	0,0012
0,7517	0,002	0,1899	0,0011
0,7532	0,002	0,1903	0,0011
0,7544	0,002	0,1906	0,0011
0,7554	0,002	0,1909	0,0011
0,7562	0,002	0,1912	0,001
0,7572	0,0021	0,1915	0,001
0,7582	0,0021	0,1918	0,001
0,7592	0,0021	0,1921	0,0009
0,7603	0,0022	0,1925	0,0009
0,7615	0,0022	0,1927	0,0009
0,7625	0,0022	0,193	0,0009
0,7637	0,0022	0,1934	0,0008
0,7648	0,0021	0,1937	0,0008
0,766	0,0021	0,194	0,0008
0,7671	0,0021	0,1943	0,0007
0,7689	0,002	0,1948	0,0007
0,77	0,002	0,1951	0,0006
0,771	0,002	0,1953	0,0005
0,7721	0,002	0,1956	0,0003
0,7733	0,002	0,1959	0,0003
0,7746	0,002	0,1963	0,0003
0,7756	0,002	0,1966	0,0003
0,7768	0,0019	0,1969	0,0002
0,7778	0,0019	0,1972	0,0002
0,7788	0,0019	0,1975	0,0002
0,7798	0,0018	0,1977	0,0001
0,7808	0,0018	0,198	0
0,782	0,0018	0,1983	-0,0001
0,7834	0,0017	0,1987	-0,0002
0,7846	0,0017	0,1991	-0,0002
0,7858	0,0016	0,1994	-0,0003
0,7869	0,0016	0,1996	-0,0003
0,7881	0,0015	0,1999	-0,0004
0,7892	0,0015	0,2002	-0,0004
0,7903	0,0015	0,2005	-0,0005
0,7917	0,0014	0,2009	-0,0005
0,7926	0,0014	0,2013	-0,0006
0,7939	0,0014	0,2016	-0,0006
0,7951	0,0013	0,2019	-0,0007
0,7964	0,0013	0,2021	-0,0007
0,7976	0,0012	0,2026	-0,0008
0,7987	0,0012	0,2028	-0,0008
0,7997	0,0011	0,2031	-0,0008
0,801	0,001	0,2034	-0,0008
0,8021	0,001	0,2037	-0,0009
0,8031	0,001	0,204	-0,001
0,8041	0,001	0,2043	-0,001
0,8057	0,001	0,2046	-0,001
0,8068	0,001	0,205	-0,001

0,808	0,001	0,2054	-0,001
0,8092	0,0011	0,2057	-0,001
0,8103	0,0011	0,206	-0,0011
0,8115	0,0011	0,2063	-0,0011
0,8131	0,0011	0,2067	-0,0011
0,8148	0,0011	0,207	-0,0012
0,8157	0,0011	0,2074	-0,0012
0,8173	0,0011	0,2078	-0,0012
0,8185	0,0011	0,2082	-0,0012
0,8198	0,0011	0,2086	-0,0012
0,8209	0,001	0,2089	-0,0012
0,8221	0,001	0,2092	-0,0012
0,8232	0,001	0,2095	-0,0012
0,8243	0,001	0,2099	-0,0011
0,8257	0,001	0,2103	-0,0011
0,8267	0,001	0,2105	-0,0011
0,8278	0,0009	0,2109	-0,001
0,8292	0,0009	0,2112	-0,001
0,8305	0,0009	0,2117	-0,0009
0,8318	0,0009	0,2121	-0,0008
0,833	0,0008	0,2125	-0,0007
0,8345	0,0008	0,2129	-0,0007
0,8357	0,0008	0,2133	-0,0006
0,837	0,0008	0,2136	-0,0005
0,8381	0,0007	0,2139	-0,0004
0,8393	0,0007	0,2142	-0,0004
0,8405	0,0007	0,2145	-0,0004
0,8418	0,0006	0,2148	-0,0004
0,8429	0,0006	0,2152	-0,0004
0,8443	0,0006	0,2155	-0,0003
0,8455	0,0005	0,2158	-0,0003
0,8467	0,0005	0,2161	-0,0003
0,848	0,0005	0,2165	-0,0002
0,8492	0,0005	0,2168	-0,0002
0,8506	0,0004	0,2171	-0,0002
0,852	0,0004	0,2175	-0,0001
0,8532	0,0004	0,2179	0
0,8544	0,0004	0,2183	0
0,8557	0,0003	0,2186	0,0001
0,8568	0,0003	0,2188	0,0001
0,8582	0,0003	0,2191	0,0002
0,8597	0,0003	0,2195	0,0003
0,8605	0,0003	0,2197	0,0004
0,862	0,0002	0,2201	0,0005
0,8629	0,0002	0,2204	0,0005
0,8641	0,0002	0,2207	0,0006
0,8653	0,0002	0,2211	0,0006
0,8664	0,0002	0,2214	0,0007
0,8676	0,0003	0,2217	0,0008
0,869	0,0002	0,222	0,0008
0,8704	0,0002	0,2223	0,0009
0,8714	0,0001	0,2226	0,001
0,8726	0,0001	0,2228	0,0011
0,8735	0,0001	0,223	0,0012
0,8744	0,0002	0,2232	0,0012
0,8751	0,0002	0,2235	0,0012
0,8761	0,0003	0,2237	0,0012

0,8771	0,0004	0,224	0,0012
0,878	0,0003	0,2243	0,0013
0,8789	0,0003	0,2246	0,0014
0,88	0,0003	0,2248	0,0015
0,8812	0,0003	0,2251	0,0017
0,8823	0,0004	0,2254	0,0017
0,8835	0,0005	0,2257	0,0016
0,8845	0,0006	0,226	0,0016
0,8857	0,0007	0,2264	0,0016
0,8867	0,0008	0,2267	0,0017
0,8876	0,0008	0,227	0,0017
0,8887	0,0008	0,2273	0,0017
0,8898	0,0009	0,2276	0,0017
0,8908	0,0009	0,2279	0,0018
0,8922	0,0009	0,2282	0,0018
0,8935	0,001	0,2285	0,0018
0,8944	0,001	0,2289	0,0017
0,8954	0,001	0,2293	0,0017
0,8967	0,001	0,2296	0,0017
0,8978	0,001	0,2299	0,0016
0,899	0,001	0,2303	0,0016
0,9004	0,001	0,2306	0,0016
0,9013	0,001	0,231	0,0016
0,9025	0,001	0,2313	0,0016
0,9035	0,0011	0,2316	0,0016
0,9048	0,0011	0,232	0,0016
0,906	0,0011	0,2323	0,0016
0,9072	0,0012	0,2327	0,0016
0,9087	0,0012	0,233	0,0016
0,9096	0,0012	0,2333	0,0016
0,9113	0,0013	0,2336	0,0017
0,9127	0,0013	0,2339	0,0017
0,9137	0,0013	0,2342	0,0017
0,9145	0,0013	0,2345	0,0017
0,9154	0,0013	0,2348	0,0017
0,9163	0,0014	0,235	0,0017
0,9173	0,0014	0,2353	0,0017
0,9185	0,0014	0,2357	0,0017
0,9199	0,0014	0,236	0,0017
0,9213	0,0015	0,2364	0,0017
0,9228	0,0015	0,2367	0,0017
0,924	0,0015	0,237	0,0016
0,9251	0,0015	0,2374	0,0016
0,9262	0,0015	0,2378	0,0016
0,9274	0,0016	0,2381	0,0015
0,9288	0,0016	0,2385	0,0015
0,9297	0,0016	0,2388	0,0015
0,9306	0,0016	0,2391	0,0014
0,9318	0,0016	0,2394	0,0014
0,9328	0,0016	0,2397	0,0014
0,934	0,0016	0,24	0,0013
0,935	0,0016	0,2403	0,0013
0,936	0,0017	0,2406	0,0012
0,937	0,0017	0,2409	0,0011
0,9381	0,0017	0,2412	0,0011
0,9393	0,0017	0,2415	0,001
0,9402	0,0017	0,2418	0,001

0,9413	0,0017	0,2421	0,0009
0,9426	0,0017	0,2424	0,0009
0,9438	0,0017	0,2427	0,0008
0,9446	0,0017	0,243	0,0008
0,9459	0,0017	0,2433	0,0007
0,9469	0,0017	0,2436	0,0006
0,9479	0,0017	0,2439	0,0005
0,949	0,0017	0,2442	0,0004
0,9501	0,0017	0,2444	0,0003
0,9515	0,0017	0,2447	0,0003
0,953	0,0017	0,245	0,0002
0,9538	0,0016	0,2453	0,0002
0,9552	0,0016	0,2456	0,0001
0,9563	0,0016	0,2459	0
0,9576	0,0015	0,2462	-0,0001
0,9587	0,0015	0,2465	-0,0003
0,9598	0,0015	0,2468	-0,0005
0,9613	0,0014	0,2472	-0,0006
0,9626	0,0014	0,2475	-0,0006
0,9635	0,0014	0,2478	-0,0006
0,9643	0,0014	0,2481	-0,0006
0,9657	0,0013	0,2484	-0,0006
0,9666	0,0013	0,2487	-0,0007
0,9674	0,0012	0,249	-0,0007
0,9685	0,0012	0,2493	-0,0007
0,9699	0,0011	0,2496	-0,0007
0,9712	0,0011	0,25	-0,0007
0,9722	0,001	0,2503	-0,0007
0,9732	0,001	0,2506	-0,0007
0,9741	0,0009	0,2509	-0,0007
0,9752	0,0009	0,2512	-0,0008
0,9764	0,0009	0,2515	-0,0008
0,9778	0,0008	0,2518	-0,0008
0,9786	0,0007	0,2521	-0,0008
0,9797	0,0006	0,2525	-0,0008
0,981	0,0005	0,2528	-0,0008
0,9825	0,0005	0,2531	-0,0009
0,9839	0,0005	0,2534	-0,0009
0,985	0,0004	0,2537	-0,0009
0,9862	0,0004	0,254	-0,0009
0,9875	0,0003	0,2543	-0,001
0,9887	0,0003	0,2546	-0,001
0,9896	0,0003	0,255	-0,001
0,9907	0,0002	0,2554	-0,0011
0,9917	0,0002	0,2557	-0,0011
0,993	0,0002	0,256	-0,0011
0,9942	0,0002	0,2563	-0,0011
0,9954	0,0001	0,2566	-0,0011
0,9967	0,0001	0,2571	-0,0011
0,9977	0,0001	0,2574	-0,0011
0,999	0	0,2577	-0,0011

BB2			
time	x	y	z
0,1188	-0,0002	0,0132	0
0,12	-0,0002	0,0136	0

0,1213	-0,0002	0,0138	0
0,1225	-0,0002	0,0142	0
0,1241	-0,0002	0,0146	0
0,1258	-0,0002	0,0151	0
0,1269	-0,0002	0,0154	0
0,1282	-0,0002	0,0157	0
0,1295	-0,0002	0,016	0
0,131	-0,0002	0,0165	0
0,1324	-0,0002	0,017	0
0,1344	-0,0002	0,0175	0
0,1359	-0,0002	0,0181	0
0,1378	-0,0002	0,0188	0
0,1395	-0,0002	0,0194	0
0,1416	-0,0002	0,0202	0
0,1434	-0,0002	0,021	0
0,1449	-0,0002	0,0216	0
0,1459	-0,0002	0,0222	0
0,1472	-0,0002	0,0226	0
0,1483	-0,0002	0,023	0
0,1493	-0,0002	0,0233	0
0,15	-0,0002	0,0237	0
0,151	-0,0002	0,024	0
0,152	-0,0002	0,0247	0
0,1532	-0,0002	0,0252	0
0,1542	-0,0002	0,0256	0
0,1552	-0,0002	0,0262	0
0,1562	-0,0002	0,0268	0
0,1573	-0,0002	0,0273	0
0,1584	-0,0002	0,0279	0
0,1595	-0,0002	0,0286	0
0,1606	-0,0002	0,0294	0
0,162	-0,0002	0,0304	0
0,1633	-0,0002	0,0314	0
0,1645	-0,0002	0,0326	0
0,1657	-0,0002	0,0334	0
0,1669	-0,0002	0,0338	0
0,168	-0,0002	0,0342	0
0,1693	-0,0002	0,0346	0
0,1706	-0,0002	0,035	0
0,172	-0,0002	0,0354	0
0,1735	-0,0002	0,0358	0
0,1748	-0,0002	0,0362	0
0,176	-0,0002	0,0366	0
0,1773	-0,0002	0,0371	0
0,1785	-0,0002	0,0376	0

BB3			
time	x	y	z
0,1825	0,0006	0,0125	0
0,1833	0,0006	0,0127	0
0,1845	0,0006	0,013	0
0,1861	0,0006	0,0133	0
0,1874	0,0006	0,0135	0
0,1887	0,0005	0,0137	0
0,1907	0,0005	0,014	-0,0001
0,1925	0,0005	0,0144	-0,0001



0,1936	0,0005	0,0147	-0,0002
0,1952	0,0005	0,015	-0,0002
0,1964	0,0005	0,0153	-0,0002
0,1976	0,0005	0,0156	-0,0002
0,1987	0,0003	0,0159	-0,0002
0,2003	0,0002	0,0162	-0,0002
0,2021	0	0,0165	-0,0002
0,2038	0	0,0168	-0,0003
0,2057	-0,0001	0,0172	-0,0003
0,2076	-0,0002	0,0176	-0,0004
0,2092	-0,0002	0,018	-0,0004
0,2107	-0,0002	0,0184	-0,0004
0,2117	-0,0001	0,0188	-0,0004
0,2127	-0,0001	0,0191	-0,0004
0,2138	-0,0001	0,0193	-0,0004
0,2148	-0,0001	0,0196	-0,0004
0,2158	-0,0002	0,0199	-0,0004
0,2168	-0,0002	0,0201	-0,0004
0,2178	-0,0003	0,0203	-0,0004
0,2188	-0,0004	0,0206	-0,0004
0,2198	-0,0004	0,0209	-0,0004
0,2208	-0,0005	0,0211	-0,0004
0,222	-0,0006	0,0214	-0,0004
0,2232	-0,0006	0,0217	-0,0004
0,2248	-0,0007	0,022	-0,0004
0,226	-0,0008	0,0223	-0,0004
0,2272	-0,0008	0,0227	-0,0004
0,2282	-0,0008	0,0229	-0,0004
0,2296	-0,0008	0,0232	-0,0004
0,2307	-0,0008	0,0236	-0,0004
0,232	-0,0008	0,0239	-0,0004
0,2331	-0,0008	0,0242	-0,0004
0,2342	-0,0009	0,0245	-0,0004
0,2349	-0,0009	0,0247	-0,0004
0,2353	-0,0009	0,0248	-0,0004
0,2364	-0,001	0,0252	-0,0003
0,238	-0,001	0,0255	-0,0003
0,2396	-0,0011	0,026	-0,0003
0,2416	-0,0012	0,0265	-0,0003
0,243	-0,0012	0,027	-0,0003
0,2442	-0,0012	0,0273	-0,0003
0,2454	-0,0013	0,0276	-0,0002
0,2468	-0,0013	0,028	-0,0002
0,2482	-0,0013	0,0284	-0,0002
0,2495	-0,0013	0,0289	-0,0002
0,2512	-0,0014	0,0293	-0,0002
0,2526	-0,0014	0,0298	-0,0002
0,2541	-0,0015	0,0302	-0,0001
0,2561	-0,0015	0,031	-0,0001
0,2577	-0,0015	0,0314	-0,0001
0,2589	-0,0015	0,0319	-0,0001
0,2598	-0,0015	0,0322	-0,0001
0,261	-0,0014	0,0325	0
0,2622	-0,0014	0,033	0

0,2632	-0,0014	0,0333	0
0,2643	-0,0014	0,0336	0
0,2653	-0,0014	0,0339	0
0,2664	-0,0014	0,0343	0
0,2678	-0,0013	0,0346	0
0,2683	-0,0012	0,0349	0
0,2694	-0,0011	0,0352	0,0001
0,2704	-0,0011	0,0355	0,0001
0,2715	-0,001	0,0358	0,0001
0,2725	-0,001	0,0361	0,0001
0,2735	-0,001	0,0364	0,0001
0,2746	-0,001	0,0368	0,0001
0,2757	-0,001	0,0373	0,0001
0,2766	-0,0012	0,0375	0,0001
0,2777	-0,0012	0,0378	0,0001
0,2788	-0,0012	0,0381	0
0,2799	-0,0012	0,0384	0
0,281	-0,0011	0,0387	0
0,2821	-0,001	0,0391	0
0,2833	-0,001	0,0395	0
0,2843	-0,0011	0,0399	0
0,2853	-0,0011	0,0404	0
0,2863	-0,0012	0,0406	0
0,2873	-0,0013	0,0409	0
0,2883	-0,0013	0,0412	0
0,2893	-0,0013	0,0415	0
0,2903	-0,0014	0,0417	0
0,2914	-0,0014	0,0422	0
0,2924	-0,0015	0,0426	0
0,2934	-0,0015	0,0428	0
0,2944	-0,0015	0,0432	0
0,2955	-0,0014	0,0436	0
0,2966	-0,0014	0,0438	0
0,2976	-0,0013	0,0442	0
0,2986	-0,0013	0,0445	0
0,2997	-0,0013	0,0448	0
0,3007	-0,0013	0,0451	0
0,3019	-0,0013	0,0455	0
0,3028	-0,0013	0,0459	0
0,3037	-0,0012	0,0462	0
0,3047	-0,0012	0,0465	0
0,3058	-0,0011	0,0468	0
0,3068	-0,0011	0,047	0
0,3079	-0,001	0,0473	0
0,3091	-0,001	0,0477	0
0,3102	-0,001	0,0481	0
0,3113	-0,001	0,0484	0
0,3123	-0,001	0,0488	0
0,3135	-0,001	0,0491	0
0,3145	-0,0009	0,0494	-0,0001
0,3155	-0,0008	0,0498	-0,0001
0,3165	-0,0008	0,0501	-0,0001
0,3171	-0,0007	0,0503	-0,0002
0,3181	-0,0006	0,0506	-0,0002

0,3193	-0,0006	0,051	-0,0002
0,3204	-0,0006	0,0516	-0,0002
0,3217	-0,0007	0,052	-0,0001
0,3227	-0,0008	0,0525	0
0,3238	-0,0008	0,053	0
0,3247	-0,0009	0,0534	0
0,3257	-0,0009	0,0538	0
0,3267	-0,001	0,0542	0
0,3278	-0,001	0,0545	0
0,3288	-0,001	0,055	0
0,3299	-0,001	0,0554	0
0,3309	-0,001	0,0558	0
0,332	-0,001	0,0564	0
0,3333	-0,0009	0,0567	0
0,3345	-0,0009	0,0572	0
0,3356	-0,0009	0,0576	0
0,3367	-0,001	0,0582	0
0,3379	-0,0011	0,0586	0
0,3392	-0,0011	0,0592	0
0,3407	-0,0012	0,0596	0
0,3427	-0,0012	0,0605	0,0001
0,3443	-0,0013	0,0612	0,0001
0,3462	-0,0013	0,0619	0,0002
0,3477	-0,0014	0,0625	0,0003
0,3489	-0,0014	0,063	0,0003
0,3505	-0,0014	0,0637	0,0003
0,3517	-0,0014	0,0643	0,0003
0,3528	-0,0014	0,0648	0,0003
0,3539	-0,0014	0,0653	0,0003
0,3549	-0,0014	0,0657	0,0003
0,356	-0,0014	0,0662	0,0004
0,3575	-0,0015	0,0669	0,0004
0,3586	-0,0015	0,0675	0,0004
0,3597	-0,0015	0,068	0,0004
0,3607	-0,0015	0,0686	0,0004
0,3617	-0,0015	0,0692	0,0005
0,3628	-0,0015	0,0696	0,0005
0,3638	-0,0015	0,0701	0,0005
0,3648	-0,0015	0,0707	0,0005
0,3662	-0,0016	0,0715	0,0005
0,3674	-0,0016	0,0721	0,0005
0,3685	-0,0016	0,0726	0,0006
0,3696	-0,0016	0,0733	0,0006
0,3707	-0,0016	0,0736	0,0006
0,3717	-0,0015	0,0744	0,0005
0,3727	-0,0014	0,0749	0,0004
0,3737	-0,0013	0,0755	0,0004
0,3747	-0,0012	0,0759	0,0003
0,3757	-0,0012	0,0765	0,0003
0,3767	-0,0012	0,077	0,0003
0,3777	-0,0011	0,0776	0,0003
0,3787	-0,001	0,078	0,0003
0,3798	-0,0008	0,0786	0,0003
0,3808	-0,0007	0,0792	0,0002

