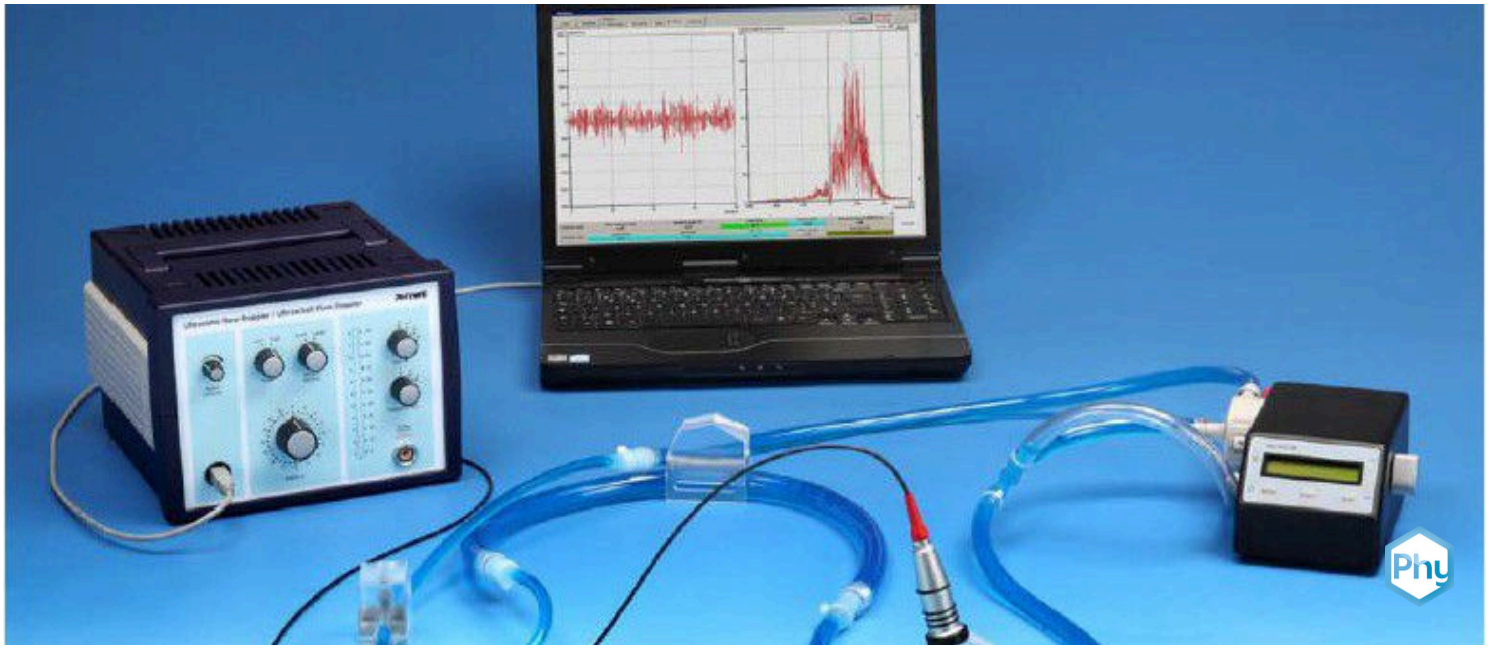
Medición del caudal / Efecto Doppler ultrasónico



Física	Mecánica	Mecánica de los líquidos y los gases
Física	Acústica	Ultrasonido
ciencia aplicada	Ingeniería	Mecánica Aplicada / Fluidos y Aerodinámica
ciencia aplicada	Medicina	Diagnóstico radiológico y ecográfico / Imagen de ultrasonido
ciencia aplicada	Medicina	Biomecánica

Nivel de dificultad	Tamaño del grupo	Tiempo de preparación	Tiempo de ejecución
difícil	2	20 minutos	45+ minutos

