



**Unidad Ejecutora:**

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

**Título del proyecto de investigación:**

Sistema de Posicionamiento 3D para recintos de medición con ultrasonido

**Código del proyecto: C-184**

**Programa de acreditación: PROINCE**

**Director del proyecto: Dr. Sergio N. Gwirc**

**Co-Director del proyecto: Ing. Néstor R. Mariño**

**Integrantes del equipo:**

Ing. Marcelo A. Márquez

**Alumnos:**

La Grutta, Pablo

**Fecha de inicio: 1/01/2016**

**Fecha de finalización: 31/12/2017**

**Informe final**

**Sumario:**

1. Resumen y palabras clave.....	p. n°2
2. Memoria descriptiva.....	p. n°3
3. Implementación.....	p. n°3
4. Material y Métodos.....	p. n°4
5. Electrónica de control.....	p. n°7
6. Conclusiones.....	p. n°12

**Resumen:** En la caracterización de sistemas de ultrasonido, la forma en que emiten cada uno de los transductores en todo el campo disponible para su actuación es de suma importancia. Para conocerla, generalmente se mide punto a punto esa emisión con un hidrófono de poco diámetro. Teniendo en cuenta esta necesidad se plantea el desarrollo de una cuba de medición en medio líquido, con movimientos controlados en la tres direcciones X,Y,Z, para posicionar el hidrófono u otro elemento similar para realizar las mencionadas mediciones. En esta segunda etapa se agregan al sistema dos movimientos angulares adicionales, de manera de resolver con mayor facilidad los problemas de alineación entre el emisor y el receptor. El sistema de movimiento propuesto es independiente de la cuba de medición, de modo que es posible desmontarlo para ser utilizado en un más amplio rango de mediciones de barrido con transductores de ultrasonido. También se desarrolló el software embebido en los microprocesadores para realizar los movimientos de los 5 ejes en forma coordinada, utilizando la comunicación entre los dos microprocesadores que controlan distintas partes del sistema.

Palabras clave: Posicionamiento XYZ, barrido automático, motores PaP

### **Memoria Descriptiva:**

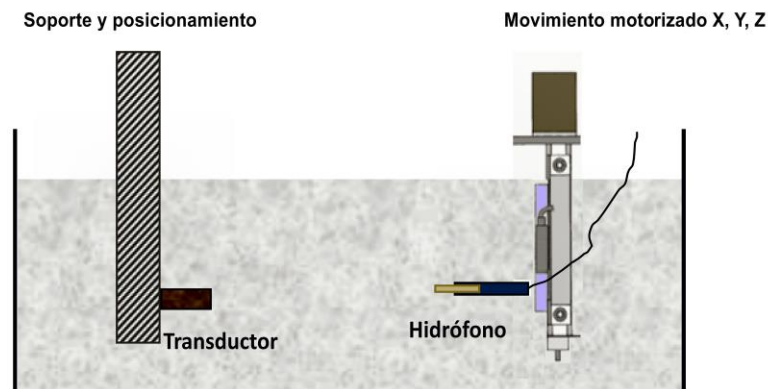
El desarrollo de sistemas de adquisición de imágenes que representen con fidelidad el campo acústico de un transductor de ultrasonido, requiere contar con el transductor, su correspondiente excitación para conformar el haz emitido, un hidrófono adecuado para registrar punto a punto las variaciones del campo, un sistema electrónico a nivel de hardware capaz de registrar las señales necesarias para formar la imagen del campo y el correspondiente software que realice el control tanto de los componentes anteriores como del posicionamiento del hidrófono que registra los datos en cada punto del campo acústico. En una primera etapa es fundamental poder caracterizar los transductores que se van a utilizar, pero inicialmente gran parte del procesamiento puede hacerse mediante una computadora posteriormente a la medición del campo acústico.

Estas mediciones utilizan una cuba con agua donde se lo sumerge, así como el hidrófono para registrar los resultados de la medición del campo. En esta configuración se puede registrar características salientes del campo emitido por el transductor punto a punto, por lo que el sensor de medición y/o el transductor bajo ensayo deben alinearse y moverse paso a paso para determinar la configuración lo más precisa posible del campo acústico.

