

CAPÍTULO II

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

En este capítulo se describe la metodología utilizada para diseñar y construir el transductor ultrasónico angulado.

II.1. Diseño.

En esta sección se presentan y analizan las alternativas que se tomaron en cuenta para la elección de las partes principales del transductor que se construyó y el esquema del transductor durante el proceso de construcción.

II.1.1. Cerámica piezoeléctrica.

Basados en el avance de la investigación en el área de Imagenología Ultrasónica y los recursos disponibles [24], la cerámica que se eligió fue la PIC255 de 8 MHz [25] (ver anexo A) de forma cuadrada de dimensiones 4mm x 4mm x 0.25mm. A esta cerámica se le soldaron 2 alambres en el mismo extremo, pero en la cara y sentido contrario, los cuales son los electrodos para excitarla, como se muestra en las figuras 2.1 y 2.2 en donde se procura que el punto de unión sea lo más fino posible, para así garantizar la mayor área de trabajo efectiva (máxima resonancia) de la cerámica, y que la variación de frecuencia que ésto ocasiona sea la mínima.

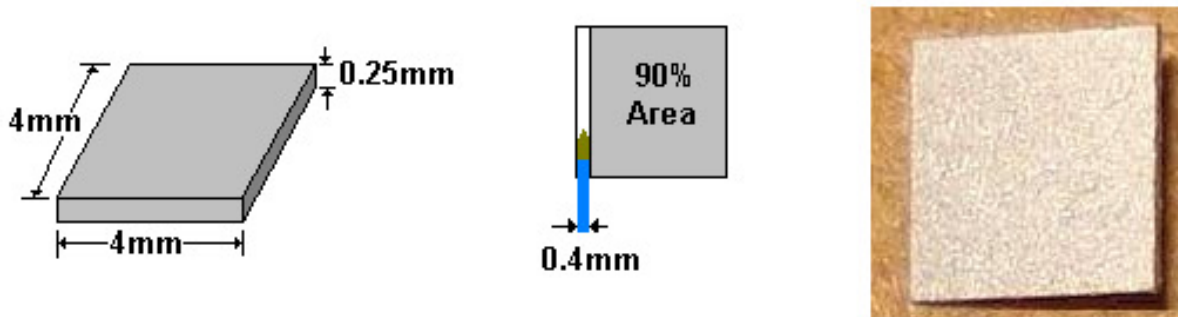


Figura 2.1. Dimensiones de la Cerámica Piezoeléctrica y su área efectiva.

Las figuras 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 muestran cómo y en qué lado fueron soldados dichos electrodos, respetando el 10% del área para colocar tales electrodos.



Figura 2.2. Cerámica Piezoeléctrica con alambres soldados en una orilla (Vista frontal)

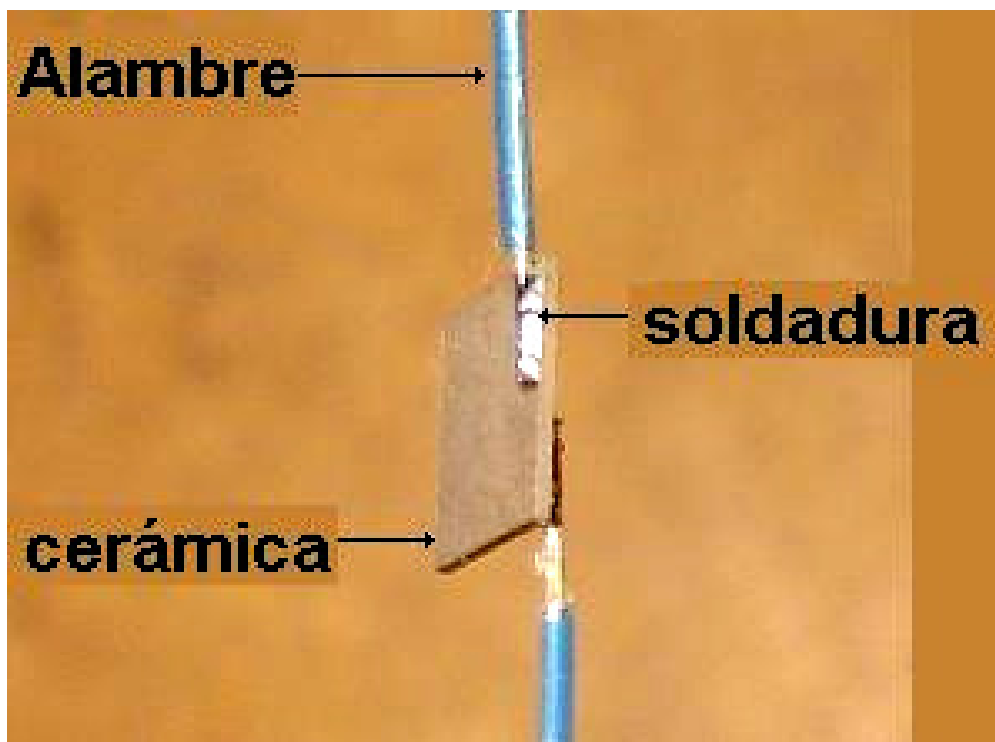


Figura 2.3. Cerámica Piezoeléctrica con alambres soldados en una orilla (Vista en perspectiva)



Figura 2.4. Cerámica Piezoeléctrica con alambres soldados en una orilla (Vista lateral)

A la par de este transductor, fue construido otro transductor en donde uno de los cambios más significativos fue el de pegar los electrodos en lugar de soldarlos. El material para pegar los electrodos fue Epoxi conductora de la marca *INSULCAST* [26] (ver anexo B).

Cabe hacer mención que el porcentaje del área de los electrodos sobre la cerámica fue similar a la empleada cuando se soldaron los electrodos (10% aproximadamente).

En este procedimiento cabe destacar que el uso de una herramienta fina fue necesaria, ya que el proceso de pegado es mucho más complicado y presenta inconvenientes en su aplicación, como el tiempo antes de que endurezca la mezcla de epoxi, moldear la mezcla para obtener la menor cantidad de masa en el pegado intentando minimizar con ello la variación de la frecuencia central. Los electrodos pegados se muestran en las figuras 2.5, 2.6, y 2.7.