This content can also be found online at:

http://localhost:1337/c/60611bf8a60fb700036e4dfe

PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

PHYWE

Información general

Aplicación

PHYWE

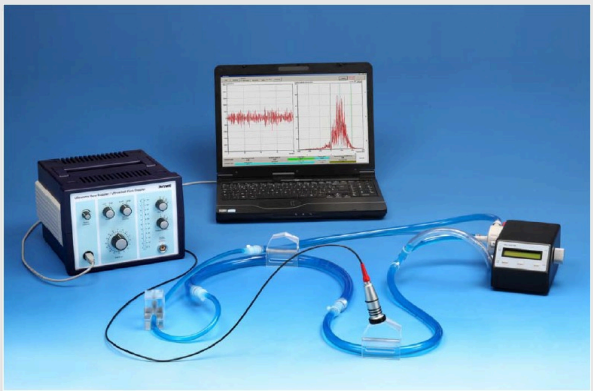


Fig.1: Montaje experimental

El efecto Doppler de los ultrasonidos puede utilizarse para medir la velocidad del flujo. Por ello, tiene muchas aplicaciones en el ámbito médico para observar el interior del cuerpo.

Este experimento puede utilizarse para obtener una primera comprensión del efecto doppler de los ultrasonidos.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Información adicional (1/2)

PHYWE

Conocimiento previo

Los conocimientos previos necesarios para este experimento se encuentran en la sección de teoría.

Principio

La razón del efecto Doppler es que cuando la fuente de las ondas se mueve hacia el observador, cada cresta de onda sucesiva se emite desde una posición más cercana al observador que la cresta de la onda anterior. Por lo tanto, cada onda tarda un poco menos en llegar al observador que la onda anterior.

Información adicional (2/2)

PHYWE

Objetivo

El objetivo de este experimento es estudiar la relación entre el efecto Doppler ultrasónico y la velocidad del flujo o el ángulo Doppler.

Tareas

1. Medir el desplazamiento de la frecuencia en función de la velocidad del flujo y del ángulo de incidencia.
2. Utilizar este valor para calcular la velocidad del flujo.
3. Representar en forma gráfica el desplazamiento de la frecuencia en función de la velocidad de la bomba.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Teoría (1/6)

PHYWE

Las mediciones de flujo pueden realizarse con numerosos procesos y métodos diferentes.

Un método sencillo pero muy eficaz es medir la capacidad en litros. Para ello, mida el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido (por ejemplo, una jarra medidora). Si a continuación divides este volumen por el tiempo necesario, obtendrás directamente el caudal en l/min o ml/s.

Una desventaja de este método es que no es muy adecuado para las mediciones continuas. Sin embargo, puede utilizarse en los laboratorios para calibrar otros métodos o equipos de medición.

Los flotadores son un ejemplo de caudalímetros mecánicos. En un tubo vertical y cónico con la parte más ancha en la parte superior, un flotador se eleva hacia arriba en contra de la fuerza gravitatoria debido a la fricción con el líquido. La velocidad de flujo del líquido disminuye hacia la parte superior, ya que la sección transversal del tubo aumenta. Si la fuerza de rozamiento y la fuerza gravitatoria se equilibran, el flotador flota

Teoría (2/6)

PHYWE

Los caudalímetros de paletas giratorias son otro ejemplo de caudalímetros mecánicos. En estos caudalímetros, una paleta hidrométrica es girada por el líquido entrante. Cuanto mayor sea la velocidad del caudal, más rápido girará la paleta. Esta rotación puede medirse muy bien como una frecuencia con la ayuda de un generador de impulsos y, por tanto, proporciona una señal eléctrica que puede evaluarse muy fácilmente.

Ambos métodos dependen en gran medida de la viscosidad, por lo que deben recalibrarse para cada nuevo líquido. No sólo se aplican en combinación con líquidos, sino también con gases.

En la actualidad, los caudalímetros ultrasónicos se utilizan en numerosos campos industriales, médicos o de investigación. Los más utilizados son los caudalímetros ultrasónicos en los que la evaluación se basa en la medición del tiempo de vuelo. Aprovechan el hecho de que las ondas sonoras son arrastradas por los medios fluyentes y, por tanto, la velocidad efectiva de propagación del sonido. Al igual que un flotador que se mueve en contra de la corriente, los ultrasonidos se mueven más lentamente en contra de la dirección del flujo del medio que con el flujo.