La implementación de una cuba de medición con el desarrollo de un sistema de movimiento en tres dimensiones de alta precisión para estas mediciones con ultrasonido deberá tener 0,1 mm de precisión en el eje Z y 0,05 mm en los ejes X e Y. Los recorridos mínimos en cada eje deberán ser del orden de los 50 cm para el eje X, 35 cm para el eje Y y 20 cm para el eje Z, de esta manera cubrir la mayor parte del campo acústico y adaptable a las dimensiones disponibles en la cuba de medición que se utilizará, considerando además posibles problemas de posicionamiento debido a la estructura del transductor y las conexiones asociadas. Teniendo en cuenta las características mencionadas, los mecanismos de los movimientos estarán basados en motores para a paso utilizando en su rotación la tecnología de micro pasos.

El objetivo propuesto es el desarrollo de una cuba de medición con la inclusión de un sistema de movimiento en tres dimensiones de alta precisión (deberá tener 0,1 mm de precisión en el eje Z y 0,05 mm en los ejes X e Y). Los recorridos mínimos en cada eje deberán ser del orden de los 50 cm y adaptable a las dimensiones disponibles en la cuba de medición que se utilizará. Los mecanismos de movimientos estarán basados en motores para a paso utilizando en su rotación la tecnología de micro pasos.

Adicionalmente, en la segunda etapa se contemplaba estudiar como agregar al sistema dos movimientos angulares adicionales destinados a corregir la alineación entre emisor y receptor para mejorar la eficiencia de las mediciones. La dificultad extra que deben soportar estos movimientos es que usualmente funcionarán sumergidos en agua.



*Figura 5 Esquema de funcionamiento de la cuba de medición.*

El desplazamiento en cada uno de los tres ejes es suministrado por motores eléctricos. Estos motores se caracterizan por la facilidad de realizar un control riguroso de su movimiento. La posibilidad de disponer energía eléctrica en diferentes localizaciones y con una multiplicidad de formas y características, unido al funcionamiento limpio y seguro de los mismos (en contraposición a los sistemas hidráulicos o neumáticos), hace de ellos los actuadores por excelencia para sistemas de movimiento automático. Dentro de la variedad de tipos de motores eléctricos disponibles, los más adecuados para el movimiento de precisión son los de corriente continua (CC) y en particular los que avanza en pasos fijos y pueden controlarse paso a paso, denominados PaP en la jerga. Los motores de CC producen un par casi proporcional a la tensión aplicada, lo que permite una regulación precisa. Este tipo de motores requiere en general sensores que informen al sistema de control sobre la posición del eje en cada instante, realizando su trabajo en un lazo cerrado.

En cambio los motores PaP giran su eje un ángulo fijo al aplicar sobre sus bobinas un conjunto específico de impulsos eléctricos, por lo tanto no precisan detectores de la posición del eje, ya que simplemente contando los impulsos aplicados queda determinado el ángulo girado. Por lo tanto funcionan a lazo abierto, son económicos y sencillos, pero al no recorrer su eje todas las posiciones posibles, no cubren por completo el área de trabajo.

### **Implementación**

El sistema de posicionamiento consta de una estructura metálica de acero SAE1045 con forma de prisma de base rectangular de 77,5 cm de largo, 64,5 cm de ancho por 65,0 cm de alto. Consta, por el momento, de tres grados de libertad cartesianos otorgando una zona de trabajo de 50 cm de largo, 35 cm de ancho por 20 cm de alto. El movimiento en X se logra mediante dos varillas roscadas M12 paralelas, las cuales giran en forma sincronizada, impulsadas por sendos motores PaP, para desplazar el conjunto móvil que tiene a cargo el movimiento del eje Y. Este desplazamiento en X se logra debido a que el conjunto móvil tiene sujeta una tuerca M12, en la posición de cada varilla roscada, mediante soportes elásticos que no le permiten girar, por lo que el conjunto se desplaza al rotar las varillas roscadas. Cada varilla ha sido montada sobre dos bujes ajustables de latón, diseñados de manera que se muevan en el plano perpendicular a las varillas que soportan para que permitan la alineación de ambas varillas dentro de la tolerancia de  $\pm 0,2$  mm. Ambas varillas son movidas por motores paso a paso independientes para cada una,

modelo 103-H7123-0440 y conectadas mediante acoples flexibles de aluminio, fabricados especialmente para absorber las décimas de milímetro de des-alineación entre la varilla y el motor.