0,3818	-0,0006	0,0796	0,0002
0,3828	-0,0006	0,0801	0,0002
0,3839	-0,0005	0,0807	0,0002
0,3848	-0,0003	0,0811	0,0001
0,3858	-0,0001	0,0817	0,0001
0,3868	0	0,0821	0
0,3878	0,0003	0,0825	0
0,3888	0,0005	0,083	0
0,3899	0,0008	0,0836	0
0,3911	0,001	0,0843	0
0,3923	0,0011	0,0848	0
0,3937	0,0012	0,0854	0
0,3947	0,0013	0,0859	0
0,3961	0,0014	0,0867	0
0,3972	0,0016	0,0871	0
0,3985	0,0018	0,0878	0
0,3997	0,0019	0,0884	-0,0001
0,4007	0,002	0,0888	-0,0001
0,4021	0,0021	0,0894	-0,0001
0,4033	0,0023	0,09	-0,0001
0,4043	0,0025	0,0904	-0,0001
0,4057	0,0027	0,091	-0,0001
0,4068	0,0029	0,0915	-0,0001
0,4079	0,003	0,092	0
0,4088	0,0027	0,0925	0
0,4098	0,0028	0,0932	0
0,4109	0,0027	0,0936	0
0,4118	0,0026	0,0941	0
0,4129	0,0026	0,0945	0
0,4139	0,0026	0,095	-0,0001
0,4151	0,0026	0,0953	-0,0001
0,4161	0,0027	0,0958	-0,0001
0,4171	0,0026	0,0962	-0,0002
0,4186	0,0025	0,0966	-0,0002
0,4197	0,0024	0,0971	-0,0002
0,4207	0,0023	0,0975	-0,0002
0,4217	0,0023	0,0979	-0,0003
0,4227	0,0022	0,0983	-0,0003
0,4237	0,0022	0,0987	-0,0003
0,4247	0,0021	0,0991	-0,0004
0,4262	0,0021	0,0997	-0,0004
0,4272	0,0021	0,1	-0,0004
0,4282	0,002	0,1004	-0,0004
0,4293	0,002	0,1006	-0,0004
0,4308	0,002	0,1009	-0,0004
0,4319	0,0019	0,1013	-0,0005
0,4329	0,0019	0,1017	-0,0005
0,4339	0,0018	0,102	-0,0005
0,4352	0,0016	0,1025	-0,0005
0,4363	0,0014	0,1029	-0,0005
0,4373	0,0012	0,1032	-0,0005
0,4384	0,001	0,1038	-0,0005
0,4398	0,0009	0,1047	-0,0005
0,4409	0,0008	0,1055	-0,0005

0,4431	0,0005	0,1072	-0,0005
0,4453	0,0004	0,1093	-0,0005
0,4469	0,0003	0,11	-0,0005
0,4487	0,0002	0,111	-0,0005
0,4499	0,0001	0,1115	-0,0005
0,4511	0	0,112	-0,0005
0,4524	-0,0001	0,1124	-0,0005
0,4537	-0,0002	0,1129	-0,0005
0,4548	-0,0003	0,1133	-0,0005
0,4558	-0,0004	0,1137	-0,0005
0,4569	-0,0005	0,1141	-0,0005

BB5			
time	x	y	z
0,2349	0	0,012	0
0,2353	-0,0001	0,0122	0
0,2364	-0,0001	0,0126	0
0,238	-0,0002	0,0129	0
0,2396	-0,0002	0,0134	0
0,2416	-0,0003	0,0138	0
0,243	-0,0003	0,0139	0
0,2442	-0,0003	0,0141	0
0,2454	-0,0003	0,0143	0
0,2468	-0,0003	0,0144	0
0,2482	-0,0002	0,0148	0
0,2495	-0,0002	0,0152	0
0,2512	-0,0001	0,0158	0
0,2526	-0,0001	0,0163	0
0,2541	0	0,0167	0
0,2561	0,0001	0,0171	0
0,2577	0,0001	0,0175	0
0,2589	0,0002	0,0178	0
0,2598	0,0003	0,0178	0
0,261	0,0004	0,018	0
0,2622	0,0004	0,0183	0
0,2632	0,0004	0,0185	0
0,2643	0,0004	0,0188	0
0,2653	0,0004	0,0191	0
0,2664	0,0004	0,0194	0,0001
0,2678	0,0003	0,0199	0,0001
0,2683	0,0003	0,0201	0,0001
0,2694	0,0003	0,0205	0,0001
0,2704	0,0004	0,021	0,0001
0,2715	0,0005	0,0213	0,0001
0,2725	0,0006	0,0217	0,0001
0,2735	0,0007	0,0221	0,0001
0,2746	0,0007	0,0225	0,0001
0,2757	0,0007	0,0228	0,0001
0,2766	0,0008	0,0232	0
0,2777	0,0008	0,0236	0
0,2788	0,0009	0,0239	0
0,2799	0,0009	0,0243	0
0,281	0,001	0,0246	0
0,2821	0,001	0,0251	0

0,2833	0,001	0,0256	0
0,2843	0,001	0,0261	0
0,2853	0,001	0,0265	0
0,2863	0,001	0,0267	0
0,2873	0,0011	0,027	0
0,2883	0,0011	0,0274	-0,0001
0,2893	0,0011	0,0278	-0,0002
0,2903	0,0011	0,0281	-0,0003
0,2914	0,0011	0,0284	-0,0004
0,2924	0,0012	0,0288	-0,0005
0,2934	0,0012	0,0292	-0,0005
0,2944	0,0011	0,0296	-0,0005
0,2955	0,0011	0,03	-0,0005
0,2966	0,0011	0,0304	-0,0005
0,2976	0,0011	0,0308	-0,0004
0,2986	0,0011	0,0313	-0,0004
0,2997	0,0009	0,0317	-0,0004
0,3007	0,0009	0,032	-0,0005
0,3019	0,0008	0,0324	-0,0005
0,3028	0,0008	0,0328	-0,0005
0,3037	0,0008	0,0331	-0,0005
0,3047	0,0008	0,0334	-0,0006
0,3058	0,0007	0,0338	-0,0006
0,3068	0,0006	0,0341	-0,0006
0,3079	0,0005	0,0346	-0,0006
0,3091	0,0004	0,035	-0,0006
0,3102	0,0003	0,0353	-0,0006
0,3113	0,0002	0,0357	-0,0006
0,3123	0,0001	0,036	-0,0006
0,3135	0	0,0363	-0,0006
0,3145	-0,0001	0,0367	-0,0005
0,3155	-0,0002	0,037	-0,0005
0,3165	-0,0003	0,0373	-0,0005
0,3171	-0,0004	0,0375	-0,0005
0,3181	-0,0005	0,0378	-0,0005
0,3193	-0,0006	0,0382	-0,0004
0,3204	-0,0008	0,0386	-0,0004
0,3217	-0,0009	0,0389	-0,0004
0,3227	-0,001	0,0392	-0,0004
0,3238	-0,0011	0,0396	-0,0003
0,3247	-0,0012	0,04	-0,0003
0,3257	-0,0012	0,0403	-0,0003
0,3267	-0,0013	0,0406	-0,0003
0,3278	-0,0015	0,0409	-0,0002
0,3288	-0,0016	0,0412	-0,0002
0,3299	-0,0018	0,0416	-0,0001
0,3309	-0,002	0,0419	-0,0001
0,332	-0,0022	0,0423	-0,0001
0,3333	-0,0024	0,0429	-0,0001
0,3345	-0,0025	0,0435	0
0,3356	-0,0027	0,044	0
0,3367	-0,0029	0,0444	0
0,3379	-0,0031	0,0449	0
0,3392	-0,0033	0,0456	0

0,3407	-0,0034	0,0464	0
0,3427	-0,0035	0,0475	0
0,3443	-0,0036	0,0482	0
0,3462	-0,0037	0,0491	0
0,3477	-0,0038	0,0499	0,0001
0,3489	-0,0038	0,0502	0,0001
0,3505	-0,0038	0,0509	0,0001
0,3517	-0,0039	0,0514	0,0001
0,3528	-0,0039	0,0519	0,0001
0,3539	-0,0039	0,0522	0,0001
0,3549	-0,004	0,0526	0,0001
0,356	-0,004	0,053	0,0001
0,3575	-0,0041	0,0535	0,0001
0,3586	-0,0041	0,054	0,0001
0,3597	-0,004	0,0544	0,0001
0,3607	-0,004	0,0546	0,0001
0,3617	-0,0039	0,055	0
0,3628	-0,0038	0,0555	0
0,3638	-0,0037	0,0557	0
0,3648	-0,0036	0,056	0
0,3662	-0,0036	0,0565	0
0,3674	-0,0036	0,0569	0
0,3685	-0,0035	0,0573	0
0,3696	-0,0034	0,0577	0
0,3707	-0,0034	0,0581	0
0,3717	-0,0033	0,0583	0
0,3727	-0,0032	0,0586	0
0,3737	-0,0031	0,059	0
0,3747	-0,003	0,0593	0
0,3757	-0,003	0,0598	0
0,3767	-0,0029	0,0601	0
0,3777	-0,0029	0,0604	0
0,3787	-0,0028	0,0609	0
0,3798	-0,0028	0,0612	0
0,3808	-0,0027	0,0615	0
0,3818	-0,0027	0,062	0
0,3828	-0,0026	0,0623	0
0,3839	-0,0025	0,0627	0
0,3848	-0,0024	0,0631	0
0,3858	-0,0023	0,0633	0
0,3868	-0,0022	0,0637	0
0,3878	-0,0021	0,064	0
0,3888	-0,0021	0,0643	0
0,3899	-0,0021	0,0646	0
0,3911	-0,002	0,065	0
0,3923	-0,002	0,0654	0
0,3937	-0,0019	0,0658	0
0,3947	-0,0018	0,0661	0
0,3961	-0,0017	0,0667	0
0,3972	-0,0016	0,067	0
0,3985	-0,0015	0,0674	0
0,3997	-0,0014	0,0678	0
0,4007	-0,0013	0,0681	0
0,4021	-0,0011	0,0686	0

0,4033	-0,001	0,0689	0,0001
0,4043	-0,001	0,0693	0,0001
0,4057	-0,001	0,0698	0,0001
0,4068	-0,001	0,0703	0,0001
0,4079	-0,001	0,071	0,0001
0,4088	-0,001	0,0714	0,0001
0,4098	-0,001	0,0717	0,0001
0,4109	-0,001	0,0721	0,0001
0,4118	-0,001	0,0725	0,0002
0,4129	-0,0009	0,073	0,0002
0,4139	-0,0008	0,0734	0,0002
0,4151	-0,0007	0,0738	0,0002
0,4161	-0,0006	0,0742	0,0002
0,4171	-0,0006	0,0746	0,0002
0,4186	-0,0006	0,075	0,0003
0,4197	-0,0006	0,0755	0,0003
0,4207	-0,0005	0,0759	0,0003
0,4217	-0,0005	0,0764	0,0003
0,4227	-0,0005	0,0768	0,0003
0,4237	-0,0005	0,0772	0,0003
0,4247	-0,0005	0,0776	0,0003
0,4262	-0,0005	0,0781	0,0004
0,4272	-0,0005	0,0785	0,0004
0,4282	-0,0005	0,079	0,0004
0,4293	-0,0005	0,0795	0,0004
0,4308	-0,0005	0,08	0,0004
0,4319	-0,0005	0,0805	0,0004
0,4329	-0,0005	0,0809	0,0004
0,4339	-0,0005	0,0813	0,0004
0,4352	-0,0005	0,0817	0,0004
0,4363	-0,0005	0,0824	0,0003
0,4373	-0,0005	0,0828	0,0003
0,4384	-0,0005	0,0833	0,0003
0,4398	-0,0005	0,0838	0,0002
0,4409	-0,0005	0,0842	0,0002
0,4431	-0,0005	0,0853	0,0001
0,4453	-0,0005	0,0863	0
0,4469	-0,0004	0,087	0
0,4487	-0,0004	0,0879	0
0,4499	-0,0004	0,0885	0
0,4511	-0,0004	0,089	0
0,4524	-0,0004	0,0898	0
0,4537	-0,0003	0,0904	0
0,4548	-0,0002	0,0909	-0,0001
0,4558	-0,0002	0,0915	-0,0001
0,4569	-0,0001	0,0921	-0,0001
0,4579	0	0,0927	-0,0001
0,4589	0	0,0931	-0,0002
0,4599	0,0001	0,0936	-0,0002
0,4609	0,0001	0,0941	-0,0003
0,462	0,0001	0,0946	-0,0004
0,4631	0,0003	0,0954	-0,0004
0,4642	0,0004	0,096	-0,0004
0,4652	0,0005	0,0965	-0,0005

0,4662	0,0006	0,0971	-0,0005
0,4672	0,0008	0,0977	-0,0005
0,4683	0,0009	0,0985	-0,0006
0,4695	0,0011	0,099	-0,0006
0,4705	0,0012	0,0997	-0,0006
0,4716	0,0013	0,1005	-0,0007
0,4727	0,0014	0,101	-0,0007
0,4737	0,0015	0,1017	-0,0008
0,4748	0,0016	0,1024	-0,0008
0,4758	0,0018	0,1029	-0,0007
0,4768	0,0019	0,1035	-0,0007
0,4778	0,0021	0,104	-0,0006
0,4787	0,0022	0,1046	-0,0005
0,4798	0,0024	0,1051	-0,0004
0,4809	0,0026	0,1058	-0,0003
0,482	0,0028	0,1064	-0,0002
0,4832	0,0031	0,1069	0
0,4845	0,0031	0,1077	0
0,4857	0,0031	0,1083	0
0,4869	0,0031	0,1089	0,0001
0,488	0,0031	0,1095	0,0001
0,4891	0,0031	0,1101	0,0002
0,4902	0,0031	0,1105	0,0004
0,4916	0,0031	0,1112	0,0005
0,4928	0,0031	0,1117	0,0007
0,4943	0,0028	0,1123	0,0008
0,4958	0,0025	0,1132	0,0008
0,4972	0,0023	0,1138	0,0009
0,4986	0,002	0,1143	0,0009
0,4997	0,0017	0,1147	0,001
0,5013	0,0014	0,1153	0,0011
0,505	0,0011	0,1165	0,0012
0,5068	0,0008	0,1172	0,0013
0,5076	0,0007	0,1176	0,0013
0,5085	0,0005	0,1179	0,0013
0,5095	0,0004	0,1183	0,0013
0,5107	0,0003	0,1186	0,0013
0,5116	0,0001	0,119	0,0013
0,5127	-0,0001	0,1194	0,0013
0,5141	-0,0003	0,12	0,0013
0,5154	-0,0005	0,1207	0,0013
0,5167	-0,0007	0,1212	0,0013
0,5178	-0,0009	0,1218	0,0013
0,5188	-0,001	0,1225	0,0013
0,5198	-0,0012	0,1237	0,0013
0,5209	-0,0012	0,1248	0,0012
0,522	-0,0012	0,1259	0,0012
0,523	-0,0011	0,1268	0,0011
0,5241	-0,0011	0,128	0,0011
0,5255	-0,001	0,129	0,0011
0,5266	-0,001	0,1297	0,0011
0,5279	-0,001	0,1302	0,0011
0,5288	-0,001	0,1308	0,001
0,5299	-0,001	0,1313	0,001

0,5311	-0,001	0,1317	0,001
0,5324	-0,001	0,1321	0,001
0,5333	-0,001	0,1325	0,001
0,5343	-0,001	0,1326	0,001
0,5357	-0,001	0,1329	0,001
0,5368	-0,001	0,1332	0,001
0,5378	-0,001	0,1335	0,001
0,5389	-0,0009	0,134	0,001
0,5398	-0,0008	0,1343	0,001
0,5407	-0,0007	0,1346	0,001
0,5421	-0,0005	0,1349	0,001
0,5435	-0,0004	0,1352	0,001
0,5446	-0,0004	0,1355	0,001
0,5456	-0,0003	0,1358	0,001
0,5468	-0,0003	0,1361	0,001

0,3607	0	0,0268	0,0002
0,3617	0	0,0272	0,0002
0,3628	0	0,0275	0,0003
0,3638	0	0,0277	0,0003
0,3648	0,0001	0,028	0,0003
0,3662	0,0001	0,0284	0,0004
0,3674	0,0001	0,0289	0,0004
0,3685	0,0001	0,0292	0,0004
0,3696	0,0001	0,0296	0,0004
0,3707	0,0001	0,03	0,0004
0,3717	0,0001	0,0303	0,0003
0,3727	0	0,0306	0,0003
0,3737	0	0,0309	0,0003
0,3747	0	0,0313	0,0002
0,3757	0,0001	0,0316	0,0002
0,3767	0,0001	0,0319	0,0002
0,3777	0,0001	0,0322	0,0002
0,3787	0,0001	0,0326	0,0002
0,3798	0,0001	0,0329	0,0001
0,3808	0	0,0332	0,0001
0,3818	0	0,0336	0,0001
0,3828	0	0,0339	0,0001
0,3839	0	0,0342	0
0,3848	0	0,0346	0
0,3858	0,0001	0,0349	0
0,3868	0,0001	0,0351	0
0,3878	0,0001	0,0355	0
0,3888	0,0001	0,0359	0
0,3899	0,0002	0,0361	0,0001
0,3911	0,0002	0,0363	0,0001
0,3923	0,0003	0,0367	0,0002
0,3937	0,0004	0,037	0,0002
0,3947	0,0003	0,0373	0
0,3961	0,0002	0,0377	-0,0002
0,3972	0,0001	0,0379	-0,0002
0,3985	0	0,0382	-0,0006
0,3997	0,0001	0,0385	-0,0007
0,4007	0,0001	0,0388	-0,0008
0,4021	0,0002	0,0391	-0,0009
0,4033	0,0002	0,0395	-0,001
0,4043	0,0003	0,0397	-0,001
0,4057	0,0002	0,0401	-0,0011
0,4068	0,0001	0,0405	-0,0012
0,4079	0	0,041	-0,0012
0,4088	0	0,0415	-0,0013
0,4098	0	0,0417	-0,0013
0,4109	0	0,042	-0,0014
0,4118	0	0,0425	-0,0015
0,4129	0,0001	0,0429	-0,0015
0,4139	0,0002	0,0432	-0,0015
0,4151	0,0002	0,0438	-0,0016
0,4161	0,0003	0,0442	-0,0016
0,4171	0,0005	0,0447	-0,0017
0,4186	0,0007	0,0454	-0,0018

0,4197	0,0009	0,0458	-0,0019
0,4207	0,001	0,0463	-0,002
0,4217	0,0012	0,0467	-0,002
0,4227	0,0014	0,0471	-0,0021
0,4237	0,0016	0,0475	-0,0021
0,4247	0,0018	0,0478	-0,0022
0,4262	0,0018	0,0483	-0,0022
0,4272	0,0018	0,0486	-0,0022
0,4282	0,0018	0,049	-0,0023
0,4293	0,0018	0,0494	-0,0023
0,4308	0,0019	0,0498	-0,0023
0,4319	0,002	0,0502	-0,0023
0,4329	0,0021	0,0505	-0,0023
0,4339	0,0023	0,0509	-0,0023
0,4352	0,0024	0,0513	-0,0023
0,4363	0,0025	0,0515	-0,0023
0,4373	0,0026	0,0519	-0,0023
0,4384	0,0027	0,0522	-0,0023
0,4398	0,0027	0,0525	-0,0021
0,4409	0,0027	0,0529	-0,0019
0,4431	0,0027	0,0535	-0,0017
0,4453	0,0028	0,054	-0,0016
0,4469	0,0028	0,0545	-0,0015
0,4487	0,0028	0,055	-0,0014
0,4499	0,0028	0,0555	-0,0013
0,4511	0,0028	0,0558	-0,0012
0,4524	0,0028	0,0561	-0,0011
0,4537	0,0028	0,0564	-0,001
0,4548	0,0027	0,0567	-0,0009
0,4558	0,0027	0,0569	-0,0008
0,4569	0,0026	0,0572	-0,0007
0,4579	0,0025	0,0574	-0,0006
0,4589	0,0025	0,0576	-0,0005
0,4599	0,0025	0,0578	-0,0004
0,4609	0,0025	0,058	-0,0003
0,462	0,0025	0,0582	-0,0003
0,4631	0,0024	0,0585	-0,0002
0,4642	0,0023	0,0588	-0,0002
0,4652	0,0022	0,059	-0,0001
0,4662	0,002	0,0593	0
0,4672	0,002	0,0595	0,0001
0,4683	0,002	0,0598	0,0002
0,4695	0,002	0,0601	0,0003
0,4705	0,002	0,0603	0,0005
0,4716	0,0019	0,0605	0,0006
0,4727	0,0019	0,0608	0,0007
0,4737	0,0018	0,061	0,0008
0,4748	0,0017	0,0613	0,0008
0,4758	0,0017	0,0615	0,0009
0,4768	0,0016	0,0617	0,0009
0,4778	0,0016	0,0619	0,001
0,4787	0,0015	0,0622	0,001
0,4798	0,0015	0,0624	0,0011
0,4809	0,0014	0,0626	0,0012

BB5			
time	x	y	z
0,3171	0	0,0139	0
0,3181	0	0,0148	0
0,3193	0	0,0155	0
0,3204	0	0,016	0
0,3217	0	0,0167	0
0,3227	0,0001	0,017	0
0,3238	0,0001	0,0171	0
0,3247	0,0001	0,0174	0
0,3257	0,0001	0,0176	0
0,3267	0	0,0179	0
0,3278	0	0,0182	0
0,3288	0	0,0185	0
0,3299	0	0,0187	0
0,3309	0	0,019	0,0001
0,332	0	0,0193	0,0001
0,3333	0	0,0196	0,0001
0,3345	0	0,02	0,0001
0,3356	0	0,0204	0,0001
0,3367	0	0,0207	0
0,3379	0	0,0211	0
0,3392	0	0,0215	0
0,3407	0	0,022	0
0,3427	0	0,0227	0,0001
0,3443	0	0,0231	0,0001
0,3462	0	0,0235	0,0001
0,3477	0	0,0239	0,0002
0,3489	0	0,0241	0,0002
0,3505	0,0001	0,0246	0,0002
0,3517	0,0001	0,0249	0,0002
0,3528	0,0001	0,0251	0,0002
0,3539	0,0001	0,0254	0,0002
0,3549	0,0001	0,0255	0,0002
0,356	0,0001	0,0256	0,0002
0,3575	0,0001	0,0259	0,0002
0,3586	0,0001	0,0263	0,0002
0,3597	0	0,0265	0,0002