PHYWE

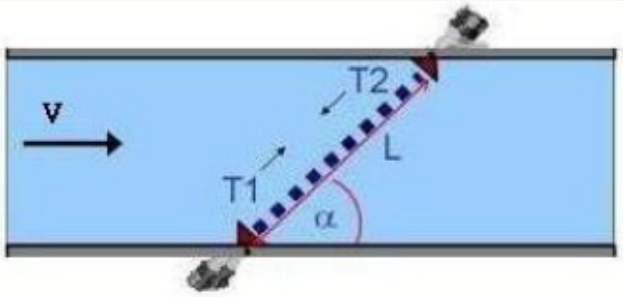
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Teoría (3/6)

PHYWE



En primer lugar, se transmite un pulso con el flujo y su tiempo de vuelo T_1 se mide. A continuación, el tiempo de vuelo T_2 de un segundo impulso, que esta vez se transmite en contra del flujo, se mide. La determinación de la diferencia de tiempo de vuelo Δt permite calcular la velocidad del flujo v. El flujo volumétrico resulta de un cálculo basado en la velocidad del flujo y la sección transversal del tubo.

Con c como la velocidad del sonido del medio, se aplica lo siguiente:

$c_1 = c + \vec{v}\cos\alpha$

$c_2 = c - \vec{v}\cos\alpha$

$\Delta t = T_2 - T_1 = \frac{L\vec{v}\cos\alpha}{c^2 - \vec{v}^2\cos^2\alpha} \approx \frac{L\vec{v}\cos\alpha}{c^2}$

Teoría (4/6)

PHYWE

l, c y $\cos\alpha$ debe conocerse y hay que tener en cuenta que c depende de la temperatura.

Las ventajas de este método son que las mediciones pueden realizarse incluso con secciones transversales de gran tamaño, no se requieren construcciones transversales y las mediciones pueden realizarse también en combinación con fluidos no conductores y sucios. Sin embargo, la generación y evaluación de las señales de ultrasonidos requiere un cierto esfuerzo.

En el campo, se pueden encontrar numerosas disposiciones diferentes. Además de la simple transmisión del sonido, las mediciones también pueden realizarse de forma transversal o en modo de reflexión. Los sensores de pinza son especialmente versátiles. Simplemente se fijan a los tubos y miden en modo de reflexión.

Si se aplica el método Doppler, se mide el desplazamiento de frecuencia que se produce cuando la onda sonora se dispersa en pequeñas partículas o impurezas. Si una onda de ultrasonido con la frecuencia f_0 choca con un objeto en movimiento, lo que provoca un desplazamiento de frecuencia debido al efecto Doppler. Para una velocidad de movimiento pequeña v del objeto en comparación con la velocidad del

PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

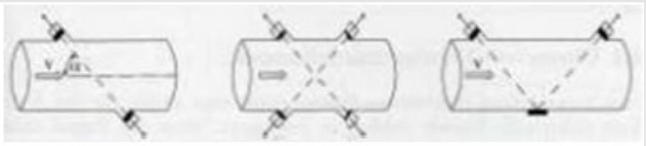
Teoría (5/6)

$$\Delta f = f_0 \frac{v}{c}(\cos\alpha + \cos\beta) \quad (1)$$

α y β son los ángulos entre v y la onda normal. Para un sistema de pulso-eco con un transmisor de ultrasonido $\alpha = \beta$ y por lo tanto:

$$\Delta f = 2 f_0 \frac{v}{c}\cos\alpha \quad (2)$$

El efecto Doppler se utiliza en el diagnóstico médico cuando se examinan movimientos y estructuras en movimiento. Se distingue el método CW (onda continua) y el método Doppler de onda pulsada. Mientras que los detectores Doppler simples sólo pueden detectar movimientos, los sistemas direccionales o los sistemas Doppler de onda pulsada proporcionan resultados con un mayor nivel de diferenciación.



Teoría (6/6)

La ecografía Doppler como método de diagnóstico se aplica sobre todo para la detección del flujo sanguíneo en arterias y venas. Con este método, el flujo de sangre puede detectarse y evaluarse cualitativa y cuantitativamente de forma no invasiva. Con las unidades Doppler de onda pulsada, no sólo se puede determinar la velocidad de movimiento de una partícula, sino también su distancia con respecto al transductor de sonido. La combinación de sistemas Doppler de onda pulsada y B-scan en tiempo real permite la asignación anatómica del volumen de la muestra en la imagen seccional. Este tipo de sistemas se utiliza sobre todo en cardiología y en el diagnóstico fetal.