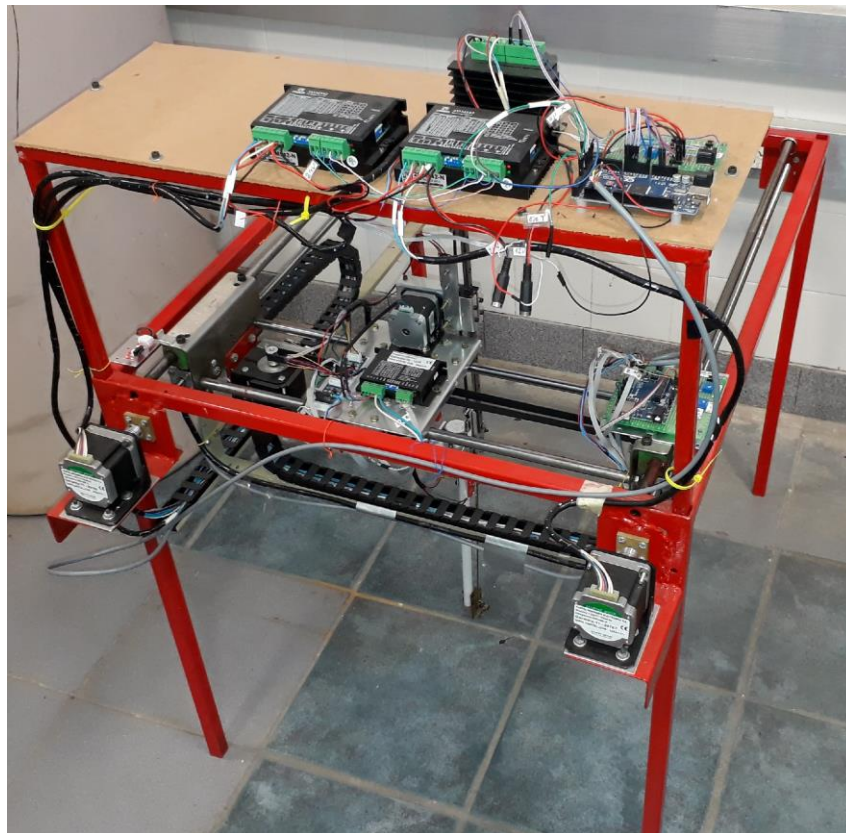


Figura 1. Visión general del sistema de movimientos con los desplazamientos X e Y implementados y el Z en un estado inicial.

El sistema de movimientos descrito cumple una función importante como parte de un Analizador de Haz de Ultrasonido. Tiene dos formas de funcionamiento básicas. La primera es mediante el barrido mecánico utilizando uno o varios transductores enfrentados o el transductor bajo estudio más un hidrófono que realiza la medición puntual y es trasladado por el sistema de movimientos mecánicos. En esta forma el manejo óptimo de los movimientos en tres dimensiones que se está desarrollando es fundamental para realizar un estudio efectivo de las condiciones de funcionamiento de los transductores.

Los motores del eje X funcionan con características de paso completo, es decir 200 pasos por vuelta según especificaciones del fabricante, equivalente a  $1,8^\circ$  por paso. Como cada motor al rotar un paso, cada varilla roscada se mueve el mismo ángulo, esto produce que el movimiento de cada tuerca sea igual a  $\text{Paso de la varilla} \times \text{ángulo rotado} / 360^\circ$ . Esto nos da la resolución en el eje X:

$$\text{Resolución X} = 1,75 \text{ mm} \times 1,8^\circ / 360^\circ = 0,0087 \text{ mm}$$

A su vez, el movimiento en el eje Y consta de dos barras cilíndricas de 12 mm de

diámetro cada una por la que se desplaza el carro XY, y sobre el cual se montará el mecanismo de desplazamiento en Z. Este carro está acoplado a una correa sincrónica GT2 de 10 mm, que está soportada en un extremo por una roldana lisa y por el otro a una polea sincrónica montada sobre un motor paso a paso modelo 103-H7123-0440, el cual, a su vez se ajusta a una de las correderas del eje X como se ve en la Figura 2.