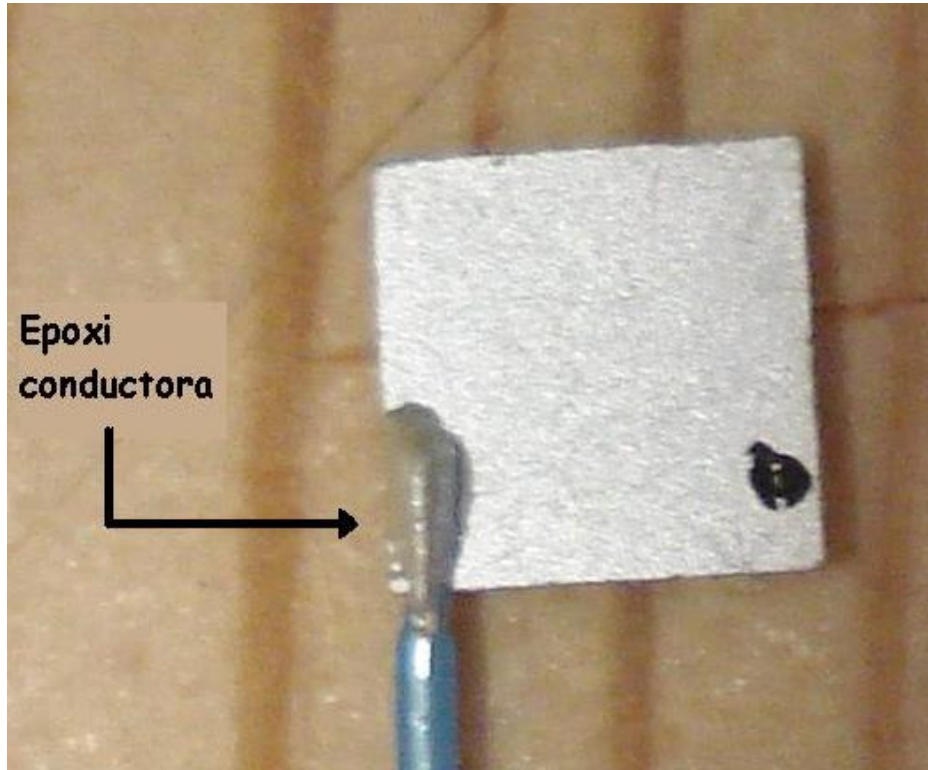


Figura 2.5. Cerámica Piezoeléctrica con alambre pegado con epoxi conductora en una orilla (Vista frontal).

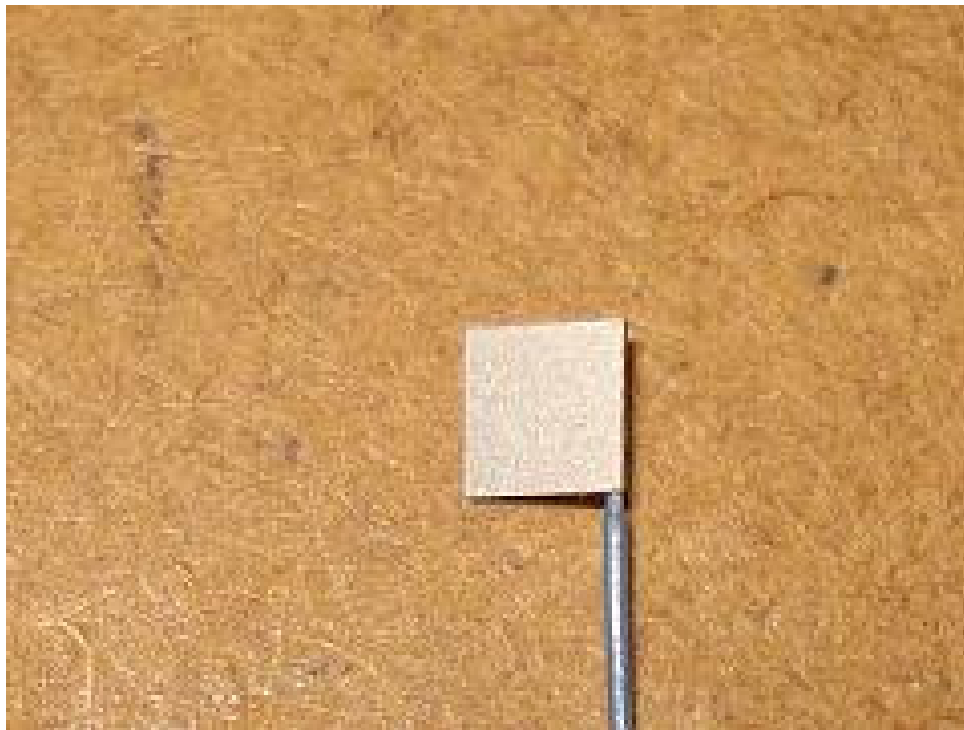


Figura 2.6. Cerámica Piezoeléctrica con alambre pegado con epoxi conductora en una esquina (Vista posterior).

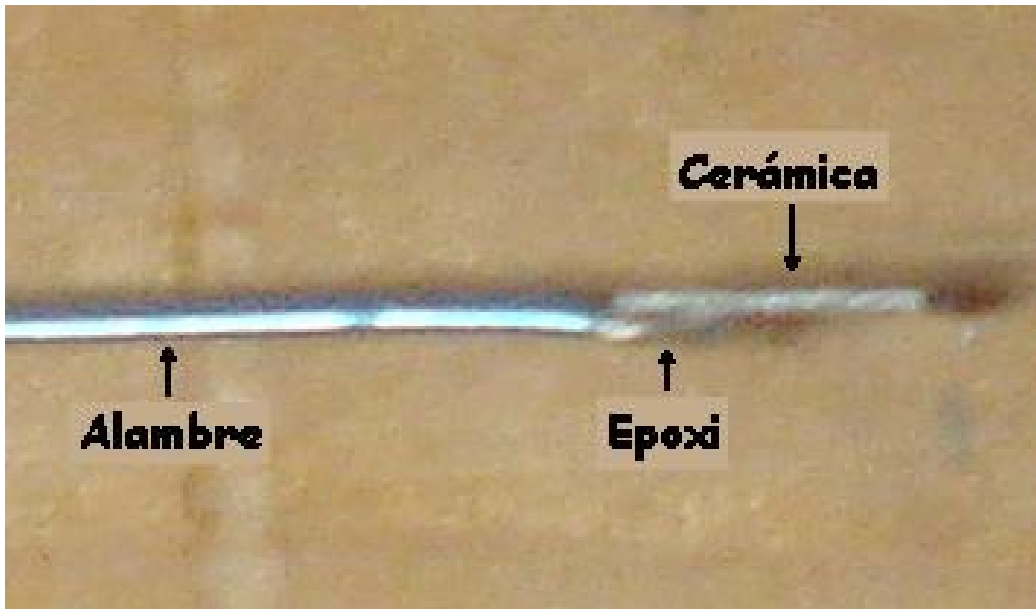


Figura 2.7. Cerámica Piezoeléctrica con alambre pegado con epoxi conductora en una esquina (Vista lateral).