0,482	0,0014	0,0628	0,0012
0,4832	0,0013	0,063	0,0013
0,4845	0,0011	0,0634	0,0013
0,4857	0,001	0,0636	0,0014
0,4869	0,0009	0,0638	0,0014
0,488	0,0008	0,0641	0,0014
0,4891	0,0007	0,0644	0,0015
0,4902	0,0006	0,0647	0,0015
0,4916	0,0005	0,0649	0,0015
0,4928	0,0003	0,0651	0,0015
0,4943	0,0003	0,0655	0,0016
0,4958	0,0002	0,066	0,0017
0,4972	0,0001	0,0664	0,0017
0,4986	0	0,0667	0,0018
0,4997	-0,0002	0,0669	0,0018
0,5013	-0,0004	0,0672	0,0019
0,505	-0,0006	0,0682	0,0019
0,5068	-0,0007	0,0686	0,002
0,5076	-0,0008	0,0689	0,002
0,5085	-0,0009	0,0691	0,002
0,5095	-0,001	0,0694	0,002
0,5107	-0,001	0,0698	0,002
0,5116	-0,0012	0,0699	0,002
0,5127	-0,0013	0,0701	0,002
0,5141	-0,0014	0,0705	0,002
0,5154	-0,0015	0,0708	0,002
0,5167	-0,0014	0,0711	0,002
0,5178	-0,0013	0,0714	0,002
0,5188	-0,0012	0,0717	0,002
0,5198	-0,0012	0,0719	0,002
0,5209	-0,0013	0,0722	0,0019
0,52	-0,0014	0,0726	0,0019
0,523	-0,0015	0,0729	0,0019
0,5241	-0,0016	0,0731	0,0018
0,5255	-0,0016	0,0734	0,0018
0,5266	-0,0016	0,0737	0,0018
0,5279	-0,0016	0,074	0,0018
0,5288	-0,0016	0,0743	0,0018
0,5299	-0,0017	0,0746	0,0017
0,5311	-0,0017	0,0749	0,0016
0,5324	-0,0017	0,0752	0,0015
0,5333	-0,0018	0,0755	0,0014
0,5343	-0,0018	0,0758	0,0013
0,5357	-0,0017	0,0761	0,0012
0,5368	-0,0017	0,0764	0,0011
0,5378	-0,0016	0,0766	0,001
0,5389	-0,0016	0,0769	0,0009
0,5398	-0,0017	0,0772	0,0009
0,5407	-0,0017	0,0775	0,0008
0,5421	-0,0018	0,0778	0,0008
0,5435	-0,0018	0,0781	0,0007
0,5446	-0,0018	0,0783	0,0007
0,5456	-0,0018	0,0786	0,0006
0,5468	-0,0018	0,079	0,0005

0,5478	-0,0017	0,0792	0,0004
0,5491	-0,0017	0,0794	0,0002
0,5501	-0,0017	0,0797	0,0001
0,5513	-0,0016	0,08	0
0,5526	-0,0016	0,0803	0
0,5536	-0,0016	0,0807	0
0,5548	-0,0016	0,081	0
0,5559	-0,0015	0,0813	0
0,5573	-0,0016	0,0816	0
0,5587	-0,0017	0,0819	0
0,5598	-0,0018	0,0823	0
0,5608	-0,002	0,0827	0
0,5622	-0,002	0,0831	-0,0001
0,5631	-0,0019	0,0834	-0,0002
0,5642	-0,0019	0,0837	-0,0002
0,5651	-0,0018	0,0839	-0,0003
0,566	-0,0018	0,0842	-0,0003
0,567	-0,0019	0,0845	-0,0003
0,568	-0,0019	0,0848	-0,0003
0,5697	-0,002	0,0853	-0,0003
0,5714	-0,002	0,0858	-0,0002
0,5724	-0,002	0,0862	-0,0002
0,574	-0,002	0,0866	-0,0002
0,5759	-0,002	0,087	-0,0002
0,5771	-0,0021	0,0875	-0,0001
0,5784	-0,0021	0,0879	-0,0001
0,5795	-0,0021	0,0882	-0,0001
0,5806	-0,0022	0,0886	0
0,5817	-0,0022	0,089	0,0001
0,5827	-0,0022	0,0893	0,0001
0,5838	-0,0023	0,0896	0,0001
0,5848	-0,0023	0,09	0,0002
0,5862	-0,0023	0,0903	0,0002
0,5872	-0,0024	0,0907	0,0003
0,5887	-0,0024	0,0911	0,0003
0,5897	-0,0025	0,0915	0,0004
0,5908	-0,0025	0,0919	0,0004
0,5918	-0,0024	0,0923	0,0005
0,593	-0,0023	0,0926	0,0005
0,5943	-0,0022	0,0929	0,0005
0,5954	-0,0022	0,0932	0,0006
0,5969	-0,0023	0,0937	0,0007
0,5977	-0,0023	0,0941	0,0009
0,5984	-0,0023	0,0945	0,001
0,5997	-0,0023	0,0948	0,001
0,6007	-0,0023	0,0951	0,0011
0,602	-0,0023	0,0956	0,0012
0,6034	-0,0023	0,0962	0,0013
0,6046	-0,0023	0,0968	0,0013
0,6058	-0,0023	0,0971	0,0014
0,607	-0,0023	0,0977	0,0014
0,6086	-0,0023	0,0982	0,0015
0,6093	-0,0022	0,0985	0,0015
0,6106	-0,0022	0,0988	0,0016

0,6122	-0,0022	0,0993	0,0016
0,6132	-0,0022	0,0998	0,0017
0,6147	-0,0021	0,1002	0,0017
0,6163	-0,0021	0,1009	0,0018
0,6177	-0,0021	0,1012	0,0019
0,6189	-0,002	0,1015	0,002
0,6199	-0,002	0,102	0,002
0,6216	-0,0019	0,1025	0,002
0,6228	-0,0018	0,103	0,002
0,6239	-0,0017	0,1033	0,002
0,6253	-0,0017	0,1037	0,002
0,6273	-0,0016	0,1042	0,002
0,6291	-0,0016	0,1048	0,002
0,6301	-0,0015	0,1052	0,002
0,6314	-0,0014	0,1054	0,002
0,6328	-0,0014	0,1059	0,002
0,6343	-0,0013	0,1064	0,002
0,6355	-0,0012	0,1067	0,002
0,6373	-0,0012	0,1074	0,0019
0,6389	-0,0012	0,1078	0,0019
0,6398	-0,0011	0,1081	0,0019
0,6412	-0,0011	0,1086	0,0018
0,6425	-0,001	0,109	0,0017
0,6437	-0,0009	0,1093	0,0015
0,6451	-0,0007	0,1098	0,0013
0,6467	-0,0006	0,1102	0,0011
0,6479	-0,0006	0,1107	0,0009
0,6485	-0,0005	0,1109	0,0008
0,6498	-0,0005	0,1112	0,0006
0,651	-0,0004	0,1115	0,0005
0,6523	-0,0004	0,1121	0,0004
0,6538	-0,0005	0,1126	0,0004
0,655	-0,0005	0,1131	0,0003
0,6562	-0,0006	0,1136	0,0003
0,6575	-0,0005	0,1141	0,0003
0,6589	-0,0004	0,1146	0,0002
0,6596	-0,0004	0,115	0,0002
0,6605	-0,0003	0,1152	0,0002
0,6616	-0,0001	0,1157	0,0001
0,6631	0	0,116	0
0,6646	0,0001	0,1163	-0,0001
0,6655	0,0003	0,1167	-0,0002
0,6668	0,0003	0,117	-0,0003
0,6676	0,0003	0,1173	-0,0003
0,6686	0,0004	0,1177	-0,0004
0,6698	0,0004	0,118	-0,0005
0,6709	0,0005	0,1184	-0,0005
0,6719	0,0005	0,1187	-0,0006
0,6732	0,0005	0,1192	-0,0006
0,6743	0,0006	0,1195	-0,0006
0,6757	0,0008	0,1198	-0,0008
0,6769	0,001	0,1203	-0,001
0,6782	0,0012	0,1207	-0,001
0,6794	0,0014	0,1213	-0,001

0,6808	0,0015	0,1217	-0,001
0,6822	0,0016	0,1223	-0,001
0,6836	0,0017	0,1228	-0,001
0,6849	0,0018	0,1233	-0,001
0,6861	0,0018	0,1238	-0,0009
0,6872	0,0019	0,1242	-0,0008
0,6884	0,002	0,1248	-0,0008
0,6898	0,002	0,1252	-0,0007
0,6912	0,0021	0,1257	-0,0006
0,6926	0,0023	0,1262	-0,0005
0,6937	0,0025	0,1267	-0,0005
0,6953	0,0027	0,127	-0,0004
0,6966	0,0028	0,1275	-0,0002
0,698	0,0029	0,1281	0
0,6994	0,0031	0,1286	0,0001
0,7009	0,0032	0,129	0,0003
0,7022	0,0033	0,1296	0,0004
0,7034	0,0034	0,1299	0,0005
0,7046	0,0035	0,1303	0,0007
0,7059	0,0035	0,1308	0,0008
0,7072	0,0035	0,1313	0,0009
0,7082	0,0036	0,1318	0,0009
0,7097	0,0037	0,1323	0,001
0,7112	0,0038	0,1329	0,0011
0,7126	0,0039	0,1334	0,0013
0,7137	0,0039	0,1338	0,0014
0,7149	0,0039	0,1343	0,0015
0,7159	0,004	0,1348	0,0016
0,7168	0,0041	0,1349	0,0017
0,7179	0,0041	0,1351	0,002
0,7188	0,0042	0,1354	0,002
0,7199	0,0043	0,1357	0,0023
0,7215	0,0043	0,1362	0,0024
0,7225	0,0043	0,1366	0,0024
0,7237	0,0044	0,1371	0,0026
0,7246	0,0044	0,1375	0,0025
0,7258	0,0043	0,1379	0,0027
0,7267	0,0042	0,1383	0,0027
0,7279	0,0042	0,1387	0,0027
0,7286	0,0041	0,139	0,0028
0,7297	0,004	0,1394	0,0028
0,7306	0,004	0,1397	0,003
0,7316	0,0039	0,14	0,003
0,7327	0,0039	0,1405	0,003
0,7338	0,0038	0,1409	0,003
0,7346	0,0038	0,1413	0,003
0,7358	0,0037	0,1417	0,003
0,737	0,0037	0,1421	0,003
0,7382	0,0037	0,1425	0,003
0,7395	0,0036	0,1429	0,003
0,7407	0,0036	0,1434	0,003
0,7419	0,0035	0,1437	0,003
0,7429	0,0034	0,144	0,003
0,7438	0,0034	0,1443	0,003

0,7452	0,0034	0,1446	0,0029
0,7464	0,0033	0,1452	0,0028
0,7479	0,0032	0,1456	0,0027
0,7489	0,0032	0,1459	0,0026
0,7503	0,0031	0,1463	0,0026
0,7517	0,0031	0,1465	0,0025
0,7532	0,0029	0,147	0,0025
0,7544	0,0029	0,1474	0,0024
0,7554	0,0027	0,1477	0,0023
0,7562	0,0026	0,1478	0,0023
0,7572	0,0026	0,1482	0,0023
0,7582	0,0025	0,1484	0,0023
0,7592	0,0025	0,1486	0,0023
0,7603	0,0023	0,1488	0,0022
0,7615	0,0023	0,1492	0,0022
0,7625	0,0022	0,1495	0,0021
0,7637	0,0021	0,1497	0,0021
0,7648	0,002	0,1499	0,002
0,766	0,0018	0,1503	0,0018
0,7671	0,0017	0,1504	0,0017
0,7689	0,0016	0,1507	0,0016
0,77	0,0014	0,151	0,0015
0,771	0,0013	0,1513	0,0014
0,7721	0,0012	0,1517	0,0014
0,7733	0,0011	0,1519	0,0013
0,7746	0,001	0,1522	0,0012
0,7756	0,0009	0,1524	0,0012
0,7768	0,0008	0,1527	0,0012
0,7778	0,0007	0,1528	0,0012
0,7788	0,0005	0,1531	0,001
0,7798	0,0004	0,1534	0,001
0,7808	0,0002	0,1537	0,0012
0,782	0	0,1538	0,0011
0,7834	-0,0001	0,1541	0,0009
0,7846	-0,0001	0,1544	0,0008
0,7858	-0,0002	0,1546	0,001
0,7869	-0,0003	0,1549	0,001
0,7881	-0,0003	0,1553	0,001
0,7892	-0,0004	0,1556	0,001
0,7903	-0,0004	0,1558	0,0011
0,7917	-0,0005	0,1562	0,001
0,7926	-0,0006	0,1566	0,0012
0,7939	-0,0007	0,1569	0,0015
0,7951	-0,0008	0,1572	0,0014
0,7964	-0,001	0,1574	0,0013
0,7976	-0,0011	0,1577	0,0013
0,7987	-0,0012	0,158	0,0013
0,7997	-0,0013	0,1582	0,0013
0,801	-0,0013	0,1585	0,0014
0,8021	-0,0014	0,1588	0,0014
0,8031	-0,0015	0,1591	0,0014
0,8041	-0,0016	0,1594	0,0014
0,8057	-0,0017	0,1597	0,0014
0,8068	-0,0018	0,16	0,0015

0,808	-0,0019	0,1603	0,0015
0,8092	-0,002	0,1606	0,0015
0,8103	-0,0022	0,1609	0,0015
0,8115	-0,0024	0,1612	0,0016
0,8131	-0,0025	0,1616	0,0017
0,8148	-0,0025	0,1621	0,0018
0,8157	-0,0026	0,1624	0,002
0,8173	-0,0027	0,163	0,0022
0,8185	-0,0028	0,1634	0,0023
0,8198	-0,003	0,1638	0,0023
0,8209	-0,0031	0,1642	0,0025
0,8221	-0,0032	0,1647	0,0025
0,8232	-0,0034	0,165	0,0027
0,8243	-0,0034	0,1655	0,0029
0,8257	-0,0034	0,166	0,0031
0,8267	-0,0035	0,1663	0,0032
0,8278	-0,0036	0,1668	0,0034
0,8292	-0,0037	0,1672	0,0035
0,8305	-0,0037	0,1677	0,0035
0,8318	-0,0038	0,1682	0,0037
0,833	-0,0039	0,1686	0,0038
0,8345	-0,004	0,169	0,004
0,8357	-0,0041	0,1695	0,0042
0,837	-0,0042	0,1699	0,0044
0,8381	-0,0042	0,1703	0,0045
0,8393	-0,0042	0,1708	0,0047
0,8405	-0,0043	0,1712	0,0049
0,8418	-0,0043	0,1716	0,0051
0,8429	-0,0043	0,172	0,0052
0,8443	-0,0043	0,1725	0,0053
0,8455	-0,0042	0,1729	0,0054
0,8467	-0,0042	0,1733	0,0055
0,848	-0,0041	0,1737	0,0056
0,8492	-0,0041	0,1742	0,0057
0,8506	-0,0041	0,1746	0,0058
0,852	-0,004	0,175	0,0058
0,8532	-0,004	0,1754	0,0059
0,8544	-0,004	0,1758	0,006
0,8557	-0,0039	0,1762	0,0061
0,8568	-0,0039	0,1765	0,0062
0,8582	-0,0038	0,1769	0,0063
0,8597	-0,0038	0,1773	0,0063
0,8605	-0,0037	0,1776	0,0063
0,862	-0,0037	0,178	0,0063
0,8629	-0,0036	0,1783	0,0063
0,8641	-0,0036	0,1787	0,0063
0,8653	-0,0035	0,179	0,0063
0,8664	-0,0035	0,1793	0,0063
0,8676	-0,0034	0,1796	0,0063
0,869	-0,0034	0,1799	0,0063
0,8704	-0,0033	0,1803	0,0063
0,8714	-0,0033	0,1806	0,0063
0,8726	-0,0032	0,1809	0,0063
0,8735	-0,0032	0,1811	0,0063

0,8744	-0,0031	0,1814	0,0063
0,8751	-0,0031	0,1816	0,0062
0,8761	-0,003	0,1819	0,0061
0,8771	-0,0029	0,1822	0,0061
0,878	-0,0029	0,1825	0,006
0,8789	-0,0028	0,1828	0,0059
0,88	-0,0028	0,183	0,0058
0,8812	-0,0028	0,1832	0,0057
0,8823	-0,0027	0,1835	0,0057
0,8835	-0,0027	0,1838	0,0056
0,8845	-0,0027	0,1841	0,0056
0,8857	-0,0026	0,1844	0,0055
0,8867	-0,0026	0,1847	0,0054
0,8876	-0,0025	0,185	0,0053
0,8887	-0,0025	0,1853	0,0052
0,8898	-0,0024	0,1856	0,0051
0,8908	-0,0024	0,1859	0,005
0,8922	-0,0023	0,1862	0,0049
0,8935	-0,0022	0,1865	0,0048
0,8944	-0,0022	0,1868	0,0047
0,8954	-0,0021	0,1871	0,0045
0,8967	-0,002	0,1874	0,0044
0,8978	-0,002	0,1877	0,0043
0,899	-0,0019	0,1879	0,0042
0,9004	-0,0018	0,1882	0,004
0,9013	-0,0018	0,1885	0,0039
0,9025	-0,0018	0,1888	0,0037
0,9035	-0,0017	0,1891	0,0035
0,9048	-0,0017	0,1894	0,0033
0,906	-0,0016	0,1897	0,0031
0,9072	-0,0016	0,19	0,0029
0,9087	-0,0015	0,1904	0,0028
0,9096	-0,0015	0,1906	0,0027
0,9113	-0,0015	0,1908	0,0026
0,9127	-0,0014	0,191	0,0025
0,9137	-0,0014	0,1912	0,0024
0,9145	-0,0013	0,1914	0,0023
0,9154	-0,0013	0,1916	0,0022
0,9163	-0,0012	0,1919	0,0021
0,9173	-0,0012	0,1921	0,002
0,9185	-0,0012	0,1924	0,0019
0,9199	-0,0011	0,1927	0,0018
0,9213	-0,001	0,193	0,0017
0,9228	-0,0009	0,1933	0,0017
0,924	-0,0009	0,1936	0,0016
0,9251	-0,0008	0,1939	0,0015
0,9262	-0,0007	0,1942	0,0014
0,9274	-0,0007	0,1944	0,0013
0,9288	-0,0006	0,1947	0,0012
0,9297	-0,0006	0,195	0,0011
0,9306	-0,0006	0,1952	0,0011
0,9318	-0,0005	0,1955	0,001
0,9328	-0,0005	0,1958	0,001
0,934	-0,0005	0,1961	0,0009

0,935	-0,0005	0,1964	0,0008
0,936	-0,0006	0,1967	0,0007
0,937	-0,0006	0,197	0,0007
0,9381	-0,0007	0,1973	0,0005
0,9393	-0,0007	0,1977	0,0004
0,9402	-0,0007	0,1981	0,0002
0,9413	-0,0007	0,1985	0,0001
0,9426	-0,0008	0,1989	0
0,9438	-0,0008	0,1993	-0,0001
0,9446	-0,0009	0,1997	-0,0001
0,9459	-0,0009	0,2001	-0,0002
0,9469	-0,001	0,2005	-0,0003
0,9479	-0,001	0,201	-0,0004
0,949	-0,0011	0,2015	-0,0004
0,9501	-0,0011	0,202	-0,0005
0,9515	-0,0012	0,2025	-0,0006
0,953	-0,0012	0,203	-0,0006
0,9538	-0,0013	0,2034	-0,0006
0,9552	-0,0013	0,2038	-0,0007
0,9563	-0,0014	0,2043	-0,0008
0,9576	-0,0015	0,2048	-0,0008
0,9587	-0,0016	0,2053	-0,0008
0,9598	-0,0017	0,2058	-0,0009
0,9613	-0,0018	0,2063	-0,0009
0,9626	-0,0019	0,2069	-0,001
0,9635	-0,0019	0,2073	-0,0011
0,9643	-0,002	0,2077	-0,0011
0,9657	-0,002	0,2081	-0,0012
0,9666	-0,0021	0,2084	-0,0012
0,9674	-0,0021	0,2088	-0,0013
0,9685	-0,0022	0,2092	-0,0013
0,9699	-0,0022	0,2096	-0,0014
0,9712	-0,0023	0,21	-0,0014
0,9722	-0,0023	0,2104	-0,0015
0,9732	-0,0023	0,2109	-0,0015
0,9741	-0,0023	0,2114	-0,0015
0,9752	-0,0023	0,2118	-0,0015
0,9764	-0,0023	0,2122	-0,0015
0,9778	-0,0023	0,2126	-0,0015
0,9786	-0,0023	0,2131	-0,0015
0,9797	-0,0023	0,2135	-0,0015
0,981	-0,0023	0,214	-0,0015
0,9825	-0,0023	0,2146	-0,0015
0,9839	-0,0022	0,215	-0,0015
0,985	-0,0022	0,2155	-0,0015
0,9862	-0,0022	0,216	-0,0015
0,9875	-0,0021	0,2165	-0,0015
0,9887	-0,0021	0,2169	-0,0015
0,9896	-0,002	0,2173	-0,0015
0,9907	-0,002	0,2177	-0,0015
0,9917	-0,0019	0,218	-0,0015
0,993	-0,0019	0,2184	-0,0014
0,9942	-0,0018	0,2188	-0,0014
0,9954	-0,0017	0,2192	-0,0013