Figura 2.

Si bien la resolución para el eje X que se implementó es un tanto excesiva para los requerimientos del sistema de medición que se necesita, el eje Y debe tener una resolución mejor que 0,1 mm. Para lograr que el sistema funcione con una resolución adecuada, el motor del eje Y debe ser manejado por un controlador de micropasos que mejora el mínimo paso que puede dar el motor. Para ello se seleccionó el controlador modelo DDP40VCC2.2A, preparado para suministrar 1600 pasos por vuelta lo que proporciona una resolución en el eje Y de 0,05 mm.

El eje Z consta de un patín con un montaje fijo y vertical sobre el Carro XY, soportado mediante rodamientos dentro del patín que desplaza la barra guía, de 9 mm de ancho, 300 mm de largo y 4 mm de espesor. Esta barra es la que proporciona el movimiento en el eje Z, la cual es movida mediante tracción por una correa sincrónica GT2 de 6 mm. La correa se sujeta en ambos extremos de la barra y en lugar de recorrer toda la barra de manera recta, es desviada mediante dos roldanas lisas para permitir que la misma envuelva la polea sincrónica acoplada a un motor paso a paso NEMA 17. Al girar el motor en un sentido o en otro, la barra sube o baja. Este último motor es manejado por un controlador de micropasos genérico del tipo 542 preparado para generar 800 pasos por vuelta, nos dará una resolución de 0,1mm, más que suficiente para el movimiento vertical.