II.1.2. Carcasa.

La carcasa del transductor consiste en dos tubos, uno de plástico como material de soporte mecánico de la cerámica y otro de aluminio como funda de protección. El tubo de aluminio es de aproximadamente 7mm (9/32 de pulgada) de diámetro exterior, y 0.36mm de pared, al cual se le pegó internamente el tubo de plástico, con el propósito de evitar que haya contacto entre los electrodos y el aluminio, lo que sería equivalente a un corto circuito, que dañaría nuestro dispositivo.



Figura 2.8. Tubo de plástico incrustado en otro de aluminio antes del corte.

II.1.2.1. Ángulo

La aplicación principal de este transductor es la de facilitar la adquisición de señales; sin embargo, una de las mayores desventajas en los transductores es que algunas señales de baja intensidad están cerca de los niveles de ruido del artefacto, por lo que se necesita experiencia y habilidad para ajustar el aparato y obtener la máxima información con el mínimo ruido. Un ángulo de exploración inadecuado, una penetración insuficiente, y una escasa resolución pueden provocar la pérdida de información relevante [27].

Conforme el ángulo de exploración (θ) se aproxima a 90° , el coseno de (θ) se aproxima a cero, y se obtiene una mala adquisición de la señal ultrasónica, y dado que el coseno del ángulo (θ) cambia con rapidez en el caso de ángulos mayores que 60° , se determinó que el valor del ángulo no sea mayor a 60° porque sería impreciso; conforme el ángulo de exploración (θ) se acerca a 0° , el coseno de θ se aproxima a 1, pero esta situación es inusual en la práctica clínica; por otra parte, basados en experiencias anteriores y dado que se requiere que haya un equilibrio en resolución y penetración, se determinó que el ángulo sea de 60° , ya que ese valor nos proporciona ese equilibrio [27]. Ese ángulo permite realizar la medición con una menor dificultad; ya que al estar incluido en el transductor, éste puede ser colocado en posición vertical, facilitando su uso y garantizando una adecuada adquisición de la señal.

A continuación son mostrados los esquemas de los tubos utilizados para la carcasa, la figuras 2.9 y 2.10 muestran las dimensiones de ambos tubos (plástico y aluminio).

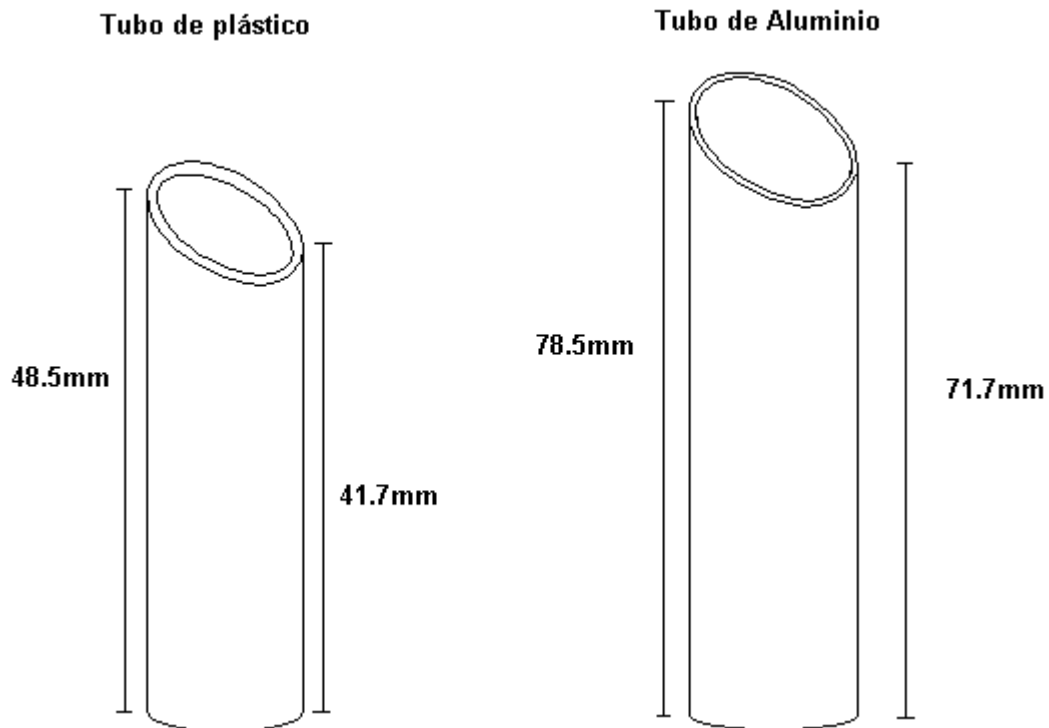


Figura 2.9. Dimensiones de la longitud de los tubos utilizados para la carcasa (izquierda tubo de plástico y derecha tubo de aluminio).

Tubo de plástico



Tubo de aluminio

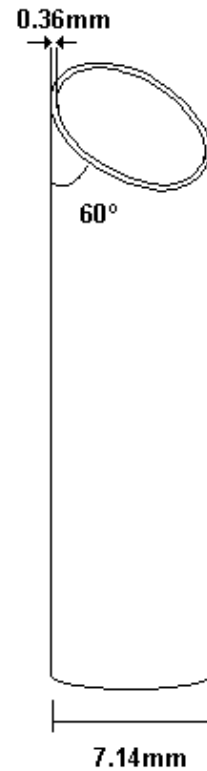


Figura 2.10. Dimensiones del diámetro, paredes y ángulo de los tubos utilizados para la carcasa (izquierda tubo de plástico y derecha tubo de aluminio).

La carcasa se cortó con un ángulo de 60° usando una lijadora industrial y un transportador para garantizar que el ángulo sea del valor mencionado, ésto se ilustra en la figuras 2.11, 2.12 y 2.13.