0,9967	-0,0016	0,2196	-0,0013
0,9977	-0,0016	0,22	-0,0012
0,999	-0,0015	0,2203	-0,0012

BB6			
time	x	y	z
0,4129	0	0,0157	0
0,4139	0	0,0162	0
0,4151	0	0,017	0
0,4161	0	0,0178	0
0,4171	0	0,0183	0
0,4186	0	0,0185	0
0,4197	0	0,0189	0
0,4207	0	0,0191	0
0,4217	0	0,0195	0
0,4227	0	0,0198	0
0,4237	0	0,0201	0
0,4247	0	0,0204	0
0,4262	0	0,0208	0
0,4272	0	0,0211	0
0,4282	0	0,0214	0
0,4293	0	0,0217	0
0,4308	-0,0001	0,0221	0
0,4319	-0,0001	0,0224	0
0,4329	-0,0002	0,0227	0
0,4339	-0,0003	0,0231	0
0,4352	-0,0003	0,0234	0
0,4363	-0,0003	0,0236	0
0,4373	-0,0003	0,0239	0
0,4384	-0,0002	0,024	0
0,4398	-0,0003	0,0243	-0,0001
0,4409	-0,0005	0,0245	-0,0001
0,4431	-0,0006	0,0252	-0,0002
0,4453	-0,0008	0,0256	-0,0003
0,4469	-0,0008	0,0261	-0,0003
0,4487	-0,0008	0,0265	-0,0003
0,4499	-0,0008	0,0269	-0,0003
0,4511	-0,0008	0,0272	-0,0003
0,4524	-0,0008	0,0275	-0,0003
0,4537	-0,0008	0,0278	-0,0003
0,4548	-0,0008	0,028	-0,0004
0,4558	-0,0008	0,0282	-0,0004
0,4569	-0,0008	0,0284	-0,0004
0,4579	-0,0008	0,0286	-0,0005
0,4589	-0,0009	0,0288	-0,0005
0,4599	-0,0009	0,0292	-0,0005
0,4609	-0,0009	0,0295	-0,0005
0,462	-0,001	0,0298	-0,0006
0,4631	-0,001	0,0302	-0,0006
0,4642	-0,001	0,0307	-0,0006
0,4652	-0,001	0,0311	-0,0006
0,4662	-0,001	0,0315	-0,0005
0,4672	-0,001	0,0319	-0,0005
0,4683	-0,001	0,0322	-0,0005

0.4695	-0.001	0.0326	-0.0005
0.4705	-0.001	0.033	-0.0004
0.4716	-0.001	0.0335	-0.0004
0.4727	-0.001	0.0339	-0.0003
0.4737	-0.001	0.0342	-0.0003
0.4748	-0.001	0.0346	-0.0002
0.4758	-0.0009	0.0349	-0.0002
0.4768	-0.0009	0.0353	-0.0001
0.4778	-0.0009	0.0356	-0.0001
0.4787	-0.0008	0.0359	0
0.4798	-0.0008	0.0363	0
0.4809	-0.0009	0.0365	0
0.482	-0.0009	0.0369	0
0.4832	-0.001	0.0373	0
0.4845	-0.0009	0.0376	0
0.4857	-0.0008	0.038	0
0.4869	-0.0007	0.0383	0
0.488	-0.0005	0.0386	0
0.4891	-0.0004	0.0389	0.0001
0.4902	-0.0003	0.0392	0.0002
0.4916	-0.0003	0.0396	0.0003
0.4928	-0.0002	0.0399	0.0005
0.4943	-0.0002	0.0403	0.0005
0.4958	-0.0003	0.0409	0.0006
0.4972	-0.0003	0.0414	0.0006
0.4986	-0.0003	0.0418	0.0007
0.4997	-0.0002	0.0422	0.0008
0.5013	-0.0002	0.0426	0.0009
0.505	-0.0001	0.044	0.001
0.5068	0	0.0445	0.0011
0.5076	0	0.0449	0.0011
0.5085	0	0.0452	0.0012
0.5095	0	0.0455	0.0012
0.5107	0	0.0459	0.0013
0.5116	0.0001	0.0462	0.0013
0.5127	0.0002	0.0465	0.0013
0.5141	0.0003	0.0471	0.0013
0.5154	0.0004	0.0475	0.0014
0.5167	0.0004	0.048	0.0014
0.5178	0.0004	0.0485	0.0014
0.5188	0.0004	0.0488	0.0014
0.5198	0.0004	0.0492	0.0014
0.5209	0.0005	0.0496	0.0015
0.522	0.0007	0.05	0.0016
0.523	0.0009	0.0504	0.0017
0.5241	0.001	0.0507	0.0018
0.5255	0.001	0.0514	0.0018
0.5266	0.001	0.0518	0.0018
0.5279	0.0009	0.0524	0.0018
0.5288	0.0009	0.0528	0.0018
0.5299	0.0009	0.0532	0.0019
0.5311	0.001	0.0538	0.0019
0.5324	0.001	0.0542	0.0019
0.5333	0.001	0.0546	0.002

0.5343	0.001	0.055	0.002
0.5357	0.001	0.0557	0.0019
0.5368	0.001	0.0561	0.0019
0.5378	0.001	0.0564	0.0018
0.5389	0.001	0.0569	0.0018
0.5398	0.001	0.0573	0.0017
0.5407	0.001	0.0576	0.0016
0.5421	0.001	0.0581	0.0015
0.5435	0.001	0.0584	0.0014
0.5446	0.001	0.0588	0.0013
0.5456	0.001	0.0591	0.0012
0.5468	0.001	0.0595	0.0011
0.5478	0.0009	0.0598	0.001
0.5491	0.0008	0.0603	0.0009
0.5501	0.0007	0.0606	0.0007
0.5513	0.0005	0.061	0.0006
0.5526	0.0005	0.0614	0.0005
0.5536	0.0005	0.0617	0.0004
0.5548	0.0005	0.062	0.0003
0.5559	0.0005	0.0624	0.0003
0.5573	0.0005	0.0628	0.0001
0.5587	0.0005	0.0631	-0.0001
0.5598	0.0005	0.0635	-0.0003
0.5608	0.0005	0.064	-0.0004
0.5622	0.0006	0.0644	-0.0005
0.5631	0.0006	0.0648	-0.0006
0.5642	0.0007	0.0652	-0.0007
0.5651	0.0008	0.0655	-0.0009
0.566	0.0009	0.0659	-0.0011
0.567	0.0009	0.0662	-0.0012
0.568	0.001	0.0665	-0.0013
0.5697	0.001	0.0671	-0.0014
0.5714	0.0011	0.0677	-0.0017
0.5724	0.0011	0.0682	-0.002
0.574	0.0011	0.0688	-0.0022
0.5759	0.0012	0.0695	-0.0024
0.5771	0.0012	0.0699	-0.0026
0.5784	0.0012	0.0702	-0.0028
0.5795	0.0012	0.0706	-0.0031
0.5806	0.0012	0.0709	-0.0035
0.5817	0.0011	0.0713	-0.0034
0.5827	0.0011	0.0717	-0.0035
0.5838	0.0011	0.072	-0.0036
0.5848	0.001	0.0725	-0.0037
0.5862	0.001	0.0731	-0.0039
0.5872	0.001	0.0736	-0.0039
0.5887	0.001	0.074	-0.0041
0.5897	0.001	0.0745	-0.0041
0.5908	0.0009	0.0748	-0.0044
0.5918	0.0009	0.0751	-0.0044
0.593	0.0009	0.0754	-0.0045
0.5943	0.0008	0.0758	-0.0048
0.5954	0.0007	0.0761	-0.0048
0.5969	0.0007	0.0766	-0.0049

0.5977	0.0006	0.0769	-0.0049
0.5984	0.0005	0.0773	-0.0049
0.5997	0.0004	0.0775	-0.005
0.6007	0.0003	0.0778	-0.005
0.602	0.0002	0.0781	-0.005
0.6034	0	0.0785	-0.0049
0.6046	-0.0001	0.0789	-0.0048
0.6058	-0.0001	0.0792	-0.0048
0.607	-0.0002	0.0796	-0.0048
0.6086	-0.0002	0.08	-0.0047
0.6093	-0.0003	0.0803	-0.0046
0.6106	-0.0003	0.0805	-0.0045
0.6122	-0.0004	0.0811	-0.0045
0.6132	-0.0004	0.0815	-0.0042
0.6147	-0.0005	0.0819	-0.0041
0.6163	-0.0005	0.0823	-0.004
0.6177	-0.0006	0.0827	-0.0039
0.6189	-0.0006	0.083	-0.0038
0.6199	-0.0007	0.0834	-0.0035
0.6216	-0.0007	0.0836	-0.0034
0.6228	-0.0008	0.0841	-0.0033
0.6239	-0.0008	0.0844	-0.0033
0.6253	-0.0009	0.0847	-0.0029
0.6273	-0.001	0.0852	-0.0026
0.6291	-0.001	0.0856	-0.0025
0.6301	-0.001	0.0859	-0.0023
0.6314	-0.0011	0.0862	-0.0021
0.6328	-0.0012	0.0865	-0.0019
0.6343	-0.0012	0.0868	-0.0017
0.6355	-0.0013	0.0871	-0.0015
0.6373	-0.0012	0.0876	-0.0014
0.6389	-0.0012	0.0879	-0.0013
0.6398	-0.0011	0.0881	-0.0012
0.6412	-0.0011	0.0884	-0.001
0.6425	-0.001	0.0886	-0.0009
0.6437	-0.001	0.0889	-0.0007
0.6451	-0.001	0.0892	0.0006
0.6467	-0.001	0.0896	-0.0005
0.6479	-0.001	0.09	-0.0005
0.6485	-0.001	0.0903	-0.0005
0.6498	-0.001	0.0907	-0.0004
0.651	-0.001	0.0911	-0.0004
0.6523	-0.0012	0.0914	-0.0003
0.6538	-0.0013	0.0918	-0.0003
0.655	-0.0014	0.0923	-0.0003
0.6562	-0.0015	0.0927	-0.0002
0.6575	-0.0015	0.093	-0.0002
0.6589	-0.0016	0.0933	-0.0002
0.6596	-0.0016	0.0937	-0.0002
0.6605	-0.0017	0.094	-0.0002
0.6616	-0.0017	0.0943	-0.0001
0.6631	-0.0018	0.0949	-0.0001
0.6646	-0.0018	0.0953	-0.0001
0.6655	-0.0019	0.0956	0



0.6668	-0.0019	0.096	0
0.6676	-0.0019	0.0963	0
0.6686	-0.0019	0.0966	0
0.6698	-0.0019	0.0971	0
0.6709	-0.002	0.0974	0
0.6719	-0.002	0.0978	0
0.6732	-0.002	0.0981	0
0.6743	-0.002	0.0986	0
0.6757	-0.0021	0.0991	-0.0001
0.6769	-0.0021	0.0995	-0.0002
0.6782	-0.0022	0.0999	-0.0002
0.6794	-0.0023	0.1005	-0.0003
0.6808	-0.0025	0.1012	-0.0003
0.6822	-0.0027	0.102	-0.0003
0.6836	-0.0028	0.1025	-0.0003
0.6849	-0.0029	0.1029	-0.0003
0.6861	-0.0029	0.1035	-0.0003
0.6872	-0.003	0.1038	-0.0003
0.6884	-0.0031	0.1044	-0.0003
0.6898	-0.0031	0.1048	-0.0003
0.6912	-0.0031	0.1054	-0.0004
0.6926	-0.0031	0.1059	-0.0004
0.6937	-0.003	0.1063	-0.0004
0.6953	-0.003	0.1067	-0.0004
0.6966	-0.003	0.1071	-0.0005
0.698	-0.003	0.1078	-0.0005
0.6994	-0.003	0.1083	-0.0005
0.7009	-0.003	0.1087	-0.0006
0.7022	-0.0029	0.1092	-0.0006
0.7034	-0.0028	0.1097	-0.0006
0.7046	-0.0027	0.11	-0.0006
0.7059	-0.0027	0.1105	-0.0006
0.7072	-0.0026	0.1109	-0.0007
0.7082	-0.0025	0.1112	-0.0008
0.7097	-0.0024	0.1116	-0.0009
0.7112	-0.0022	0.112	-0.001
0.7126	-0.0022	0.1125	-0.0009
0.7137	-0.002	0.1129	-0.0009
0.7149	-0.0019	0.1132	-0.0008
0.7159	-0.0019	0.1135	-0.0008
0.7168	-0.0018	0.1137	-0.0007
0.7179	-0.0018	0.1139	-0.0009
0.7188	-0.0018	0.1141	-0.001
0.7199	-0.0016	0.1144	-0.001
0.7215	-0.0015	0.1147	-0.001
0.7225	-0.0014	0.115	-0.001
0.7237	-0.0013	0.1153	-0.0008
0.7246	-0.0011	0.1158	-0.0006
0.7258	-0.0009	0.1161	-0.0005
0.7267	-0.0008	0.1163	-0.0005
0.7279	-0.0006	0.1167	-0.0005
0.7286	-0.0004	0.1171	-0.0004
0.7297	-0.0003	0.1173	-0.0003
0.7306	-0.0003	0.1175	-0.0003

0.7316	-0.0003	0.1178	-0.0002
0.7327	-0.0002	0.1181	0
0.7338	-0.0002	0.1184	0
0.7346	-0.0001	0.1187	0
0.7358	0	0.119	0.0001
0.737	0.0001	0.1193	0.0003
0.7382	0.0002	0.1198	0.0005
0.7395	0.0003	0.1201	0.0006
0.7407	0.0003	0.1206	0.0007
0.7419	0.0004	0.121	0.0006
0.7429	0.0005	0.1213	0.0006
0.7438	0.0006	0.1217	0.0007
0.7452	0.0006	0.1222	0.001
0.7464	0.0007	0.1228	0.001
0.7479	0.0008	0.1233	0.001
0.7489	0.0008	0.1236	0.001
0.7503	0.0009	0.1243	0.001
0.7517	0.001	0.1248	0.0011
0.7532	0.0011	0.1253	0.0012
0.7544	0.0012	0.1259	0.0012
0.7554	0.0013	0.1265	0.0014
0.7562	0.0014	0.1267	0.0015
0.7572	0.0015	0.127	0.0017
0.7582	0.0015	0.1273	0.0017
0.7592	0.0016	0.1278	0.0017
0.7603	0.0016	0.1283	0.0018
0.7615	0.0017	0.1289	0.0021
0.7625	0.0017	0.1293	0.0021
0.7637	0.0017	0.1296	0.0021
0.7648	0.0018	0.1301	0.0022
0.766	0.0018	0.1305	0.0022
0.7671	0.0019	0.1311	0.0023
0.7689	0.0019	0.1314	0.0024
0.77	0.0019	0.1322	0.0024
0.771	0.002	0.1328	0.0025
0.7721	0.002	0.1331	0.0025
0.7733	0.002	0.1336	0.0025
0.7746	0.0021	0.1341	0.0026
0.7756	0.0021	0.1345	0.0026
0.7768	0.0021	0.1349	0.0026
0.7778	0.0021	0.1353	0.0026
0.7788	0.0022	0.1356	0.0026
0.7798	0.0022	0.1361	0.0026
0.7808	0.0022	0.1365	0.0025
0.782	0.0021	0.1369	0.0024
0.7834	0.0021	0.1372	0.0022
0.7846	0.002	0.1375	0.0021
0.7858	0.002	0.1379	0.0021
0.7869	0.0019	0.1382	0.0021
0.7881	0.002	0.1386	0.0021
0.7892	0.0021	0.1391	0.0021
0.7903	0.0022	0.1395	0.0021
0.7917	0.0023	0.14	0.0019
0.7926	0.0024	0.1403	0.0019

0.7939	0.0025	0.1408	0.0019
0.7951	0.0027	0.1414	0.0019
0.7964	0.0029	0.1419	0.0019
0.7976	0.0031	0.1423	0.0019
0.7987	0.0031	0.1428	0.0017
0.7997	0.0032	0.1431	0.0018
0.801	0.0033	0.1434	0.0016
0.8021	0.0034	0.1438	0.0016
0.8031	0.0036	0.1441	0.0015
0.8041	0.0037	0.1445	0.0014
0.8057	0.0039	0.1451	0.0012
0.8068	0.004	0.1456	0.0012
0.808	0.0043	0.1459	0.0012
0.8092	0.0045	0.1462	0.0011
0.8103	0.0047	0.1467	0.001
0.8115	0.0049	0.1472	0.001
0.8131	0.0051	0.1476	0.0012
0.8148	0.0053	0.1486	0.0012
0.8157	0.0055	0.149	0.0012
0.8173	0.0058	0.1496	0.001
0.8185	0.0059	0.15	0.001
0.8198	0.006	0.1505	0.001
0.8209	0.0062	0.1511	0.001
0.8221	0.0064	0.1517	0.001
0.8232	0.0065	0.1522	0.001
0.8243	0.0065	0.1528	0.0011
0.8257	0.0065	0.1534	0.0012
0.8267	0.0065	0.154	0.0013
0.8278	0.0065	0.1547	0.0014
0.8292	0.0065	0.1554	0.0015
0.8305	0.0064	0.1562	0.0018
0.8318	0.0064	0.157	0.0021
0.833	0.0064	0.1576	0.0022
0.8345	0.0064	0.1581	0.0023
0.8357	0.0063	0.1587	0.0024
0.837	0.0063	0.1592	0.0024
0.8381	0.0063	0.1597	0.0024
0.8393	0.0062	0.1602	0.0024
0.8405	0.006	0.1606	0.0024
0.8418	0.0059	0.161	0.0024
0.8429	0.0057	0.1615	0.0024
0.8443	0.0055	0.162	0.0024
0.8455	0.0053	0.1624	0.0023
0.8467	0.0052	0.1628	0.0022
0.848	0.0051	0.1632	0.0022
0.8492	0.005	0.1636	0.002
0.8506	0.0049	0.164	0.002
0.852	0.0048	0.1644	0.002
0.8532	0.0046	0.1648	0.002
0.8544	0.0044	0.1652	0.002
0.8557	0.0042	0.1657	0.002
0.8568	0.004	0.1661	0.002
0.8582	0.0038	0.1665	0.002
0.8597	0.0036	0.1669	0.0019

0,8605	0,0034	0,1672	0,0019
0,862	0,0031	0,1675	0,0019
0,8629	0,0029	0,1679	0,0018
0,8641	0,0027	0,1683	0,0018
0,8653	0,0025	0,1686	0,0018
0,8664	0,0024	0,1689	0,0018
0,8676	0,0022	0,1693	0,0017
0,869	0,002	0,1697	0,0017
0,8704	0,0018	0,1701	0,0017
0,8714	0,0016	0,1704	0,0017
0,8726	0,0015	0,1707	0,0017
0,8735	0,0014	0,171	0,0017
0,8744	0,0013	0,1713	0,0017
0,8751	0,0012	0,1716	0,0017
0,8761	0,0011	0,1719	0,0017
0,8771	0,001	0,1723	0,0017
0,878	0,0009	0,1726	0,0017
0,8789	0,0007	0,1729	0,0017
0,88	0,0005	0,1732	0,0017
0,8812	0,0004	0,1735	0,0017
0,8823	0,0003	0,1739	0,0018
0,8835	0,0002	0,1743	0,0018
0,8845	0,0001	0,1746	0,0018
0,8857	0,0001	0,175	0,0018
0,8867	0	0,1754	0,0019
0,8876	0	0,1758	0,0019
0,8887	-0,0001	0,1761	0,002
0,8898	-0,0001	0,1764	0,002
0,8908	-0,0002	0,1767	0,0021
0,8922	-0,0002	0,1771	0,0022
0,8935	-0,0002	0,1776	0,0023
0,8944	-0,0003	0,178	0,0025
0,8954	-0,0003	0,1784	0,0027
0,8967	-0,0004	0,1789	0,0029
0,8978	-0,0004	0,1793	0,0031
0,899	-0,0005	0,1797	0,0034
0,9004	-0,0005	0,1802	0,0037
0,9013	-0,0006	0,1807	0,0038
0,9025	-0,0006	0,1812	0,0039
0,9035	-0,0007	0,1817	0,004
0,9048	-0,0008	0,1822	0,0041
0,906	-0,0009	0,1826	0,0042
0,9072	-0,001	0,1831	0,0043
0,9087	-0,0011	0,1837	0,0043