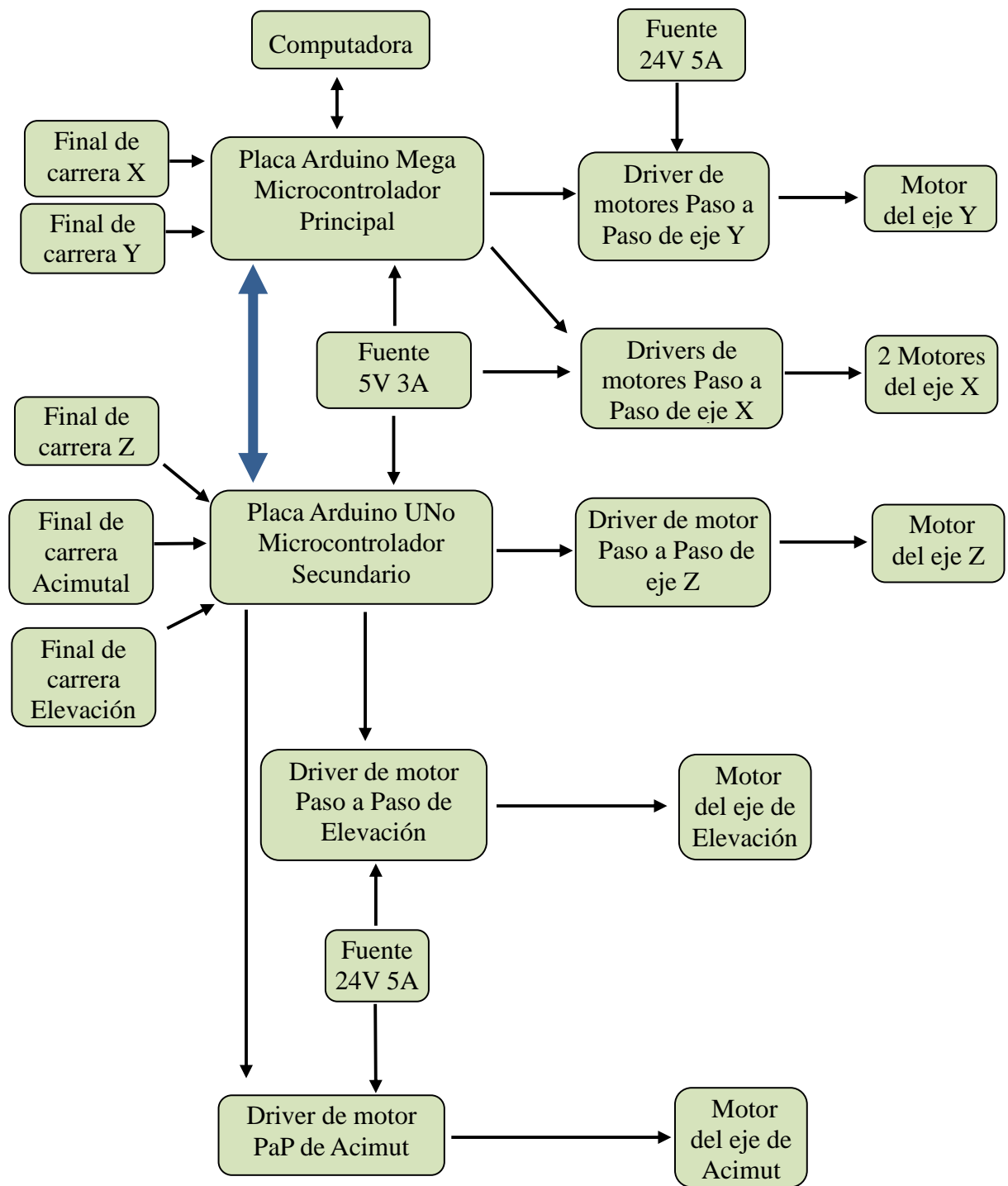


Figura 3. Diagrama en bloques del sistema de control electrónico

*Ensayo de funcionamiento:* Para determinar las características de funcionamiento de todo el sistema, se programó una experiencia que consiste en medir el campo de emisión acústica en el plano diametral de un transductor circular. Como en esta situación es fundamental la alineación entre el transductor y el hidrófono que se utiliza para medir, juega un papel muy importante los dos últimos movimientos del sistema que se han agregado en esta etapa. La idea fundamental es montar una cuba de ensayo con agua e introducir en ella transductor e hidrófono de modo que

con la punta de medición de este último se pueda recorrer un plano horizontal que atraviese el diámetro horizontal del transductor. Evidentemente la alineación es fundamental para mantener el mismo plano respecto al transductor, a medida que el hidrófono se traslada por la cuba realizando las mediciones del campo acústico.

Por lo tanto, una precaución importante es tratar de lograr la mejor alineación posible entre ambos elementos previa a comenzar la medición definitiva. En primera instancia se trata de lograr el mayor nivel de señal posible en el hidrófono para ubicar el eje central del transductor, ya que se sabe de la teoría que ese es el máximo de intensidad y además como es la variación sobre el eje del transductor. Sin embargo, este procedimiento no me asegura que una vez alcanzada esta situación, la misma se mantenga para cualquier distancia entre el transductor y el hidrófono porque puede suceder, por ejemplo, que estos se encuentren levemente alabeados o existan pequeños desajustes de calibración que se incrementan al aumentar las distancias de medición. La variación teórica de la presión acústica sobre el eje del transductor se puede utilizar como guía y en la figura 4 se puede ver un gráfico normalizado, es decir independiente del transductor, de cómo varía esa presión a lo largo del eje del mismo.

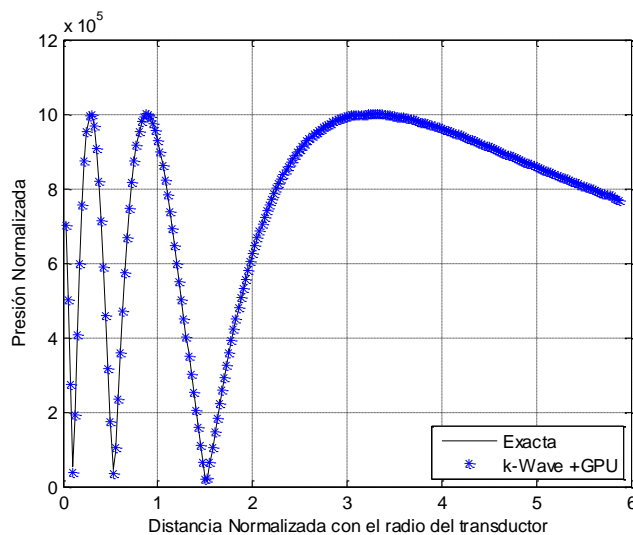


Figura 4 Presión normalizada sobre el eje del transductor.