Figura 2.11. Máquina lijadora



Figura 2.12. Transportador para cotejar el ángulo.

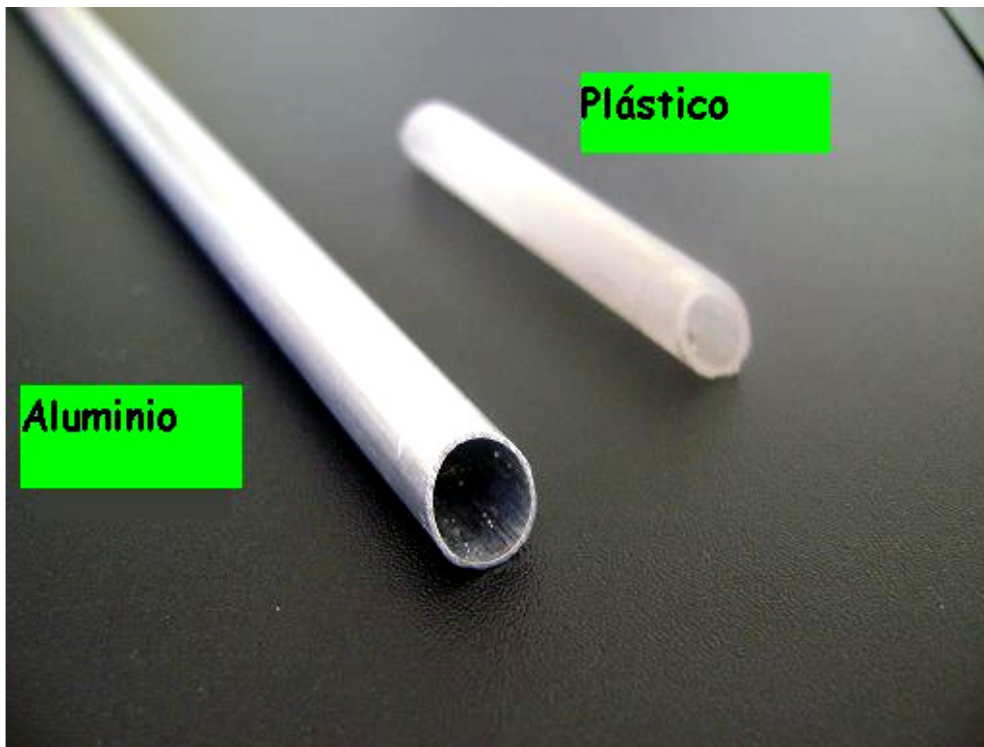


Figura 2.13. Tubos después del corte

II.1.3. Material de acoplamiento acústico (Matching).

Como material de acoplamiento acústico (matching layer) se eligió el Rexolite 1422 [28] (ver anexo C), ya que presenta características físicas y acústicas idóneas para trabajar como elemento de acoplamiento en los transductores, debido a la similitud de su impedancia con la del agua. Esta similitud facilita la emisión máxima de la señal generada por el transductor, reduciendo las pérdidas por los cambios de medio. Adicionalmente el Rexolite ofrece otras bondades al utilizarse como material de acoplamiento, por ejemplo; proteger la cerámica y la facilidad de ser maquinado y adaptado al transductor [29].

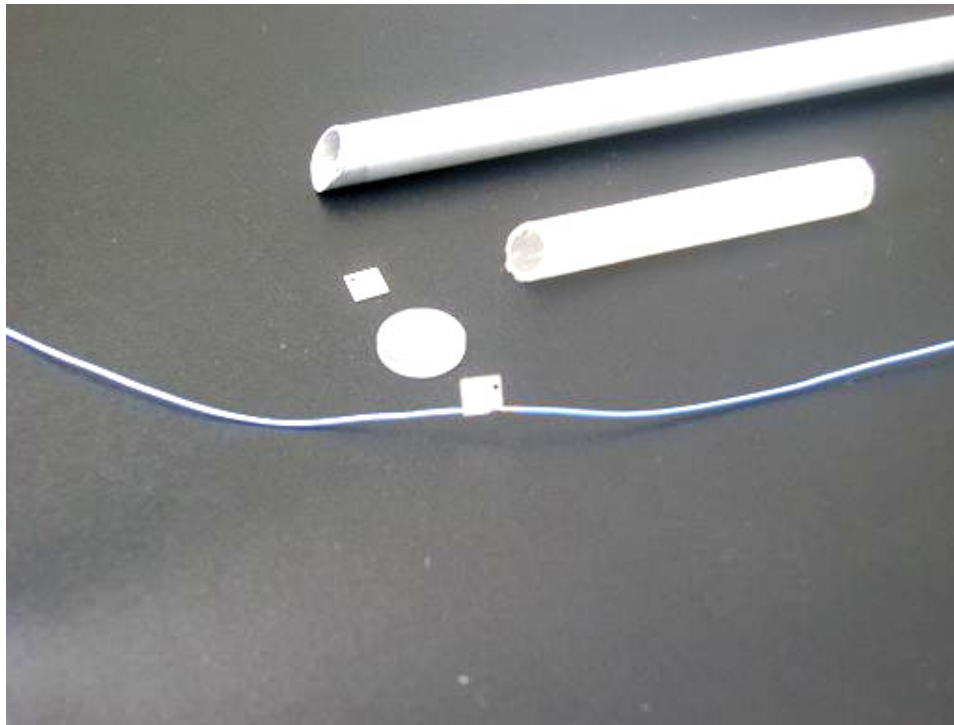


Figura 2.14. Elementos que forman el transductor ultrasónico (de arriba hacia abajo: tubo de aluminio para la carcasa, tubo de plástico, cerámica piezoeléctrica, rexolite, cerámica piezoeléctrica con los alambres soldados).

II.1.4. Material Absorbente (Backing).

La cerámica piezoeléctrica vibra emitiendo energía en la dirección de sus caras. El transductor construido sólo utiliza la emisión en una de sus caras. Con este fin se coloca la contramasa o “backing” en la cara posterior y absorber la energía mecánica en ese sentido y detener la oscilación de la cerámica. Como material absorbente (backing) se eligió el aire, ya que de esta manera toda la energía acústica generada (excepto pérdidas) se transmite al medio, dando lugar a un transductor de alta eficiencia [30].