BB7			
time	x	y	z
0,4845	0	0,013	0
0,4857	0	0,0135	0
0,4869	0	0,0137	0
0,488	0	0,014	0
0,4891	0	0,0141	0
0,4902	0	0,0142	0
0,4916	0	0,0143	0

0,4928	0	0,0145	0
0,4943	0	0,0147	0
0,4958	0	0,0152	0
0,4972	0	0,0156	0
0,4986	0	0,016	0
0,4997	0,0001	0,0163	0
0,5013	0,0001	0,0165	0
0,505	0,0001	0,0172	0
0,5068	0,0001	0,0175	0
0,5076	0,0002	0,0178	0,0001
0,5085	0,0002	0,018	0,0002
0,5095	0,0003	0,0183	0,0002
0,5107	0,0004	0,0185	0,0003
0,5116	0,0004	0,0189	0,0003
0,5127	0,0004	0,0192	0,0003
0,5141	0,0004	0,0195	0,0003
0,5154	0,0003	0,0197	0,0003
0,5167	0,0003	0,02	0,0003
0,5178	0,0003	0,0202	0,0003
0,5188	0,0003	0,0205	0,0003
0,5198	0,0003	0,0208	0,0003
0,5209	0,0003	0,0211	0,0004
0,522	0,0003	0,0214	0,0004
0,523	0,0003	0,0217	0,0004
0,5241	0,0004	0,0221	0,0004
0,5255	0,0004	0,0225	0,0004
0,5266	0,0004	0,0229	0,0003
0,5279	0,0004	0,0233	0,0003
0,5288	0,0004	0,0237	0,0003
0,5299	0,0004	0,0241	0,0003
0,5311	0,0003	0,0243	0,0003
0,5324	0,0003	0,0247	0,0004
0,5333	0,0003	0,025	0,0004
0,5343	0,0003	0,0253	0,0004
0,5357	0,0003	0,0257	0,0004
0,5368	0,0003	0,0261	0,0004
0,5378	0,0004	0,0263	0,0004
0,5389	0,0004	0,0266	0,0004
0,5398	0,0004	0,0269	0,0004
0,5407	0,0004	0,0271	0,0004
0,5421	0,0003	0,0275	0,0003
0,5435	0,0003	0,0277	0,0003
0,5446	0,0003	0,028	0,0003
0,5456	0,0003	0,0283	0,0003
0,5468	0,0003	0,0286	0,0004
0,5478	0,0003	0,0289	0,0004
0,5491	0,0002	0,0293	0,0004
0,5501	0,0002	0,0296	0,0004
0,5513	0,0002	0,0299	0,0003
0,5526	0,0002	0,0303	0,0003
0,5536	0,0002	0,0306	0,0003
0,5548	0,0002	0,0309	0,0002
0,5559	0,0002	0,0314	0,0002
0,5573	0,0003	0,0319	0,0002

0,5587	0,0003	0,0324	0,0001
0,5598	0,0003	0,0328	0,0001
0,5608	0,0003	0,0333	0
0,5622	0,0004	0,0337	0
0,5631	0,0004	0,0341	-0,0001
0,5642	0,0005	0,0346	-0,0001
0,5651	0,0006	0,0349	-0,0002
0,566	0,0006	0,0354	-0,0002
0,567	0,0006	0,0358	-0,0002
0,568	0,0007	0,0361	-0,0003
0,5697	0,0007	0,0366	-0,0003
0,5714	0,0007	0,0372	-0,0004
0,5724	0,0007	0,0376	-0,0004
0,574	0,0008	0,0382	-0,0004
0,5759	0,0008	0,0388	-0,0005
0,5771	0,0008	0,0392	-0,0005
0,5784	0,0008	0,0397	-0,0004
0,5795	0,0009	0,04	-0,0004
0,5806	0,0009	0,0405	-0,0003
0,5817	0,0009	0,041	-0,0003
0,5827	0,0009	0,0412	-0,0004
0,5838	0,001	0,0416	-0,0004
0,5848	0,001	0,0419	-0,0004
0,5862	0,001	0,0423	-0,0005
0,5872	0,001	0,0427	-0,0005
0,5887	0,001	0,043	-0,0005
0,5897	0,001	0,0434	-0,0006
0,5908	0,001	0,0437	-0,0006
0,5918	0,001	0,044	-0,0005
0,593	0,001	0,0443	-0,0005
0,5943	0,001	0,0446	-0,0005
0,5954	0,0009	0,0449	-0,0004
0,5969	0,0009	0,0454	-0,0004
0,5977	0,0009	0,0457	-0,0004
0,5984	0,0008	0,046	-0,0004
0,5997	0,0008	0,0463	-0,0003
0,6007	0,0008	0,0466	-0,0002
0,602	0,0008	0,0471	-0,0001
0,6034	0,0008	0,0476	0
0,6046	0,0007	0,048	0
0,6058	0,0006	0,0485	0,0001
0,607	0,0006	0,049	0,0001
0,6086	0,0005	0,0496	0,0002
0,6093	0,0005	0,0499	0,0002
0,6106	0,0005	0,0505	0,0003
0,6122	0,0005	0,0512	0,0004
0,6132	0,0005	0,0516	0,0005
0,6147	0,0004	0,0522	0,0005
0,6163	0,0004	0,053	0,0005
0,6177	0,0003	0,0535	0,0005
0,6189	0,0002	0,0541	0,0005
0,6199	0,0001	0,0544	0,0005
0,6216	0	0,0551	0,0004
0,6228	0	0,0554	0,0004

0,6239	-0,0001	0,056	0,0004
0,6253	-0,0003	0,0563	0,0003
0,6273	-0,0005	0,0571	0,0003
0,6291	-0,0007	0,0578	0,0003
0,6301	-0,001	0,0581	0,0002
0,6314	-0,0012	0,0585	0,0002
0,6328	-0,0013	0,059	0,0002
0,6343	-0,0015	0,0596	0,0001
0,6355	-0,0016	0,06	0
0,6373	-0,0018	0,0605	-0,0001
0,6389	-0,0019	0,0611	-0,0002
0,6398	-0,0021	0,0615	-0,0003
0,6412	-0,0023	0,062	-0,0005
0,6425	-0,0023	0,0625	-0,0007
0,6437	-0,0023	0,0629	-0,0009
0,6451	-0,0023	0,0636	-0,001
0,6467	-0,0023	0,0644	-0,0011
0,6479	-0,0022	0,0649	-0,0011
0,6485	-0,0022	0,0652	-0,0011
0,6498	-0,0021	0,0657	-0,0011
0,651	-0,002	0,0663	-0,001
0,6523	-0,002	0,0666	-0,0011
0,6538	-0,0019	0,0672	-0,0012
0,655	-0,0019	0,0677	-0,0013
0,6562	-0,0018	0,0682	-0,0014
0,6575	-0,0018	0,0687	-0,0014
0,6589	-0,0018	0,0691	-0,0014
0,6596	-0,0017	0,0695	-0,0014
0,6605	-0,0017	0,0696	-0,0014
0,6616	-0,0015	0,0699	-0,0016
0,6631	-0,0013	0,0702	-0,0018
0,6646	-0,0012	0,0706	-0,002
0,6655	-0,0011	0,0709	-0,002
0,6668	-0,0009	0,0713	-0,0019
0,6676	-0,0007	0,0716	-0,0019
0,6686	-0,0006	0,0718	-0,0019
0,6698	-0,0004	0,0722	-0,002
0,6709	-0,0002	0,0726	-0,002
0,6719	0	0,0729	-0,002
0,6732	0,0001	0,0733	-0,002
0,6743	0,0003	0,0737	-0,002
0,6757	0,0005	0,0741	-0,002
0,6769	0,0007	0,0745	-0,002
0,6782	0,0009	0,0749	-0,002
0,6794	0,001	0,0752	-0,002
0,6808	0,0012	0,0756	-0,0019
0,6822	0,0015	0,0762	-0,0019
0,6836	0,0017	0,0765	-0,0018
0,6849	0,002	0,077	-0,0018
0,6861	0,0023	0,0774	-0,0016
0,6872	0,0025	0,0778	-0,0016
0,6884	0,0027	0,0781	-0,0015
0,6898	0,0028	0,0785	-0,0014
0,6912	0,003	0,0791	-0,0014

0,6926	0,0031	0,0795	-0,0013
0,6937	0,0033	0,08	-0,0013
0,6953	0,0034	0,0805	-0,0012
0,6966	0,0035	0,0811	-0,0012
0,698	0,0036	0,0815	-0,0011
0,6994	0,0037	0,0821	-0,0011
0,7009	0,0038	0,0827	-0,001
0,7022	0,0038	0,0832	-0,001
0,7034	0,0039	0,0836	-0,0009
0,7046	0,0039	0,0841	-0,0008
0,7059	0,004	0,0846	-0,0007
0,7072	0,004	0,0851	-0,0007
0,7082	0,004	0,0855	-0,0006
0,7097	0,0039	0,086	-0,0006
0,7112	0,0039	0,0866	-0,0005
0,7126	0,0038	0,087	-0,0005
0,7137	0,0037	0,0874	-0,0005
0,7149	0,0036	0,0878	-0,0004
0,7159	0,0035	0,088	-0,0004
0,7168	0,0035	0,0885	-0,0003
0,7179	0,0034	0,0888	-0,0002
0,7188	0,0033	0,0889	0
0,7199	0,0032	0,0892	0,0001
0,7215	0,0032	0,0897	0,0001
0,7225	0,0031	0,09	0,0001
0,7237	0,003	0,0903	0
0,7246	0,0028	0,0906	0,0001
0,7258	0,0027	0,0909	0,0002
0,7267	0,0027	0,0911	0,0004
0,7279	0,0026	0,0914	0,0004
0,7286	0,0026	0,0916	0,0005
0,7297	0,0025	0,0919	0,0004
0,7306	0,0023	0,092	0,0004
0,7316	0,0022	0,0923	0,0005
0,7327	0,002	0,0926	0,0007
0,7338	0,0019	0,0929	0,0005
0,7346	0,0018	0,093	0,0008
0,7358	0,0017	0,0933	0,0007
0,737	0,0016	0,0936	0,0006
0,7382	0,0015	0,0938	0,0007
0,7395	0,0013	0,0942	0,0008
0,7407	0,0012	0,0945	0,0007
0,7419	0,0011	0,0947	0,0007
0,7429	0,0011	0,095	0,0009
0,7438	0,001	0,0953	0,0009
0,7452	0,0009	0,0956	0,001
0,7464	0,0007	0,0958	0,0009
0,7479	0,0006	0,0961	0,001
0,7489	0,0005	0,0963	0,001
0,7503	0,0004	0,0966	0,001
0,7517	0,0003	0,0969	0,0009
0,7532	0,0002	0,0972	0,0009
0,7544	0,0001	0,0975	0,0008
0,7554	0	0,0978	0,0008

0,7562	-0,0002	0,098	0,0008
0,7572	-0,0003	0,0982	0,0008
0,7582	-0,0004	0,0984	0,0008
0,7592	-0,0005	0,0986	0,0008
0,7603	-0,0006	0,0988	0,0008
0,7615	-0,0007	0,0989	0,0009
0,7625	-0,0009	0,0991	0,001
0,7637	-0,001	0,0993	0,0011
0,7648	-0,0011	0,0996	0,0012
0,766	-0,0012	0,0999	0,0013
0,7671	-0,0013	0,1003	0,0014
0,7689	-0,0014	0,1007	0,0015
0,77	-0,0015	0,101	0,0015
0,771	-0,0015	0,1013	0,0016
0,7721	-0,0016	0,1016	0,0017
0,7733	-0,0017	0,1019	0,0017
0,7746	-0,0018	0,1022	0,0017
0,7756	-0,0018	0,1025	0,0017
0,7768	-0,0019	0,1027	0,0018
0,7778	-0,0019	0,103	0,0018
0,7788	-0,002	0,1033	0,0018
0,7798	-0,0021	0,1036	0,002
0,7808	-0,0022	0,1039	0,002
0,782	-0,0022	0,1042	0,0022
0,7834	-0,0022	0,1046	0,0022
0,7846	-0,0023	0,1049	0,0022
0,7858	-0,0023	0,1053	0,0022
0,7869	-0,0024	0,1057	0,0022
0,7881	-0,0024	0,1062	0,0022
0,7892	-0,0025	0,1065	0,0024
0,7903	-0,0026	0,1069	0,0024
0,7917	-0,0027	0,1073	0,0024
0,7926	-0,0027	0,1076	0,0025
0,7939	-0,0029	0,1081	0,0025
0,7951	-0,0029	0,1083	0,0026
0,7964	-0,003	0,1088	0,0027
0,7976	-0,003	0,1093	0,0027
0,7987	-0,0031	0,1096	0,0027
0,7997	-0,0031	0,1099	0,0027
0,801	-0,0031	0,1103	0,0027
0,8021	-0,0031	0,1106	0,0028
0,8031	-0,0031	0,1109	0,0028
0,8041	-0,0031	0,1113	0,0028
0,8057	-0,0032	0,1118	0,0028
0,8068	-0,0032	0,1121	0,0028
0,808	-0,0032	0,1126	0,0028
0,8092	-0,0031	0,1129	0,0029
0,8103	-0,0031	0,1132	0,0029
0,8115	-0,0031	0,1137	0,0029
0,8131	-0,0031	0,1141	0,0029
0,8148	-0,0031	0,1147	0,0029
0,8157	-0,0031	0,115	0,0028
0,8173	-0,003	0,1156	0,0028
0,8185	-0,0029	0,1159	0,0028

0,8198	-0,0029	0,1163	0,0028
0,8209	-0,0029	0,1167	0,0029
0,8221	-0,0029	0,1171	0,0029
0,8232	-0,0028	0,1175	0,0028
0,8243	-0,0028	0,1179	0,0028
0,8257	-0,0027	0,1183	0,0027
0,8267	-0,0027	0,1188	0,0026
0,8278	-0,0027	0,1192	0,0025
0,8292	-0,0027	0,1196	0,0025
0,8305	-0,0026	0,12	0,0025
0,8318	-0,0026	0,1205	0,0024
0,833	-0,0026	0,121	0,0024
0,8345	-0,0026	0,1215	0,0024
0,8357	-0,0026	0,1219	0,0024
0,837	-0,0026	0,1223	0,0023
0,8381	-0,0025	0,1227	0,0023
0,8393	-0,0025	0,1231	0,0022
0,8405	-0,0025	0,1235	0,0021
0,8418	-0,0025	0,124	0,0021
0,8429	-0,0025	0,1245	0,002
0,8443	-0,0024	0,125	0,002
0,8455	-0,0024	0,1254	0,0018
0,8467	-0,0024	0,1258	0,0016
0,848	-0,0023	0,1262	0,0015
0,8492	-0,0023	0,1266	0,0014
0,8506	-0,0022	0,127	0,0013
0,852	-0,0022	0,1275	0,0013
0,8532	-0,0022	0,128	0,0013
0,8544	-0,0023	0,1285	0,0012
0,8557	-0,0022	0,129	0,0012
0,8568	-0,0024	0,1295	0,0011
0,8582	-0,0025	0,1302	0,0011
0,8597	-0,0025	0,1307	0,0012
0,8605	-0,0025	0,1312	0,0012
0,862	-0,0026	0,1316	0,0013
0,8629	-0,0026	0,1321	0,0013
0,8641	-0,0026	0,1326	0,0014
0,8653	-0,0027	0,1331	0,0014
0,8664	-0,0027	0,1337	0,0015
0,8676	-0,0028	0,1341	0,0015
0,869	-0,0028	0,1346	0,0016
0,8704	-0,0029	0,1351	0,0016
0,8714	-0,0029	0,1356	0,0017
0,8726	-0,003	0,1361	0,0017
0,8735	-0,003	0,1367	0,0018
0,8744	-0,0031	0,1371	0,0018
0,8751	-0,0031	0,1374	0,0017
0,8761	-0,0031	0,1377	0,0017
0,8771	-0,0031	0,1381	0,0018
0,878	-0,0031	0,1385	0,0019
0,8789	-0,0032	0,1389	0,002
0,88	-0,0032	0,1392	0,0021
0,8812	-0,0032	0,1396	0,0022
0,8823	-0,0032	0,1399	0,0022

0,8835	-0,0031	0,1403	0,0022
0,8845	-0,0031	0,1407	0,0022
0,8857	-0,0031	0,1411	0,0022
0,8867	-0,0031	0,1414	0,0022
0,8876	-0,0031	0,1418	0,0022
0,8887	-0,0031	0,1421	0,0022
0,8898	-0,003	0,1424	0,0022
0,8908	-0,003	0,1426	0,0022
0,8922	-0,0029	0,143	0,0023
0,8935	-0,0028	0,1433	0,0024
0,8944	-0,0027	0,1437	0,0025
0,8954	-0,0026	0,1441	0,0026
0,8967	-0,0025	0,1445	0,0026
0,8978	-0,0023	0,1449	0,0027
0,899	-0,002	0,1453	0,0027
0,9004	-0,0018	0,1457	0,0028

BB8			
time	x	y	z
0,5491	0	0,0145	0
0,5501	0	0,0147	0
0,5513	0	0,015	0
0,5526	0	0,0153	0
0,5536	0	0,0156	0
0,5548	0	0,0159	0
0,5559	-0,0002	0,0162	-0,0001
0,5573	-0,0002	0,0166	-0,0001
0,5587	-0,0003	0,0171	-0,0001
0,5598	-0,0003	0,0175	-0,0001
0,5608	-0,0004	0,0177	0
0,5622	-0,0004	0,0181	0
0,5631	-0,0004	0,0184	0
0,5642	-0,0004	0,0187	0
0,5651	-0,0005	0,0189	0
0,566	-0,0005	0,0192	0
0,567	-0,0006	0,0195	0
0,568	-0,0006	0,0197	0
0,5697	-0,0007	0,0201	0
0,5714	-0,0008	0,0206	-0,0001
0,5724	-0,0009	0,0209	-0,0001
0,574	-0,001	0,0213	-0,0001
0,5759	-0,0011	0,0218	-0,0002
0,5771	-0,0012	0,0222	-0,0002
0,5784	-0,0013	0,0226	-0,0002
0,5795	-0,0014	0,023	-0,0002
0,5806	-0,0015	0,0233	-0,0003
0,5817	-0,0015	0,0238	-0,0003
0,5827	-0,0015	0,0241	-0,0003
0,5838	-0,0015	0,0246	-0,0002
0,5848	-0,0015	0,025	-0,0002
0,5862	-0,0015	0,0255	-0,0002
0,5872	-0,0015	0,026	-0,0001
0,5887	-0,0015	0,0265	-0,0001
0,5897	-0,0015	0,027	0

0,5908	-0,0014	0,0274	0
0,5918	-0,0014	0,0277	0
0,593	-0,0014	0,0283	0
0,5943	-0,0014	0,0286	0
0,5954	-0,0014	0,029	0
0,5969	-0,0014	0,0295	0
0,5977	-0,0014	0,0298	0
0,5984	-0,0014	0,0302	0
0,5997	-0,0013	0,0305	0,0001
0,6007	-0,0013	0,0308	0,0001
0,602	-0,0012	0,0312	0,0002
0,6034	-0,0011	0,0316	0,0003
0,6046	-0,001	0,032	0,0003
0,6058	-0,001	0,0325	0,0004
0,607	-0,0009	0,0328	0,0004
0,6086	-0,0008	0,0333	0,0005
0,6093	-0,0007	0,0336	0,0005
0,6106	-0,0006	0,034	0,0006
0,6122	-0,0005	0,0345	0,0006
0,6132	-0,0004	0,0349	0,0007
0,6147	-0,0002	0,0355	0,0007
0,6163	0	0,036	0,0008
0,6177	0,0001	0,0365	0,0008
0,6189	0,0002	0,0368	0,0009
0,6199	0,0003	0,0373	0,0009
0,6216	0,0003	0,0378	0,001
0,6228	0,0004	0,0382	0,001
0,6239	0,0004	0,0386	0,001
0,6253	0,0006	0,0389	0,0011
0,6273	0,0008	0,0397	0,0012
0,6291	0,0009	0,0403	0,0013
0,6301	0,001	0,0407	0,0014
0,6314	0,0012	0,0411	0,0014
0,6328	0,0014	0,0417	0,0014
0,6343	0,0015	0,0423	0,0014
0,6355	0,0016	0,0427	0,0015
0,6373	0,0016	0,0435	0,0015
0,6389	0,0016	0,0442	0,0015
0,6398	0,0016	0,0446	0,0015
0,6412	0,0017	0,0451	0,0014
0,6425	0,0016	0,0458	0,0014
0,6437	0,0016	0,0463	0,0014
0,6451	0,0015	0,0468	0,0014
0,6467	0,0014	0,0475	0,0013
0,6479	0,0014	0,048	0,0013
0,6485	0,0013	0,0483	0,0013
0,6498	0,0013	0,0486	0,0013
0,651	0,0012	0,0491	0,0012
0,6523	0,0012	0,0495	0,0012
0,6538	0,0011	0,0501	0,0011
0,655	0,001	0,0504	0,0011
0,6562	0,0009	0,0508	0,001
0,6575	0,0009	0,0511	0,0009
0,6589	0,0008	0,0515	0,0008