El transductor de la figura 4 se calculó para uno de 5 mm de diámetro y una frecuencia de 2 MHz, pero al estar el gráfico normalizado con el radio para la distancia y con la presión máxima en el eje vertical se convierte en una respuesta típica para transductores circulares. Se puede observar que muy cerca del transductor hay variaciones muy rápidas de la presión a medida que nos movemos sobre el eje y a partir del último máximo en 3.3, considerado el foco del transductor, la presión decae suavemente a medida que nos alejamos del emisor.

Teniendo en cuenta esta información, el esquema de trabajo que nos propusimos es el de realizar pequeños barridos del hidrófono alrededor del eje y a distintas distancias, alejándonos progresivamente del transductor a partir del foco, para detectar las desviaciones que se observan como falta de simetría en las mediciones a un lado y al otro del eje del transductor para ir corrigiéndolas con los pequeños pasos que es capaz de mover el ángulo del transductor con respecto al hidrófono.

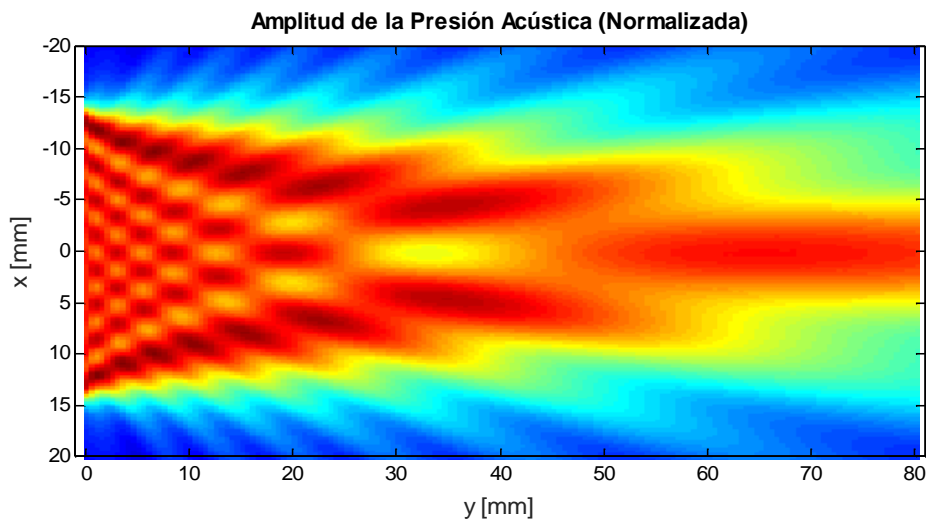


Con este procedimiento se logró una excelente alineación entre ambos elementos.

En el gráfico de la figura 5 puede verse el resultado de un barrido horizontal que muestra la intensidad del lóbulo principal de emisión del transductor y la relación con los lóbulos secundarios.

Figura 5 Falta

El barrido completo de un plano perpendicular a la cara frontal del transductor y que pasa por el diámetro del disco se muestra en la figura 6.



## Conclusiones

El sistema de posicionamiento 3D puede implementarse con materiales obtenidos en el mercado local utilizando varios de los ofrecidos como accesorios para impresoras 3D, lo que disminuye drásticamente los costos de fabricación. Gracias a esto los dispositivos que deben ser maquinados se mantiene en un mínimo.

Adicionalmente, en la segunda etapa, se estudiará como agregar al sistema dos movimientos angulares adicionales destinados a corregir la alineación entre emisor y receptor para mejorar la eficiencia de las mediciones. La dificultad extra que deben soportar estos movimientos es que usualmente funcionarán sumergidos en agua.

## Bibliografía

Construcción de una impresora 3D Open Source, Trabajo Fin de Grado, M. E. Illescas, Depto. de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid, 2012.

Ultrasonics: Fundamentals and applications-Heinrich Kuttruff  
Ultrasonic Measurements and Technologies (Sensor Physics and Technology Series)-[Stefan Kocis](#), [Zdenko Figura](#)

Ultrasound Scanning: Principles and Protocols, 3rd Edition

Basics of Biomedical Ultrasound for Engineers-[Haim Azhari](#)

Ultrasound and Elastic Waves: Frequently Asked Questions - Brian M. Lempriere