II.1.5. Esquema de Diseño

En la presente sección se mostrará de manera esquemática el proceso de construcción del transductor con el ángulo a 60° . Son descritos cada uno de los componentes que conforman el transductor.

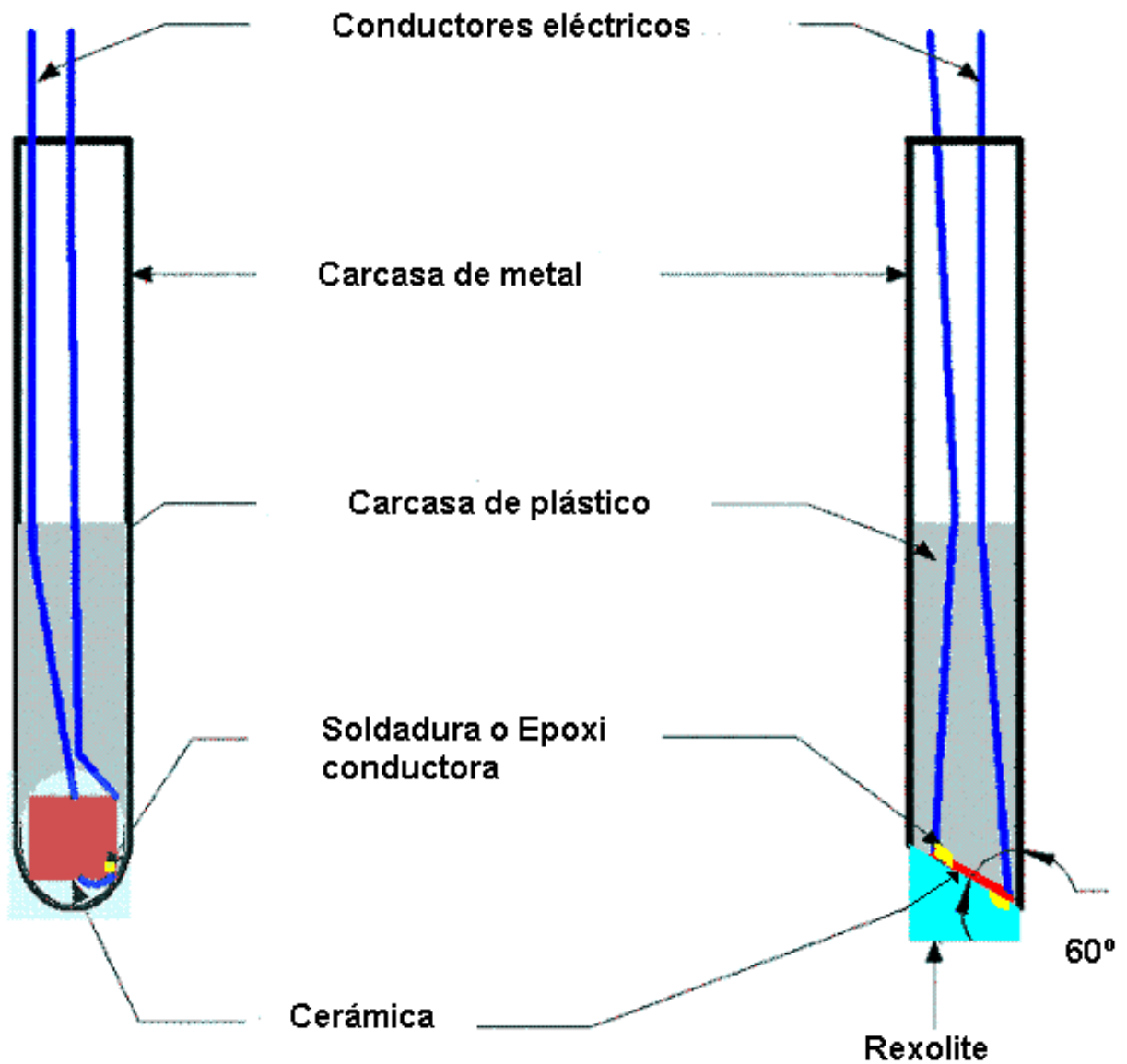
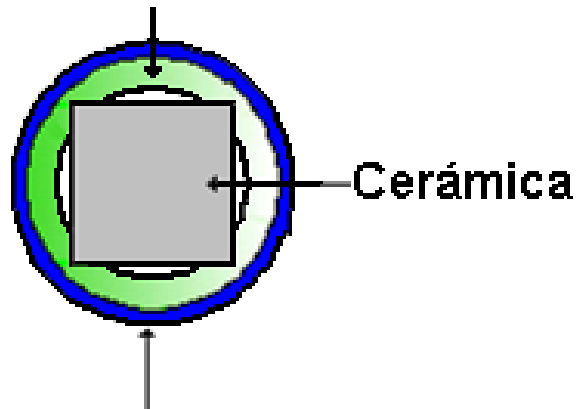


Figura 2.15. Esquema constructivo del transductor ultrasónico con ángulo incluido. (izquierda: Vista frontal, derecha: Vista lateral)

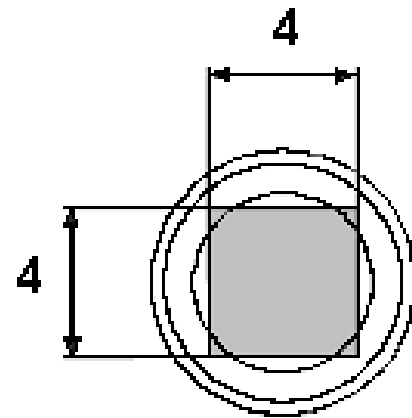
II.1.6. Planos de construcción del transductor ultrasónico angulado.

A continuación se muestra el proceso de fijado de la cerámica a la carcasa (tubos). Las piezas se pegaron con cianocrilato (ver anexo D).