0,6596	0,0008	0,0519	0,0007
0,6605	0,0007	0,0522	0,0006
0,6616	0,0007	0,0525	0,0005
0,6631	0,0006	0,0529	0,0004
0,6646	0,0006	0,0534	0,0003
0,6655	0,0005	0,0537	0,0001
0,6668	0,0004	0,0541	0,0001
0,6676	0,0004	0,0545	0
0,6686	0,0003	0,0549	0
0,6698	0,0002	0,0553	-0,0001
0,6709	0,0002	0,0559	-0,0002
0,6719	0,0002	0,0564	-0,0003
0,6732	0,0002	0,0567	-0,0004
0,6743	0,0002	0,0573	-0,0005
0,6757	0,0002	0,0581	-0,0005
0,6769	0,0002	0,0587	-0,0005
0,6782	0,0002	0,0593	-0,0005
0,6794	0,0002	0,0598	-0,0005
0,6808	0,0002	0,0604	-0,0005
0,6822	0,0002	0,0609	-0,0005
0,6836	0,0002	0,0616	-0,0005
0,6849	0,0001	0,0621	-0,0005
0,6861	0,0001	0,0628	-0,0005
0,6872	0,0001	0,0633	-0,0005
0,6884	0,0001	0,0638	-0,0005
0,6898	0	0,0645	-0,0005
0,6912	0	0,0653	-0,0004
0,6926	0	0,0659	-0,0003
0,6937	0	0,0664	-0,0002
0,6953	0	0,0671	0
0,6966	0	0,068	0,0001
0,698	0	0,0686	0,0003
0,6994	0	0,0692	0,0005
0,7009	0	0,07	0,0007
0,7022	0,0001	0,0706	0,0008
0,7034	0,0001	0,0711	0,0008
0,7046	0,0001	0,0718	0,0009
0,7059	-0,0002	0,0724	0,001
0,7072	-0,0002	0,073	0,001
0,7082	-0,0002	0,0736	0,001
0,7097	-0,0002	0,0742	0,001
0,7112	-0,0002	0,075	0,0011
0,7126	-0,0001	0,0757	0,0011
0,7137	-0,0001	0,0761	0,0012
0,7149	0	0,0768	0,0013
0,7159	0,0001	0,0772	0,0013
0,7168	0,0002	0,0776	0,0014
0,7179	0,0002	0,0779	0,0016
0,7188	0,0003	0,0784	0,0015
0,7199	0,0004	0,079	0,0013
0,7215	0,0004	0,0795	0,0014
0,7225	0,0005	0,0801	0,0012
0,7237	0,0006	0,0806	0,0012
0,7246	0,0006	0,0809	0,0012

0,7258	0,0007	0,0813	0,0013
0,7267	0,0007	0,0818	0,0012
0,7279	0,0008	0,0822	0,0012
0,7286	0,0009	0,0826	0,001
0,7297	0,001	0,0829	0,001
0,7306	0,001	0,0831	0,001
0,7316	0,0012	0,0837	0,001
0,7327	0,0013	0,084	0,0009
0,7338	0,0015	0,0844	0,0008
0,7346	0,0016	0,0847	0,0009
0,7358	0,0017	0,085	0,0007
0,737	0,0019	0,0855	0,0006
0,7382	0,002	0,086	0,0004
0,7395	0,0022	0,0864	0,0002
0,7407	0,0024	0,0869	0,0001
0,7419	0,0025	0,0873	-0,0002
0,7429	0,0026	0,0876	-0,0003
0,7438	0,0027	0,0881	-0,0003
0,7452	0,0028	0,0886	-0,0005

BB9			
time	x	y	z
0,6253	0	0,014	0
0,6273	0	0,0155	0
0,6291	0	0,0163	0
0,6301	0	0,0168	0
0,6314	0,0001	0,0171	0,0001
0,6328	0,0002	0,0175	0,0002
0,6343	0,0003	0,018	0,0003
0,6355	0,0004	0,0185	0,0004
0,6373	0,0004	0,019	0,0004
0,6389	0,0005	0,0195	0,0004
0,6398	0,0006	0,0198	0,0004
0,6412	0,0007	0,0202	0,0004
0,6425	0,0007	0,0206	0,0004
0,6437	0,0007	0,021	0,0004
0,6451	0,0007	0,0214	0,0004
0,6467	0,0008	0,0218	0,0004
0,6479	0,0008	0,0221	0,0004
0,6485	0,0008	0,0223	0,0004
0,6498	0,0008	0,0225	0,0003
0,651	0,0009	0,0229	0,0003
0,6523	0,0009	0,0231	0,0003
0,6538	0,0009	0,0233	0,0003
0,655	0,0009	0,0235	0,0005
0,6562	0,001	0,0237	0,0005
0,6575	0,001	0,024	0,0005
0,6589	0,0009	0,0243	0,0005
0,6596	0,0009	0,0247	0,0006
0,6605	0,0008	0,0248	0,0006
0,6616	0,0008	0,0251	0,0005
0,6631	0,0008	0,0255	0,0005
0,6646	0,0008	0,0258	0,0005
0,6655	0,0008	0,026	0,0004

0,6668	0,0007	0,0263	0,0004
0,6676	0,0007	0,0266	0,0004
0,6686	0,0006	0,0269	0,0004
0,6698	0,0006	0,0272	0,0004
0,6709	0,0006	0,0274	0,0004
0,6719	0,0007	0,0277	0,0004
0,6732	0,0007	0,028	0,0004
0,6743	0,0008	0,0284	0,0004
0,6757	0,0008	0,0287	0,0003
0,6769	0,0008	0,0291	0,0003
0,6782	0,0008	0,0295	0,0003
0,6794	0,0008	0,03	0,0003
0,6808	0,0008	0,0304	0,0002
0,6822	0,0008	0,0308	0,0002
0,6836	0,0008	0,0313	0,0002
0,6849	0,0008	0,0317	0,0001
0,6861	0,0008	0,0321	0,0001
0,6872	0,0008	0,0325	0,0001
0,6884	0,0008	0,0328	0,0001
0,6898	0,0008	0,0333	0,0001
0,6912	0,0009	0,0338	0,0002
0,6926	0,0009	0,0343	0,0002
0,6937	0,0009	0,0346	0,0002
0,6953	0,001	0,0352	0,0003
0,6966	0,001	0,0356	0,0003
0,698	0,0011	0,0361	0,0004
0,6994	0,0011	0,0366	0,0004
0,7009	0,0012	0,0371	0,0005
0,7022	0,0011	0,0374	0,0005
0,7034	0,0011	0,0376	0,0004
0,7046	0,001	0,038	0,0004
0,7059	0,0009	0,0384	0,0003
0,7072	0,0009	0,0388	0,0003
0,7082	0,0009	0,0391	0,0003
0,7097	0,0009	0,0395	0,0003
0,7112	0,0008	0,04	0,0004
0,7126	0,0008	0,0405	0,0004
0,7137	0,0008	0,0409	0,0004
0,7149	0,0008	0,0413	0,0005
0,7159	0,0009	0,0417	0,0005
0,7168	0,0009	0,042	0,0005
0,7179	0,001	0,0425	0,0005
0,7188	0,001	0,0428	0,0006
0,7199	0,001	0,0431	0,0005
0,7215	0,0011	0,0436	0,0006
0,7225	0,0011	0,044	0,0007
0,7237	0,0011	0,0446	0,0006
0,7246	0,0011	0,0448	0,0008
0,7258	0,0012	0,0453	0,0008
0,7267	0,0012	0,0456	0,0007
0,7279	0,0012	0,046	0,001
0,7286	0,0012	0,0464	0,0008
0,7297	0,0012	0,0467	0,0008
0,7306	0,0012	0,0469	0,001

0.7316	0,0012	0,0472	0,0009
0.7327	0,0012	0,0476	0,0009
0.7338	0,0012	0,0479	0,001
0.7346	0,0012	0,0483	0,0009
0.7358	0,0012	0,0486	0,001
0,737	0,0012	0,049	0,001
0.7382	0,0013	0,0494	0,001
0.7395	0,0013	0,0497	0,001
0.7407	0,0013	0,05	0,001
0.7419	0,0013	0,0505	0,001
0.7429	0,0013	0,0508	0,001
0.7438	0,0013	0,051	0,001
0.7452	0,0013	0,0515	0,001
0.7464	0,0013	0,0518	0,0009
0.7479	0,0012	0,0523	0,001
0.7489	0,0012	0,0526	0,001
0.7503	0,0012	0,0531	0,0009
0.7517	0,0012	0,0535	0,0007
0.7532	0,0012	0,054	0,0006
0.7544	0,0012	0,0546	0,0003
0.7554	0,0011	0,0551	0,0001
0.7562	0,0011	0,0555	-0,0001
0.7572	0,001	0,0558	0
0.7582	0,0009	0,0561	0
0.7592	0,0009	0,0565	0
0.7603	0,0009	0,0571	-0,0002
0.7615	0,0008	0,0576	-0,0004
0.7625	0,0008	0,058	-0,0006
0.7637	0,0008	0,0586	-0,0006
0.7648	0,0008	0,0589	-0,0007
0.766	0,0008	0,0595	-0,0007
0.7671	0,0008	0,0599	-0,0008
0.7689	0,0008	0,0606	-0,0008
0,77	0,0008	0,061	-0,001
0.771	0,0008	0,0615	-0,001
0.7721	0,0008	0,0618	-0,0011
0.7733	0,0008	0,0623	-0,0011
0.7746	0,0008	0,0628	-0,0013
0.7756	0,0008	0,0631	-0,0013
0.7768	0,0009	0,0636	-0,0015
0.7778	0,0009	0,064	-0,0015
0.7788	0,0009	0,0645	-0,0015
0.7798	0,0009	0,0648	-0,0015
0.7808	0,0009	0,0651	-0,0015
0,782	0,0009	0,0656	-0,0016
0.7834	0,001	0,0661	-0,0017
0.7846	0,001	0,0666	-0,0017
0.7858	0,001	0,067	-0,0017
0.7869	0,001	0,0675	-0,0017
0.7881	0,001	0,0678	-0,0017
0.7892	0,001	0,0684	-0,0017
0.7903	0,001	0,0688	-0,0017
0.7917	0,001	0,0692	-0,0016
0.7926	0,001	0,0696	-0,0016

0.7939	0,001	0,0698	-0,0018
0.7951	0,001	0,07	-0,002
0.7964	0,001	0,0707	-0,0018
0.7976	0,001	0,0711	-0,0016
0.7987	0,0009	0,0715	-0,0018
0.7997	0,0009	0,0718	-0,0018
0,801	0,0009	0,0722	-0,0018
0.8021	0,0008	0,0727	-0,0016
0.8031	0,0008	0,073	-0,0015
0.8041	0,0008	0,0734	-0,0015
0.8057	0,0008	0,0738	-0,0014
0.8068	0,0007	0,0742	-0,0013
0,808	0,0007	0,0745	-0,0012
0.8092	0,0007	0,0749	-0,0011
0.8103	0,0005	0,0752	-0,001
0.8115	0,0004	0,0756	-0,001
0.8131	0,0004	0,076	-0,0008
0.8148	0,0003	0,0766	-0,0006
0.8157	0,0003	0,077	-0,0003
0.8173	0,0002	0,0775	-0,0003
0.8185	0,0002	0,0779	-0,0003
0.8198	0,0001	0,0782	-0,0001
0.8209	0	0,0785	0,0001
0.8221	-0,0002	0,0789	0,0003
0.8232	-0,0002	0,0792	0,0004
0.8243	-0,0002	0,0796	0,0005
0.8257	-0,0003	0,08	0,0007
0.8267	-0,0002	0,0805	0,0007
0.8278	-0,0002	0,0808	0,0008
0.8292	-0,0001	0,0813	0,0008
0.8305	-0,0001	0,0819	0,001
0.8318	-0,0001	0,0823	0,0011
0,833	0	0,0826	0,0012
0.8345	0,0001	0,0831	0,0012
0.8357	0,0001	0,0836	0,0013
0,837	0,0002	0,0841	0,0013
0.8381	0,0002	0,0846	0,0014
0.8393	0,0002	0,0851	0,0015
0.8405	0,0002	0,0855	0,0016
0.8418	0,0002	0,0859	0,0017
0.8429	0,0001	0,0863	0,0018
0.8443	0,0001	0,0868	0,0018
0.8455	0,0001	0,0873	0,0019
0.8467	0,0001	0,0878	0,0019
0,848	0,0001	0,0883	0,0019
0.8492	0,0001	0,0888	0,002
0.8506	0	0,0894	0,002
0,852	0	0,09	0,002
0.8532	-0,0001	0,0906	0,002
0.8544	-0,0001	0,0912	0,002
0.8557	-0,0002	0,0918	0,0021
0.8568	-0,0002	0,0923	0,0021
0.8582	-0,0003	0,0929	0,0021
0.8597	-0,0004	0,0934	0,0021

0.8605	-0,0005	0,0939	0,0021
0,862	-0,0006	0,0943	0,0022
0.8629	-0,0006	0,0947	0,0022
0.8641	-0,0007	0,0951	0,0022
0.8653	-0,0008	0,0956	0,0022
0.8664	-0,001	0,0962	0,0022
0.8676	-0,0012	0,0967	0,0021
0,869	-0,0013	0,0972	0,0021
0.8704	-0,0013	0,0976	0,0021
0.8714	-0,0014	0,098	0,0021
0.8726	-0,0014	0,0984	0,0021
0.8735	-0,0015	0,0988	0,0019
0.8744	-0,0016	0,0991	0,0019
0.8751	-0,0017	0,0994	0,0019
0.8761	-0,0018	0,0999	0,002
0.8771	-0,0019	0,1004	0,0021
0,878	-0,0019	0,1009	0,0021
0.8789	-0,0019	0,1013	0,0021
0,88	-0,0019	0,1017	0,0021
0.8812	-0,0019	0,1022	0,0021
0.8823	-0,0018	0,1027	0,0021
0.8835	-0,0019	0,1033	0,0022
0.8845	-0,0019	0,1037	0,0022
0.8857	-0,0018	0,1041	0,0022
0.8867	-0,0019	0,1046	0,0021
0.8876	-0,0019	0,105	0,0021
0.8887	-0,0018	0,1054	0,0021
0.8898	-0,0019	0,1058	0,0022
0.8908	-0,0019	0,1062	0,0022
0.8922	-0,0019	0,1066	0,0022
0.8935	-0,0019	0,107	0,0021
0.8944	-0,0019	0,1073	0,002
0.8954	-0,0019	0,1076	0,002
0.8967	-0,0018	0,108	0,0019
0.8978	-0,0017	0,1084	0,0017
0,899	-0,0016	0,1087	0,0016
0.9004	-0,0015	0,109	0,0014

BB10			
time	x	y	z
0.6966	0	0,013	0
0,698	0	0,0133	0
0.6994	0	0,0136	0
0.7009	0	0,0137	0
0.7022	0	0,0139	0
0.7034	0	0,014	0
0.7046	0	0,0142	0
0.7059	0	0,0143	0
0.7072	0	0,0146	0
0.7082	0	0,0149	0
0.7097	0	0,0151	0
0.7112	0	0,0155	0
0.7126	0	0,0157	0
0.7137	0	0,0161	0

0,7149	0	0,0166	0
0,7159	0	0,017	0
0,7168	0	0,0173	0
0,7179	0	0,0175	0
0,7188	0	0,0178	0
0,7199	0	0,0181	0
0,7215	0	0,0184	0
0,7225	0	0,0186	0
0,7237	0	0,0189	0
0,7246	0	0,0191	0
0,7258	0	0,0192	0
0,7267	-0,0001	0,0193	0
0,7279	-0,0002	0,0195	0
0,7286	-0,0002	0,0196	0
0,7297	-0,0002	0,0199	0
0,7306	-0,0002	0,0202	0
0,7316	-0,0003	0,0205	0
0,7327	-0,0003	0,0208	0
0,7338	-0,0003	0,0213	0
0,7346	-0,0003	0,0216	0
0,7358	-0,0003	0,0219	0
0,737	-0,0003	0,0223	0
0,7382	-0,0003	0,0226	0
0,7395	-0,0003	0,023	0
0,7407	-0,0003	0,0234	0
0,7419	-0,0004	0,0237	0,0001
0,7429	-0,0004	0,024	0,0001
0,7438	-0,0005	0,0242	0,0001
0,7452	-0,0005	0,0245	0,0001
0,7464	-0,0006	0,0247	0
0,7479	-0,0006	0,0251	0,0001
0,7489	-0,0006	0,0255	0,0001
0,7503	-0,0006	0,0258	0
0,7517	-0,0006	0,0264	0,0001
0,7532	-0,0006	0,0268	0
0,7544	-0,0005	0,0273	0,0001
0,7554	-0,0005	0,0276	0,0001
0,7562	-0,0005	0,0279	0,0002
0,7572	-0,0005	0,0282	0,0002
0,7582	-0,0005	0,0285	0,0002
0,7592	-0,0005	0,0288	0,0002
0,7603	-0,0005	0,0291	0,0002
0,7615	-0,0005	0,0295	0,0003
0,7625	-0,0005	0,0298	0,0003
0,7637	-0,0005	0,0301	0,0003
0,7648	-0,0004	0,0304	0,0004
0,766	-0,0004	0,0308	0,0004
0,7671	-0,0004	0,0311	0,0004
0,7689	-0,0003	0,0317	0,0005
0,77	-0,0003	0,032	0,0005
0,771	-0,0003	0,0323	0,0005
0,7721	-0,0002	0,0326	0,0006
0,7733	-0,0001	0,0329	0,0006
0,7746	0	0,0334	0,0006

0,7756	0	0,0337	0,0007
0,7768	0,0001	0,034	0,0008
0,7778	0,0002	0,0344	0,0009
0,7788	0,0003	0,0348	0,0009
0,7798	0,0004	0,0351	0,0009
0,7808	0,0005	0,0354	0,001
0,782	0,0006	0,0358	0,001
0,7834	0,0008	0,0361	0,001
0,7846	0,001	0,0365	0,001
0,7858	0,0012	0,0368	0,0011
0,7869	0,0014	0,0372	0,0012
0,7881	0,0016	0,0375	0,0012
0,7892	0,0017	0,0378	0,0013
0,7903	0,0018	0,0383	0,0013
0,7917	0,002	0,0386	0,0015
0,7926	0,0021	0,0389	0,0016
0,7939	0,0023	0,0395	0,0018
0,7951	0,0025	0,0398	0,0018
0,7964	0,0026	0,0402	0,0018
0,7976	0,0028	0,0406	0,0019
0,7987	0,003	0,041	0,0019
0,7997	0,0032	0,0413	0,0019
0,801	0,0034	0,0417	0,0019
0,8021	0,0036	0,0421	0,002
0,8031	0,0038	0,0424	0,002
0,8041	0,0038	0,0427	0,002
0,8057	0,0039	0,0434	0,002
0,8068	0,004	0,0437	0,002
0,808	0,004	0,044	0,002
0,8092	0,0039	0,0446	0,002
0,8103	0,0039	0,045	0,002
0,8115	0,0038	0,0456	0,002
0,8131	0,0037	0,0462	0,0018
0,8148	0,0037	0,0468	0,0018
0,8157	0,0037	0,047	0,0018
0,8173	0,0036	0,0475	0,0018
0,8185	0,0036	0,0479	0,0018
0,8198	0,0036	0,0484	0,0016
0,8209	0,0035	0,0487	0,0015
0,8221	0,0035	0,0492	0,0014
0,8232	0,0035	0,0495	0,0014
0,8243	0,0035	0,0498	0,0014
0,8257	0,0034	0,0504	0,0014
0,8267	0,0033	0,0508	0,0013
0,8278	0,0031	0,0511	0,0012
0,8292	0,003	0,0515	0,0012
0,8305	0,0029	0,0519	0,0011
0,8318	0,0028	0,0524	0,001
0,833	0,0027	0,0527	0,0009
0,8345	0,0025	0,053	0,0009
0,8357	0,0024	0,0533	0,0008
0,837	0,0023	0,0535	0,0008
0,8381	0,0022	0,0538	0,0007
0,8393	0,0021	0,0541	0,0007