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Equipo

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	Set Básico: Tecnología Doppler II de Ultrasonido	13926-99	1

PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

PHYWE

Montaje y ejecución

Montaje y ejecución (1/8)

PHYWE

Instrucciones de uso de la bomba centrífuga

La bomba centrífuga puede generar flujos tanto continuos como pulsantes. Sin embargo, para el experimento Doppler sólo se utilizan flujos continuos. Para ello, la bomba se utiliza en el modo M0 o M1. El flujo puede iniciarse y detenerse con los botones "START" y "STOP". El botón giratorio del lado derecho determina la velocidad del caudal. Se recomienda girar el mando giratorio completamente hacia la izquierda (mínimo) antes de iniciar una medición. A continuación, una vez pulsado el botón "START", aumenta lentamente la velocidad de la bomba (consulta también las instrucciones de seguridad).

En el modo M0, la potencia de la bomba se muestra en %. Esto corresponde a la velocidad de la bomba, siendo el 100% la velocidad máxima. En el modo M1, el caudal se muestra en l/min. Este valor debe recalibrarse para cada circuito, ya que la resistencia del caudal cambia. (El caudal puede calibrarse con el botón "START" y el pequeño mando giratorio situado en el lado izquierdo de la bomba. Para una descripción más detallada, consulta el manual de instrucciones de la bomba).

PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Montaje y ejecución (2/8)

PHYWE

Instrucciones de seguridad

Al conectar los tubos a la bomba, se recomienda desconectar la bomba de la red eléctrica (desenchufar el cable de alimentación). Esto es especialmente importante cuando se llena el sistema de tubos con el fluido. La bomba debe dejarse a un lado durante este proceso para asegurarse de que ningún fluido pueda penetrar en la carcasa de la bomba. Antes de encender la bomba, gira el regulador "SPEED" hacia delante hasta que llegue al tope (en sentido contrario a las agujas del reloj). Una vez encendida la bomba, aumente lentamente la velocidad para evitar que el fluido salpique, cuando el sistema de tubos aún está abierto, o para evitar que la bomba aspire aire.

La carcasa del módulo de la bomba tiene orificios de ventilación en la parte posterior y en su superficie inferior. No cubres estos orificios de ventilación

Montaje y ejecución (3/8)

PHYWE

ATENCIÓN: La bomba no es adecuada para un funcionamiento continuo a la máxima velocidad de la bomba. El tiempo de funcionamiento al 100% de la velocidad debe limitarse a 30 minutos como máximo.

Sugerimos que el experimento sea configurado por el personal del curso de laboratorio, ya que la primera vez que se configura es muy lenta y propensa a errores. Esto se aplica especialmente al llenar el sistema de tubos con el líquido de sonografía. Si el experimento no se utiliza durante mucho tiempo, hay que tener en cuenta que las perlas de vidrio en el líquido de sonografía se sedimentan. En este caso, volver a poner las perlas en solución llevará algún tiempo, con el encendido y apagado repetido de la bomba.

Prepara el experimento como se muestra en la Fig. 1.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Montaje y ejecución (4/8)

PHYWE

Montaje y llenado del circuito:

En primer lugar, se establece un circuito con la ayuda del juego de tubos y la bomba centrífuga. La T del juego de tubos debe estar situada en el punto de entrada a la bomba. Si no es así, el líquido Doppler puede salpicar por la T si el circuito está abierto y la velocidad es demasiado alta. Una vez completado el circuito, debe llenarse con fluido Doppler con la ayuda de un embudo en la T. Antes de llenar el fluido en el circuito, agitar enérgicamente la botella con el fluido Doppler para agitar las partículas de dispersión. Si no hay suficientes partículas de dispersión en el circuito, la señal de dispersión resultante puede ser demasiado baja para las mediciones. Al llenar el circuito, intente también producir el menor número posible de burbujas de aire. Dado que esto no puede evitarse por completo, las burbujas deben guiarse hacia la T después del llenado para eliminarlas del circuito. Esto se puede conseguir levantando ligeramente el elemento del tubo o dejando que la bomba funcione a baja velocidad. De este modo, las burbujas se moverán y podrán separarse en la T. Cuando el circuito esté completamente lleno, se recomienda sellar la T con un tapón.