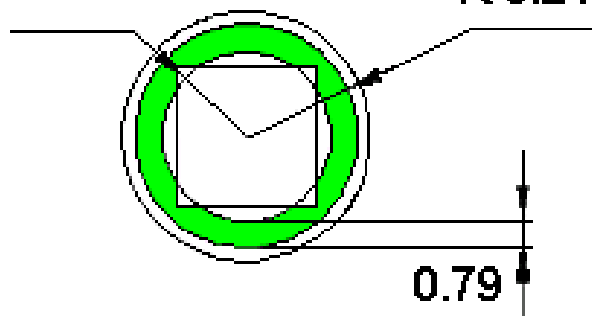
Tubo de plástico



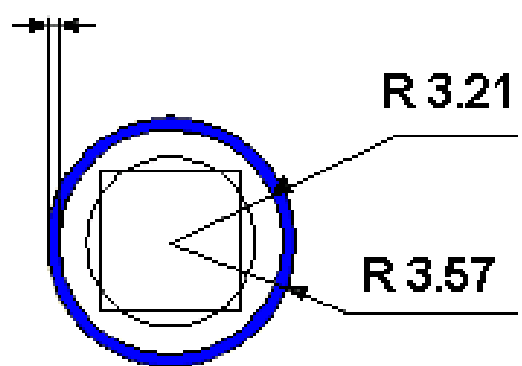
Tubo metálico



R 2.42



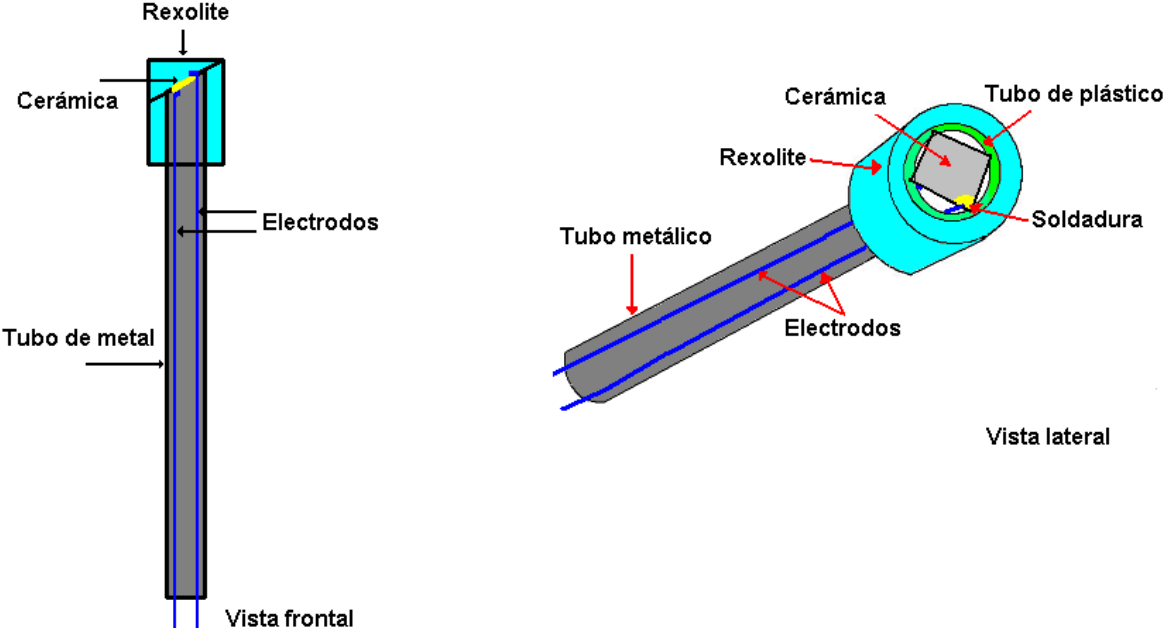
0.36



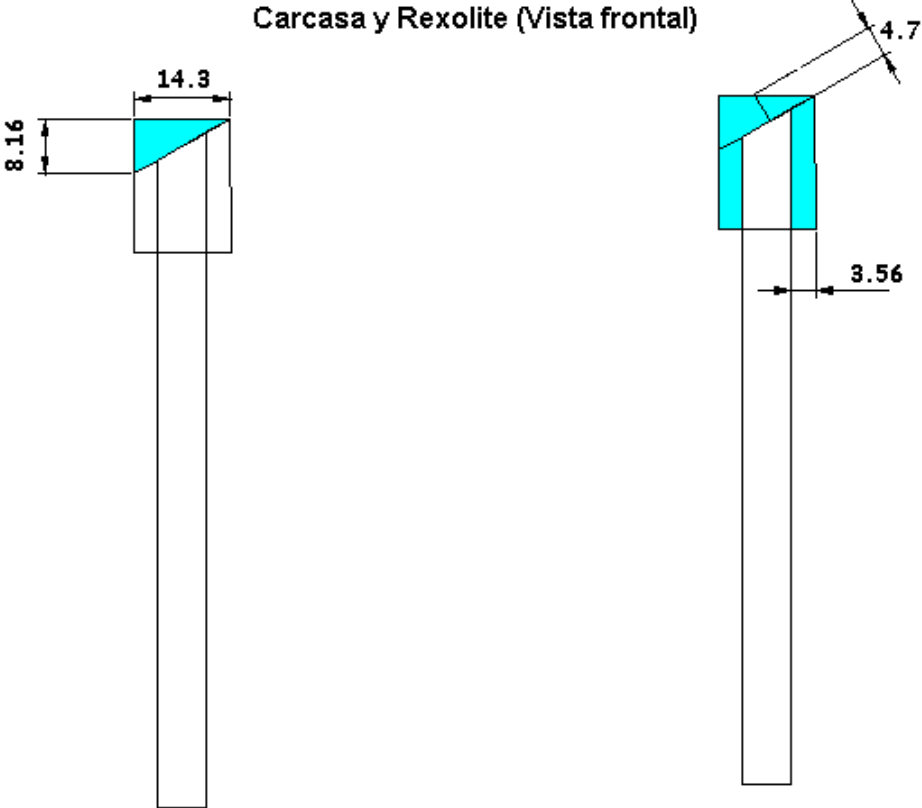
Dimensiones en mm

Figura 2.16. Dimensiones de la cerámica montada en la carcasa vista desde arriba.