0,8405	0,002	0,0544	0,0006
0,8418	0,0019	0,0547	0,0006
0,8429	0,0018	0,055	0,0005
0,8443	0,0017	0,0554	0,0005
0,8455	0,0016	0,0557	0,0005
0,8467	0,0016	0,056	0,0005
0,848	0,0015	0,0564	0,0004
0,8492	0,0015	0,0567	0,0004
0,8506	0,0014	0,057	0,0004
0,852	0,0013	0,0574	0,0004
0,8532	0,0012	0,0578	0,0004
0,8544	0,0011	0,0582	0,0004
0,8557	0,001	0,0587	0,0004
0,8568	0,0008	0,0591	0,0003
0,8582	0,0008	0,0595	0,0003
0,8597	0,0006	0,0599	0,0003
0,8605	0,0005	0,0604	0,0003
0,862	0,0004	0,0609	0,0003
0,8629	0,0003	0,0613	0,0003
0,8641	0,0002	0,0617	0,0003
0,8653	0,0001	0,0621	0,0003
0,8664	0	0,0626	0,0003
0,8676	-0,0001	0,063	0,0003
0,869	-0,0001	0,0635	0,0003
0,8704	-0,0001	0,0639	0,0003
0,8714	-0,0001	0,0643	0,0002
0,8726	-0,0002	0,0646	0,0002
0,8735	-0,0002	0,065	0,0002
0,8744	-0,0002	0,0653	0,0002
0,8751	-0,0002	0,0656	0,0002
0,8761	-0,0003	0,0659	0,0002
0,8771	-0,0003	0,0663	0,0002
0,878	-0,0004	0,0667	0,0003
0,8789	-0,0004	0,0671	0,0003
0,88	-0,0004	0,0675	0,0003
0,8812	-0,0005	0,0678	0,0003
0,8823	-0,0006	0,0681	0,0002
0,8835	-0,0006	0,0684	0,0002
0,8845	-0,0007	0,0688	0,0002
0,8857	-0,0008	0,0691	0,0002
0,8867	-0,0009	0,0695	0,0002
0,8876	-0,001	0,0699	0,0002
0,8887	-0,0011	0,0702	0,0002
0,8898	-0,0012	0,0706	0,0002
0,8908	-0,0013	0,071	0,0002
0,8922	-0,0014	0,0714	0,0002
0,8935	-0,0015	0,0718	0,0001
0,8944	-0,0015	0,0722	0,0001
0,8954	-0,0016	0,0726	0
0,8967	-0,0017	0,073	0
0,8978	-0,0018	0,0734	-0,0001
0,899	-0,0019	0,0739	-0,0001
0,9004	-0,002	0,0743	-0,0003

BB11			
time	x	y	z
0,7407	0	0,0128	0
0,7419	0	0,013	0,0001
0,7429	0	0,0134	0,0002
0,7438	0	0,0136	0,0003
0,7452	0	0,0139	0,0004
0,7464	0	0,0142	0,0004
0,7479	0	0,0146	0,0004
0,7489	0	0,0149	0,0004
0,7503	0	0,0152	0,0004
0,7517	0	0,0155	0,0004
0,7532	0	0,0159	0,0004
0,7544	0	0,0163	0,0004
0,7554	0	0,0166	0,0005
0,7562	0	0,0168	0,0005
0,7572	0	0,0172	0,0005
0,7582	0	0,0175	0,0005
0,7592	0	0,0178	0,0005
0,7603	0	0,0181	0,0005
0,7615	0	0,0185	0,0005
0,7625	0	0,0188	0,0004
0,7637	0	0,0191	0,0004
0,7648	-0,0001	0,0195	0,0004
0,766	-0,0001	0,0199	0,0004
0,7671	-0,0001	0,0203	0,0004
0,7689	-0,0001	0,021	0,0005
0,77	-0,0001	0,0215	0,0005
0,771	-0,0001	0,0218	0,0005
0,7721	-0,0001	0,0222	0,0005
0,7733	-0,0002	0,0227	0,0006
0,7746	-0,0002	0,0232	0,0004
0,7756	-0,0002	0,0236	0,0005
0,7768	-0,0002	0,024	0,0005
0,7778	-0,0002	0,0243	0,0005
0,7788	-0,0002	0,0247	0,0004
0,7798	-0,0002	0,025	0,0004
0,7808	-0,0002	0,0254	0,0004
0,782	-0,0003	0,0259	0,0004
0,7834	-0,0003	0,0263	0,0004
0,7846	-0,0003	0,0268	0,0004
0,7858	-0,0003	0,0275	0,0004
0,7869	-0,0003	0,0278	0,0003
0,7881	-0,0003	0,0283	0,0003
0,7892	-0,0004	0,0289	0,0003
0,7903	-0,0004	0,0292	0,0003
0,7917	-0,0004	0,03	0,0003
0,7926	-0,0004	0,0303	0,0001
0,7939	-0,0004	0,031	0,0001
0,7951	-0,0004	0,0314	0,0001
0,7964	-0,0004	0,0321	0,0002
0,7976	-0,0004	0,0326	0,0002
0,7987	-0,0005	0,033	0,0002
0,7997	-0,0005	0,0334	0,0002

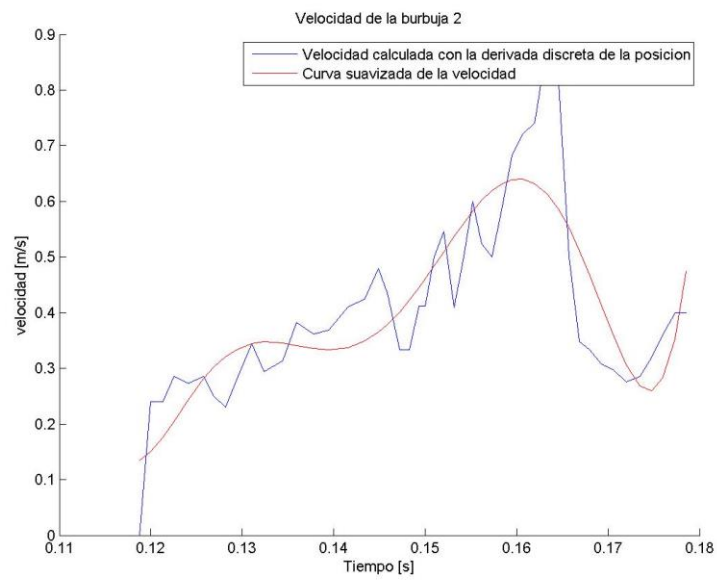
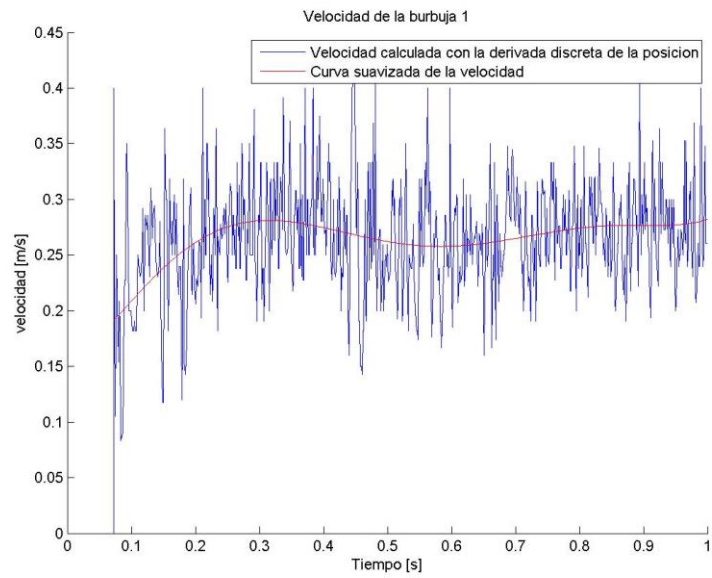
0,801	-0,0005	0,034	0,0002
0,8021	-0,0005	0,0345	0,0002
0,8031	-0,0005	0,035	0,0002
0,8041	-0,0005	0,0355	0,0002
0,8057	-0,0005	0,0361	0,0002
0,8068	-0,0005	0,0364	0,0002
0,808	-0,0005	0,037	0,0002
0,8092	-0,0004	0,0373	0,0002
0,8103	-0,0003	0,0379	0,0003
0,8115	-0,0003	0,0384	0,0003
0,8131	-0,0003	0,039	0,0003
0,8148	-0,0002	0,0396	0,0004
0,8157	-0,0001	0,0402	0,0005
0,8173	0	0,0408	0,0006
0,8185	0,0003	0,0413	0,0006
0,8198	0,0007	0,0419	0,0007
0,8209	0,0007	0,0423	0,0007
0,8221	0,0009	0,0429	0,0008
0,8232	0,0011	0,0433	0,0009
0,8243	0,0013	0,0438	0,0011
0,8257	0,0013	0,0442	0,0011
0,8267	0,0014	0,0448	0,0012
0,8278	0,0015	0,0452	0,0013
0,8292	0,0015	0,0458	0,0013
0,8305	0,0016	0,0462	0,0013
0,8318	0,0017	0,0468	0,0014
0,833	0,0017	0,0478	0,0014

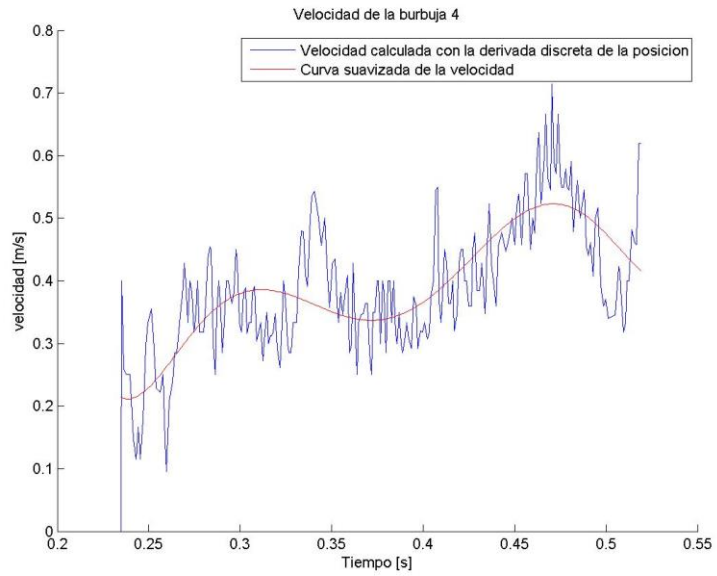
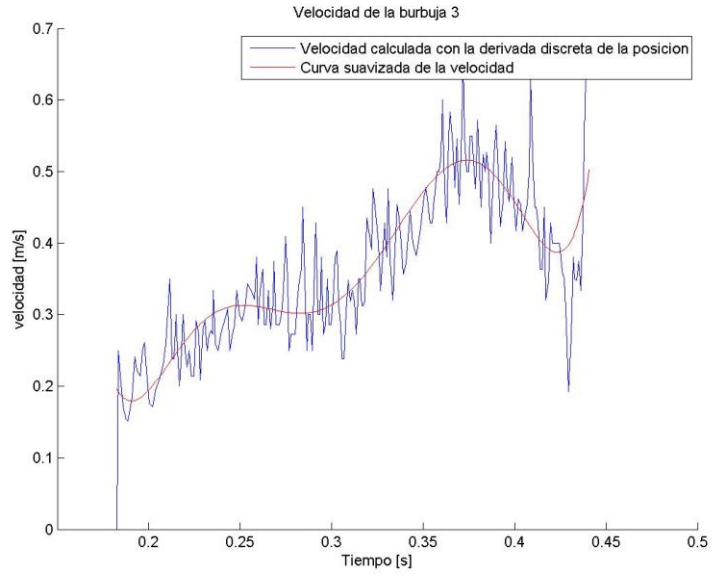
BB12			
Time	x	y	z
0,801	0	0,0135	0
0,8021	0	0,0139	0
0,8031	0	0,0143	0
0,8041	0	0,0146	0
0,8057	0	0,0148	0
0,8068	0	0,015	0
0,808	0	0,0153	0
0,8092	0	0,0156	0
0,8103	0	0,0158	0
0,8115	0	0,016	0
0,8131	0	0,0163	0
0,8148	0	0,0167	0
0,8157	0,0001	0,0169	0,0001
0,8173	0,0001	0,0173	0,0002
0,8185	0,0001	0,0176	0,0002
0,8198	0,0001	0,018	0,0002
0,8209	0,0001	0,0183	0,0002
0,8221	0,0001	0,0186	0,0002
0,8232	0,0001	0,0189	0,0003
0,8243	0,0001	0,0191	0,0003
0,8257	0,0001	0,0194	0,0003
0,8267	0,0001	0,0197	0,0004

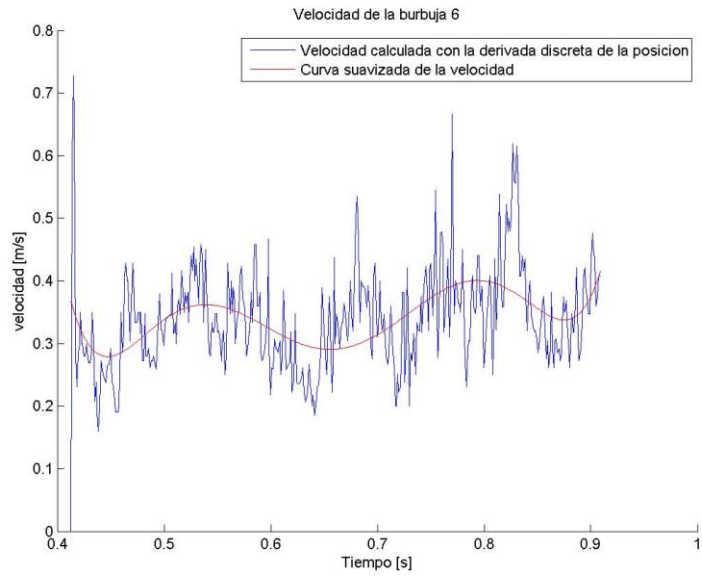
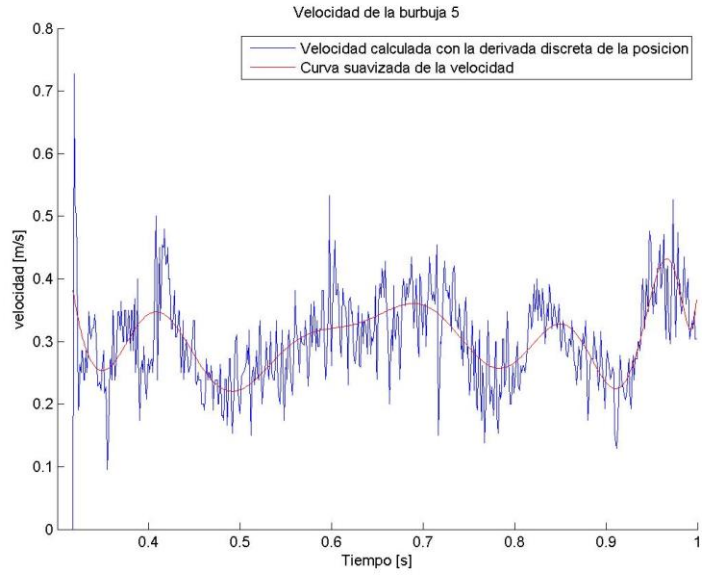
0,8278	0,0001	0,02	0,0004
0,8292	0,0001	0,0203	0,0005
0,8305	0,0001	0,0206	0,0005
0,8318	0,0001	0,021	0,0006
0,833	0,0001	0,0213	0,0006
0,8345	0,0001	0,0216	0,0007
0,8357	0,0001	0,0219	0,0007
0,837	0,0001	0,0223	0,0007
0,8381	0,0001	0,0227	0,0006
0,8393	0,0001	0,0231	0,0005
0,8405	0,0001	0,0235	0,0004
0,8418	0,0001	0,0239	0,0004
0,8429	0	0,0243	0,0004
0,8443	0	0,0247	0,0004
0,8455	0	0,025	0,0005
0,8467	0	0,0253	0,0005
0,848	0	0,0256	0,0005
0,8492	0	0,0259	0,0005
0,8506	0	0,0262	0,0004
0,852	0	0,0265	0,0004
0,8532	0	0,0269	0,0004
0,8544	0	0,0273	0,0004
0,8557	0	0,0277	0,0004
0,8568	0	0,028	0,0004
0,8582	-0,0001	0,0283	0,0004
0,8597	-0,0001	0,0286	0,0004
0,8605	-0,0001	0,0289	0,0004
0,862	-0,0002	0,0293	0,0003
0,8629	-0,0002	0,0296	0,0003
0,8641	-0,0002	0,0299	0,0003
0,8653	-0,0002	0,0302	0,0003
0,8664	-0,0002	0,0305	0,0003
0,8676	-0,0003	0,0308	0,0003
0,869	-0,0003	0,0312	0,0002
0,8704	-0,0003	0,0315	0,0002
0,8714	-0,0003	0,0318	0,0002
0,8726	-0,0003	0,0321	0,0002
0,8735	-0,0003	0,0325	0,0002
0,8744	-0,0004	0,0329	0,0002
0,8751	-0,0004	0,0332	0,0001
0,8761	-0,0004	0,0336	0,0001
0,8771	-0,0004	0,0339	0,0001
0,878	-0,0004	0,0342	0,0001
0,8789	-0,0004	0,0345	0,0001
0,88	-0,0004	0,0348	0,0001
0,8812	-0,0005	0,0352	0,0001
0,8823	-0,0005	0,0357	0,0001
0,8835	-0,0005	0,0361	0
0,8845	-0,0005	0,0364	0
0,8857	-0,0006	0,0368	0
0,8867	-0,0006	0,0372	0
0,8876	-0,0006	0,0376	0

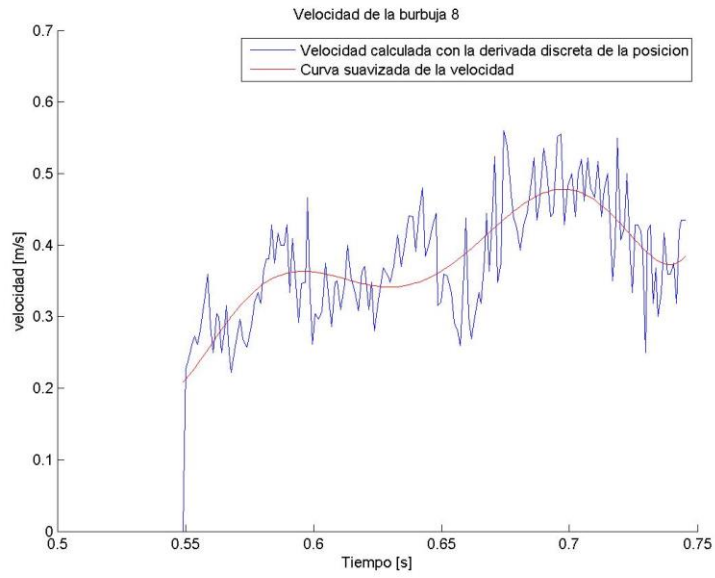
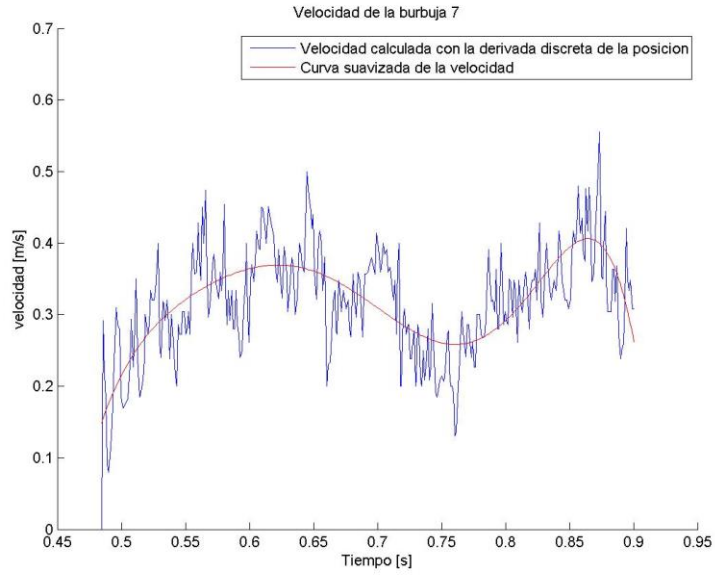


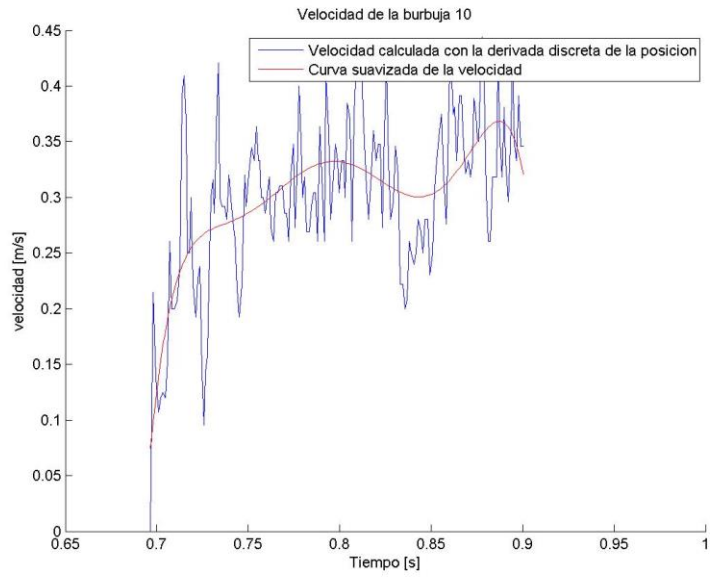
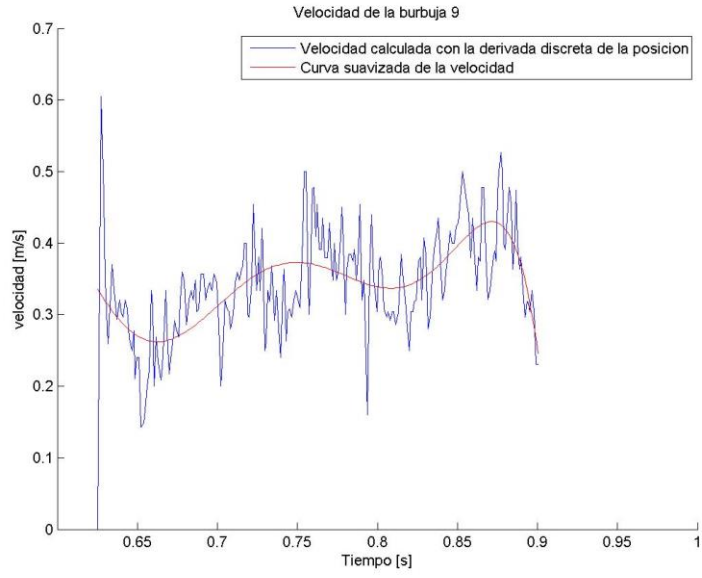
## Anexo C : Gráficos de velocidad de cada burbuja