Montaje y ejecución (5/8)

PHYWE

Prisma Doppler y transductor:

A continuación, acopla el prisma Doppler al tubo. Para el experimento utilizamos el prisma de 3/8". El lugar para acoplar el prisma no debe estar situado directamente detrás de uno de los conectores o detrás de una fuerte curvatura del tubo, ya que estas zonas suelen estar sujetas a remolinos y turbulencias en el flujo. La solución ideal es disponer de un trozo de tubo largo y recto antes del punto de medición.

Antes de fijar el prisma, aplica una película de gel de ultrasonidos en su superficie interior curvada. Esto es necesario para conseguir un buen acoplamiento acústico entre el prisma y el tubo. Fija el prisma en el tubo con la ayuda de la placa.

En el siguiente paso, la superficie del transductor o las superficies correspondientes del prisma también deben tratarse con gel. Asegúrate de que siempre haya una cantidad suficiente de gel entre el transductor y el prisma durante la medición para garantizar una intensidad de señal suficiente. Enchufa el conector del transductor en la toma de la sonda del sonógrafo Doppler.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Montaje y ejecución (6/8)

PHYWE

Sonografía Doppler:

En primer lugar, ajusta la frecuencia del transductor que se utiliza (2 MHz) en el sonógrafo Doppler.

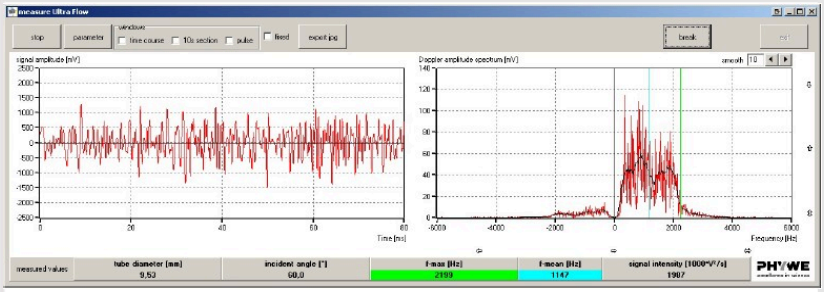
El ajuste correcto del interruptor "Volumen de la muestra" también es importante. Para el experimento Doppler, debe ajustarse a "Grande". (En el caso de "Pequeño", las señales se medirían sólo en una pequeña parte del tubo. Si el interruptor está ajustado a "Grande", el controlador "Profundo" no tiene ningún efecto. Esto es correcto ya que no es necesario para el experimento Doppler). El regulador "Potencia" puede utilizarse para variar la potencia de transmisión. El controlador "Ganancia" controla la ganancia de recepción. La "potencia" y la "ganancia" deben ajustarse siempre de forma que la intensidad de la señal que muestre el software sea lo suficientemente alta sin sobrepasar los límites. No modifique los ajustes durante la medición si puede evitarlo. El volumen sonoro de la señal de medición acústica se puede controlar con el regulador "Volumen de audio".

Montaje y ejecución (7/8)

PHYWE

Software:

El software lee los datos de medición del sonógrafo Doppler y los representa en forma de gráfico. La ventana de la izquierda muestra las intensidades de dispersión actuales, mientras que la ventana de la derecha muestra el espectro de estos datos. A partir del espectro, se determinan y se muestran dos valores de frecuencia: f-medio y f-máximo. Para el experimento Doppler, se utiliza el valor f-medio. Es la medida del desplazamiento de la frecuencia debido al efecto Doppler.



PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Montaje y ejecución (8/8)

PHYWE

Procedimiento

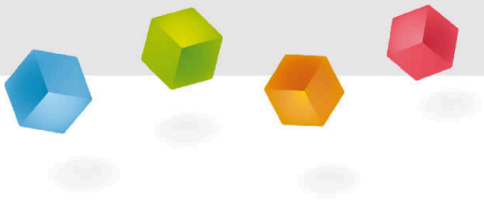
En la bomba centrífuga, se establecen tres velocidades de flujo diferentes en %. Para cada una de estas velocidades, se mide el desplazamiento de la frecuencia en los tres diferentes ángulos de incidencia (α_P =15°, 30° y 60°). Para ello, se acopla el transductor a la superficie del prisma correspondiente (no olvidar el gel). A continuación, se puede leer el valor de la frecuencia f-mean en el software. Estos valores se documentan junto con sus respectivos ángulos:

Bomba [%]	30	30	30	50	50	50	70	70	70
Ángulo de incidencia [°]	15	30	60	15	30	60	15	30	60
F-mean [Hz]	185	342	570	285	515	920	405	700	1320

Nota: El mantenimiento

Después de la medición, los tubos y el prisma Doppler deben limpiarse para eliminar el gel de los ultrasonidos. No utilizar productos de limpieza agresivos ni alcohol, ya que estas sustancias pueden dañar el cristal acrílico del prisma. En su lugar, utilizar simplemente un paño húmedo.

PHYWE



Resultados

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Resultados (1/3)

PHYWE

Para poder utilizar la fórmula Doppler (2), primero debemos determinar el ángulo Doppler α. El ángulo de incidencia α_P del prisma es conocido. Cuando el sonido se propaga desde el prisma hacia el líquido, el ángulo cambia de acuerdo con la ley de refracción y en función de las diferentes velocidades del sonido. (Para simplificar las cosas, suponemos que la pared del tubo es una capa paralela al plano, lo que nos permite omitirla en los cálculos).

Basado en la ley de refracción, el ángulo Doppler resulta como:

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\sin\alpha_P \frac{c_L}{c_P}\right) \quad (3)$$

Aquí, α_P es el ángulo de incidencia, c_P es la velocidad del sonido en el prisma, y c_L es la velocidad del sonido en el líquido.

Esta ecuación y la ecuación Doppler (2) pueden utilizarse ahora para calcular la velocidad del flujo.

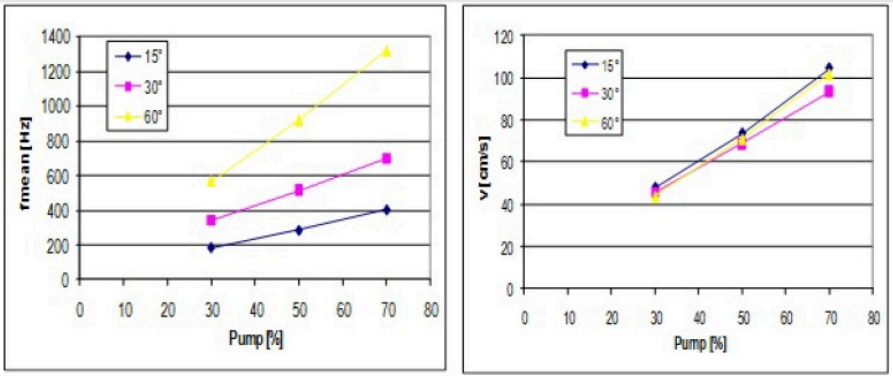
Resultados (2/3)

PHYWE

Bomba [%]	Ángulo [°]	F-mean [Hz]	Ángulo Doppler α [°]	$\cos\alpha$	v [cm/s]
30	15	185	80.0	0.17	47.71
50	15	285	80.0	0.17	73.50
70	15	405	80.0	0.17	104.45
30	30	342	70.3	0.34	45.66
50	30	515	70.3	0.34	68.75
70	30	700	70.3	0.34	93.45
30	60	570	54.3	0.58	43.93
50	60	920	54.3	0.58	70.91
70	60	1320	54.3	0.58	101.74

PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Resultados (3/3)



El diagrama de la derecha muestra la velocidad calculada. Muestra que para cualquier velocidad dada, el cociente de Δf/cos(α) es casi constante, es decir, no hay error de medición dependiente del ángulo. El diagrama de la izquierda muestra que el desplazamiento de la frecuencia Doppler aumenta cuando la velocidad de la bomba aumenta y también cuando el ángulo Doppler disminuye.

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de