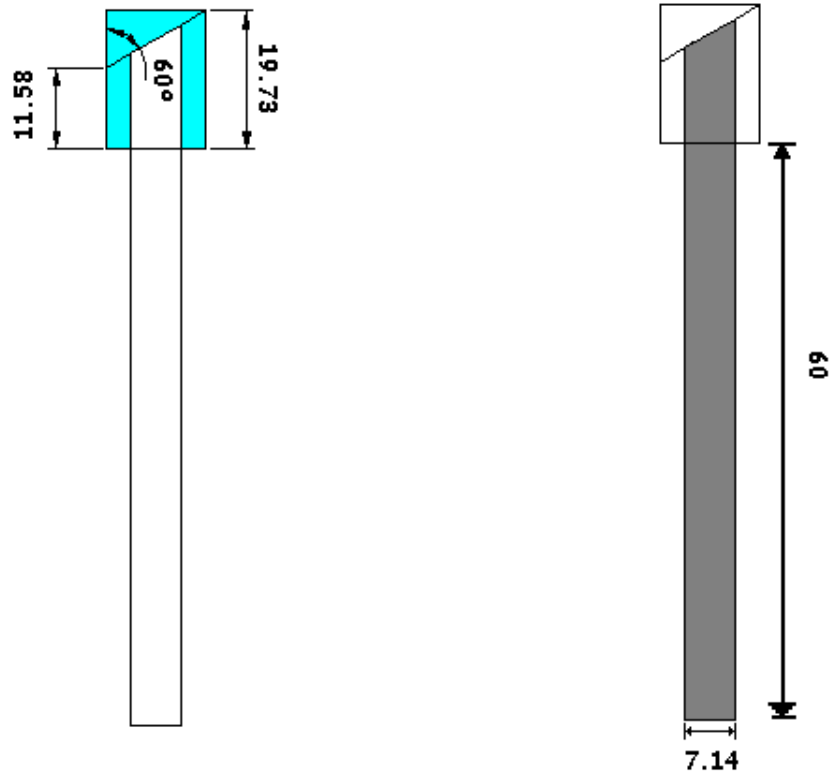
La figura 2.17 muestra los componentes del transductor, dimensiones de la carcasa y de la capa de acoplamiento, la cual fue construida en dos piezas, una como soporte y para que exista una mayor superficie de contacto para garantizar un mejor pegado de esta capa de acoplamiento, y otra que es por donde se transmite la energía.



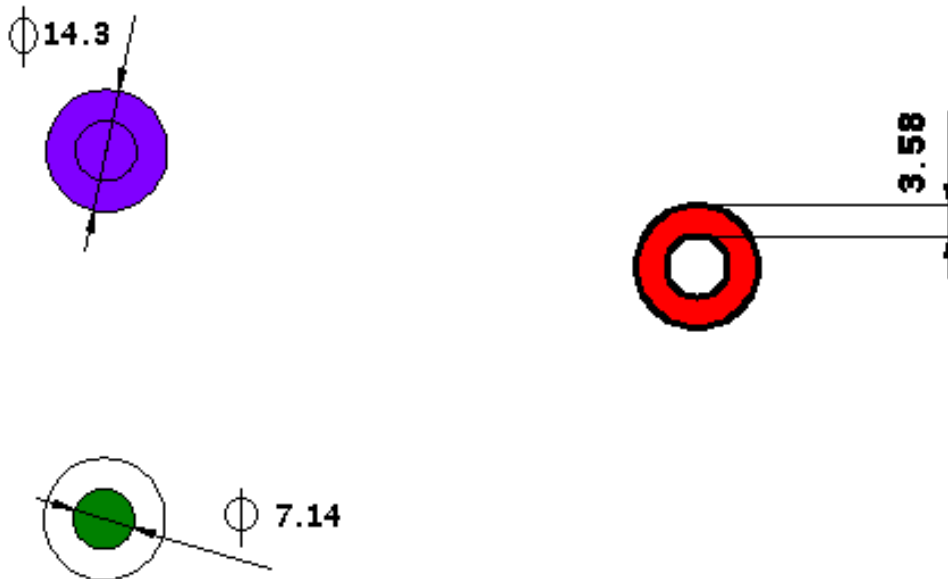
Carcasa y Rexolite (Vista frontal)



Carcasa y Rexolite (Vista frontal)



Diámetros y pared de la capa de rexolite (Vista de arriba)



Dimensiones en mm

Figura 2.17. Dimensiones de la tapa de rexolite y su soporte

II.2. Construcción

Se construyeron simultáneamente los dos transductores (el de electrodos soldados y el de electrodos pegados), por lo que los siguientes pasos de construcción serán los mismos para ambos transductores.

Después de elegir y acondicionar los elementos de los transductores, se procedió a armar los dispositivos de la siguiente manera:

II.2.1. Pegado de la cerámica en el tubo de plástico

Se tomó el tubo de plástico donde se le dio forma a la base de tal manera que pudiera caber la cerámica tratando de que ésta quedara al nivel de la carcasa (figura 2.18).



Figura 2.18. Tubo de plástico con la incisión para la cerámica

El corte es del tamaño del espesor de la cerámica (es decir, 0.25mm) para que sirva como soporte de la misma.

El siguiente paso fue pegar la cerámica en esa incisión, para esto se usó cianocrilato (Ver anexo D). Este proceso se realizó sin ejercer presión excesiva a la cerámica evitando así posibles fracturas y ocupando la menor superficie posible de la misma, tal y como se muestra en la figuras 2.19 y 2.20.

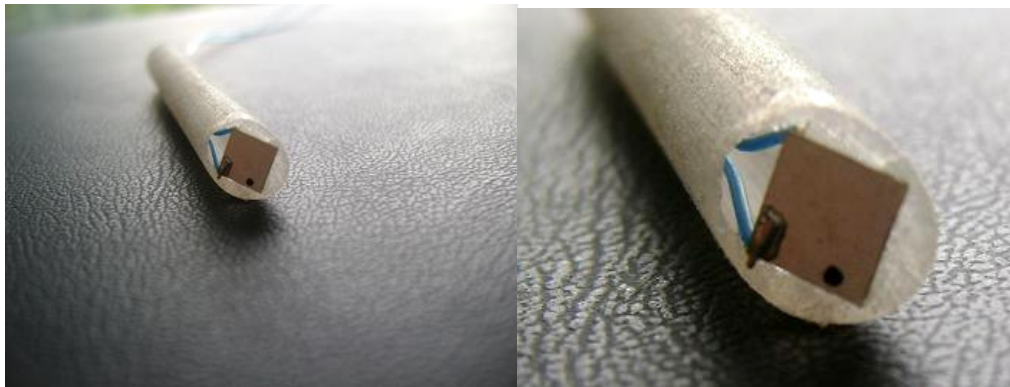


Figura 2.19. Cerámica con conectores eléctricos soldados pegada en el tubo de plástico