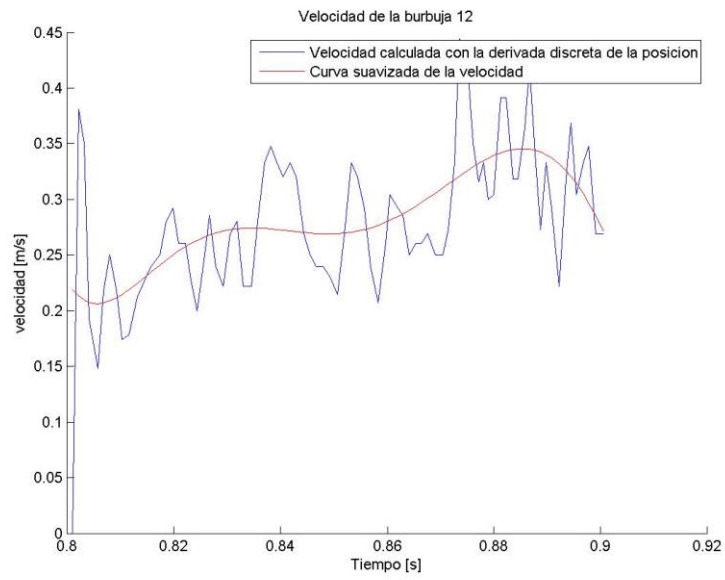
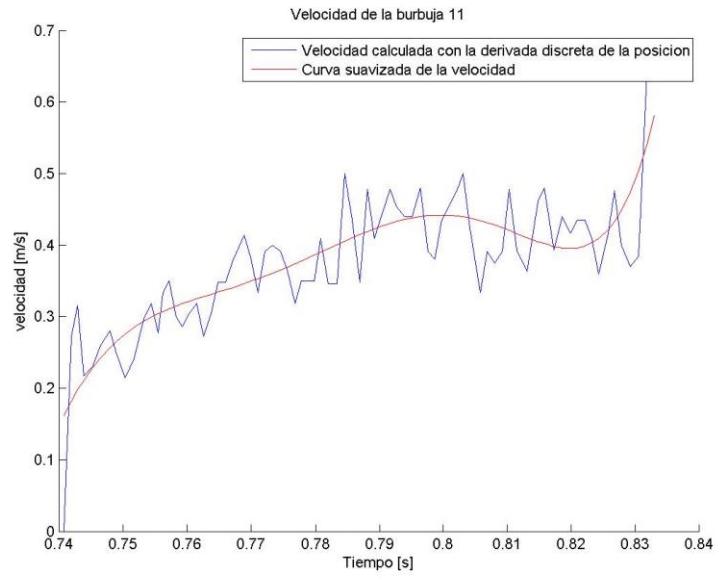




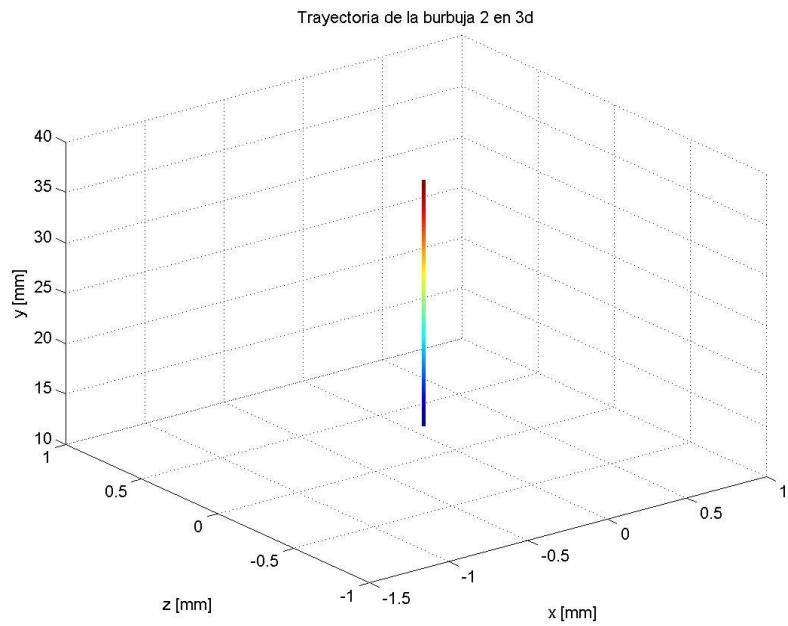
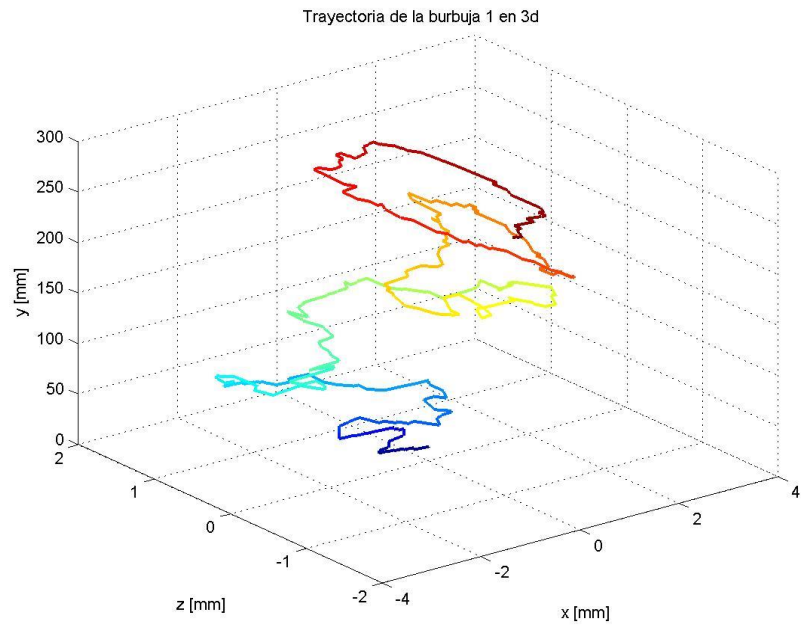




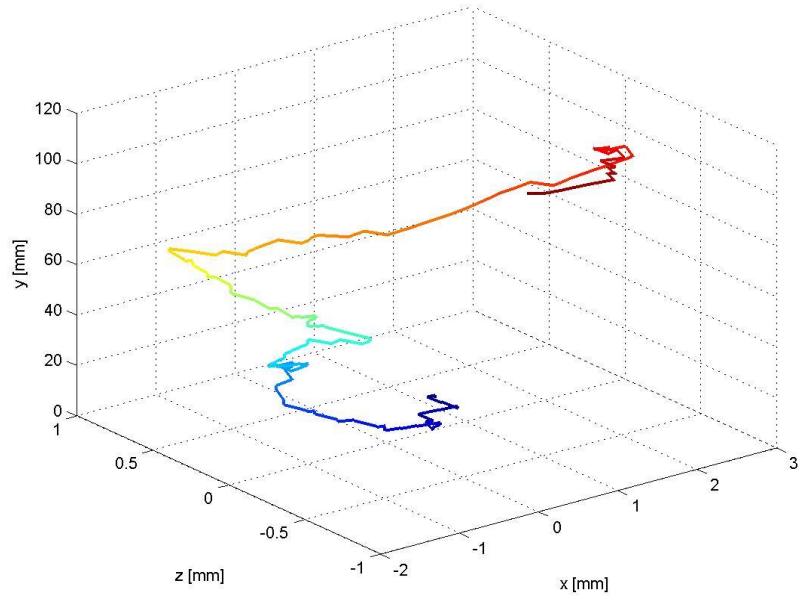




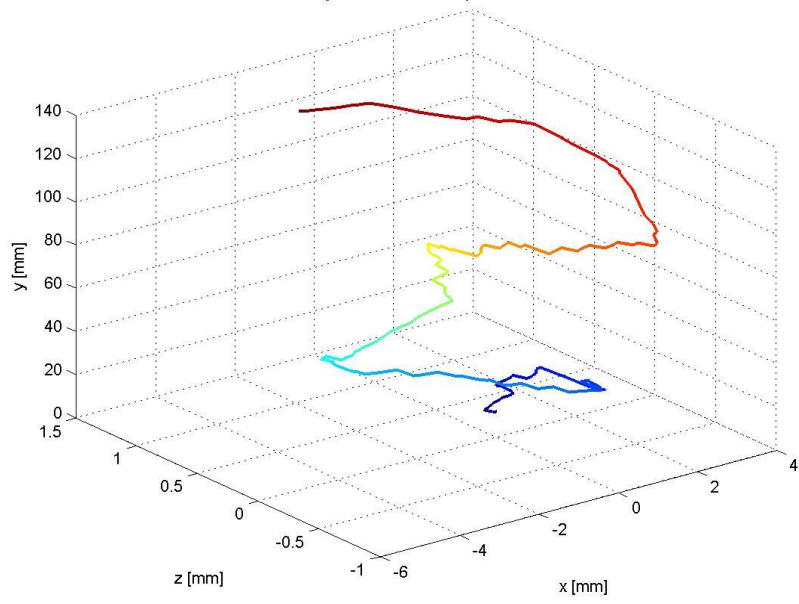
## Anexo D : Trayectorias de cada burbuja



Trayectoria de la burbuja 3 en 3d

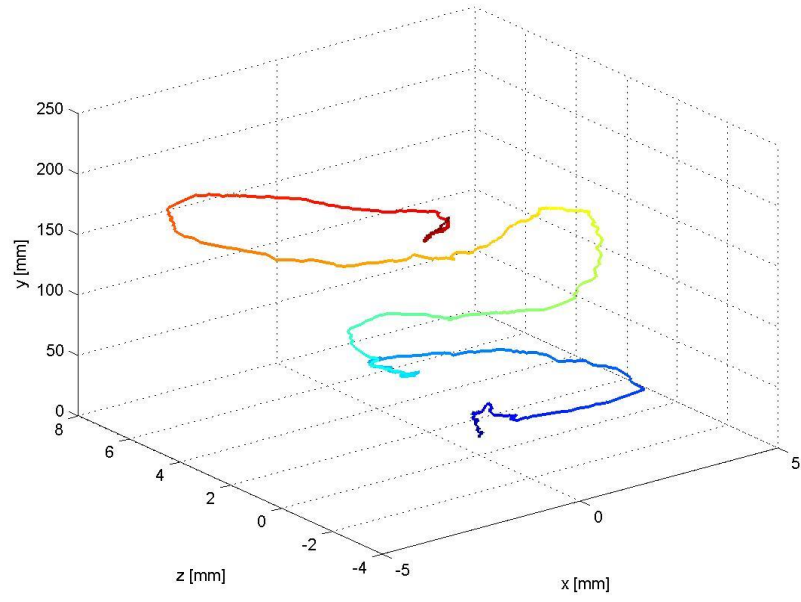


Trayectoria de la burbuja 4 en 3d

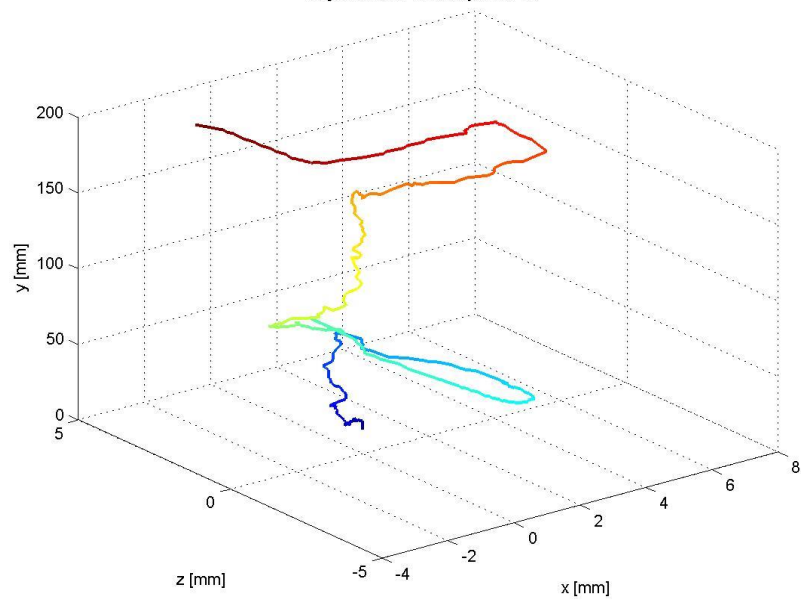




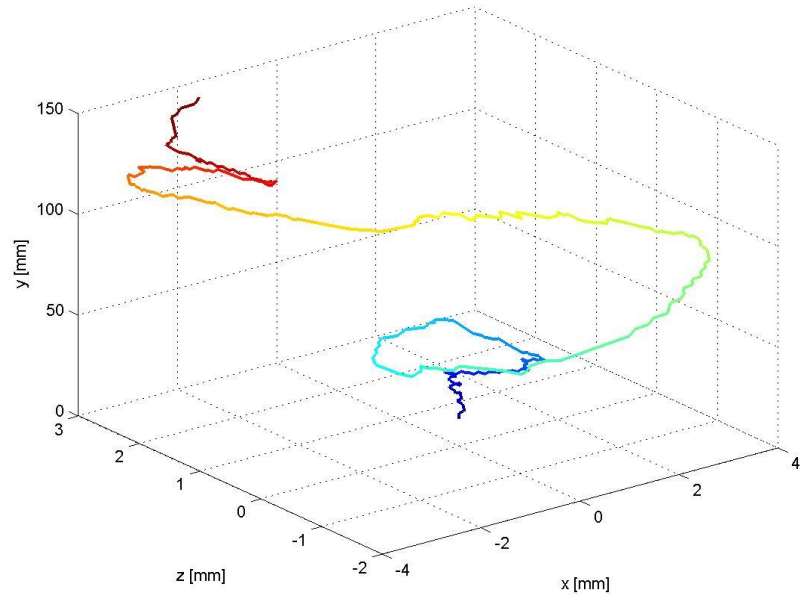
Trayectoria de la burbuja 5 en 3d



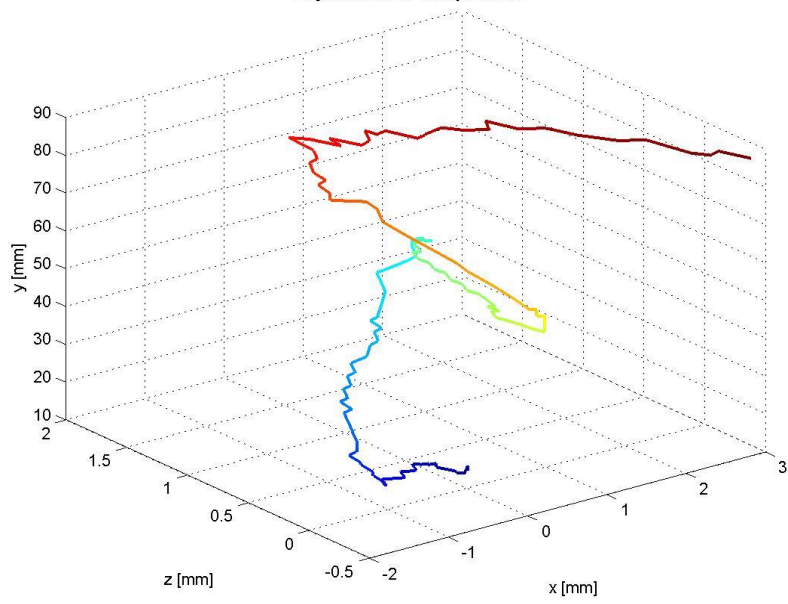
Trayectoria de la burbuja 6 en 3d



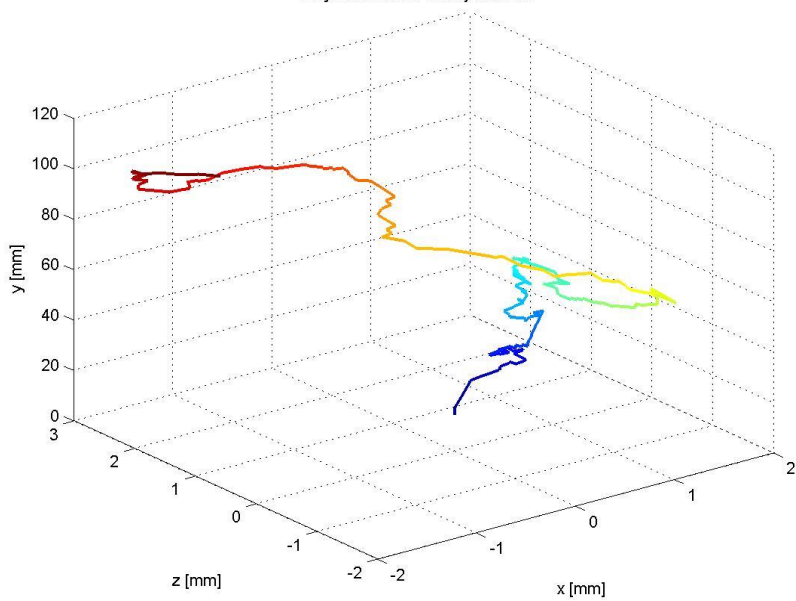
Trayectoria de la burbuja 7 en 3d



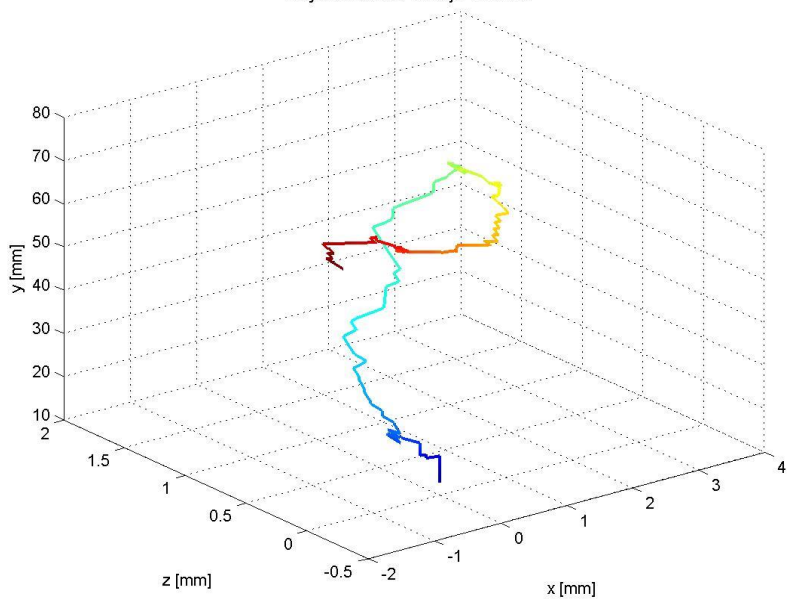
Trayectoria de la burbuja 8 en 3d



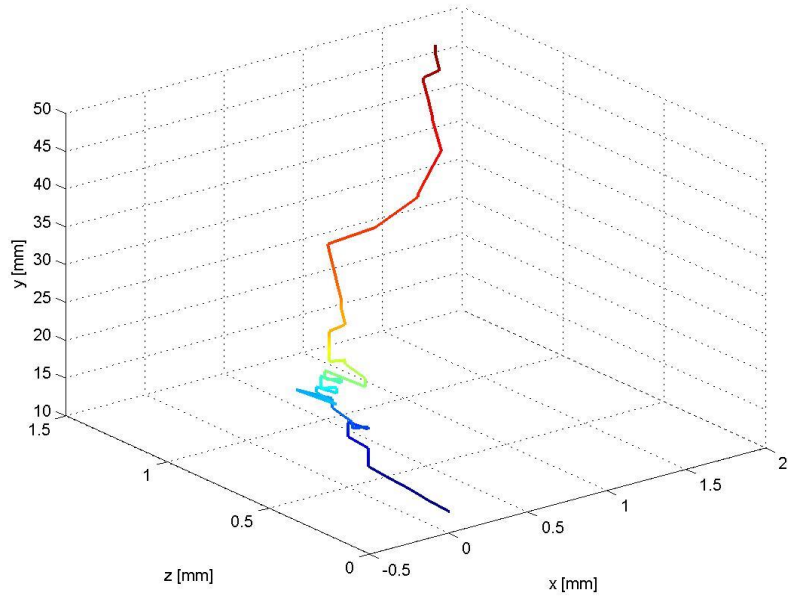
Trayectoria de la burbuja 9 en 3d



Trayectoria de la burbuja 10 en 3d



Trayectoria de la burbuja 11 en 3d



Trayectoria de la burbuja 12 en 3d