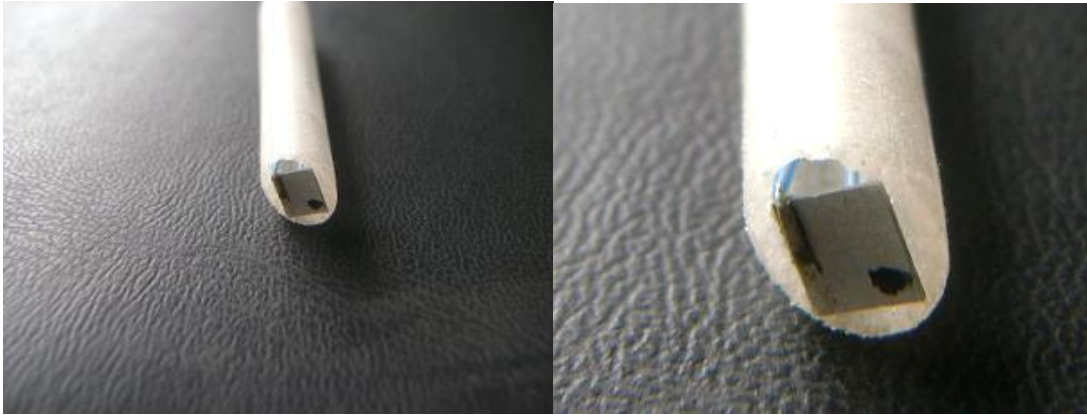


Figura 2.20. Cerámica con conectores pegados con Epoxi conductora pegada en el tubo de plástico

En las figuras anteriores (2.19 y 2.20) se observa que la cerámica tiene pintado un punto negro, eso quiere decir que esa es su cara positiva y debe ir en la parte de afuera del tubo de plástico porque es la cara que va a transmitir la energía al medio de propagación.

El punto de soldadura quedó afuera (figura 2.21), por lo que se tomó en cuenta ese espacio al hacer la capa de acoplamiento (Rexolite).

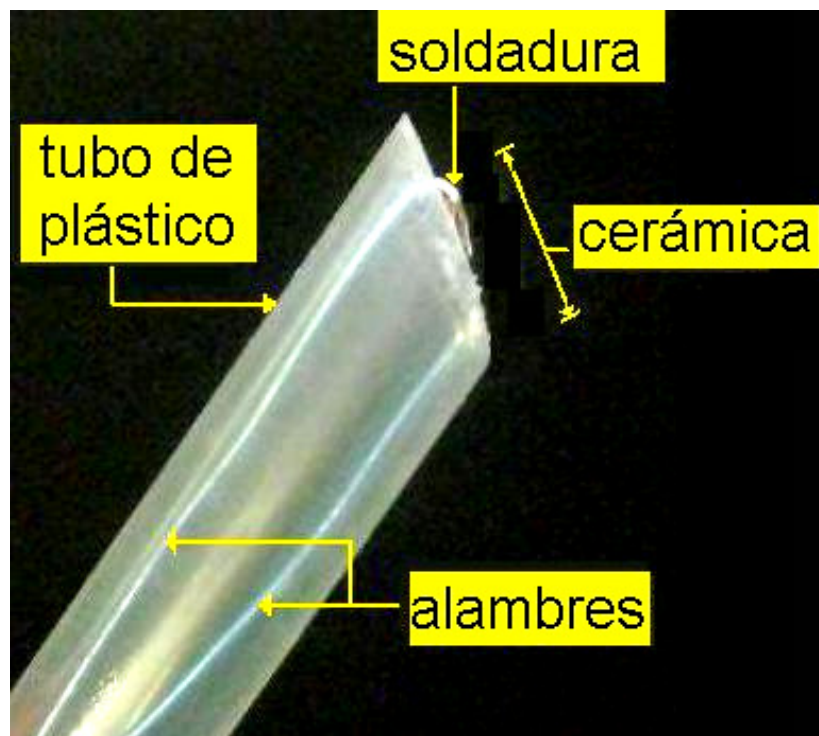


Figura 2.21. Cerámica con conectores eléctricos pegada en el tubo de plástico visto de perfil.

II.2.2. Unión de alambres con cable coaxial

Se realizó la unión de los alambres que se soldaron a la cerámica (electrodos) con el cable coaxial, para ésto se utilizó una pequeña porción de tableta para circuitos impresos como intermediario, ya que esto hace que los alambres delgados no tengan que soportar tanto peso que tiene el cable coaxial en comparación con ellos, es decir, esta tableta funciona como soporte mecánico entre los alambres y el cable coaxial (figura 2.22). Este soporte mecánico fue diseñado para caber dentro del tubo de metal del transductor.

Para asegurar que no haya algún corto circuito se puso una capa de barniz de uñas como aislante eléctrico entre el cable y los alambres.

En todo momento se verificó que hubiese continuidad entre los alambres y el cable coaxial, así como también se verificó que hubiese continuidad entre los alambres y las caras de la cerámica.



Figura 2.22. Unión de los alambres con el cable coaxial

II.2.3. Rexolite

Se mandó construir la capa de acoplamiento con Rexolite 1422 (ver anexo C), en el taller de manufactura del Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM – UNAM), a la cual se le hizo una ranura para que se acoplara a la cerámica, ya que la soldadura quedaba expuesta como se mostró en la figura 2.21. Ésta capa de Rexolite es del doble de diámetro de la carcasa de metal (9/16 de pulgada) para asegurar que el campo de radiación de la onda ultrasónica atravesase en todo momento por el rexolite y garantizar la máxima transferencia de energía (ver figura 2.23), ya que si se usa un diámetro menor, entonces parte de la energía entraría en contacto con aire.



Figura 2.23. Capa de Rexolite (izquierda: campo de radiación, derecha: vista de la ranura para la soldadura).

II.2.3.1. Cálculo del espesor del “matching layer”

Para la realización de esta pieza se tomó en cuenta el grueso de la capa que se desea construir, ya que este grueso influye en la amplitud de la señal que se desea transmitir, para un transductor recto el grueso del “matching layer” se calcula con la expresión $\lambda/4$ [31], sin embargo, para un transductor angulado se utiliza la siguiente expresión [31]:

$$d_m = (2n-1) \lambda_0 / 4(\eta_m - \text{sen}^2 \theta_i)^{0.5} \quad \text{Ec. (16)}$$

donde:

d_m = Grueso del “matching layer” (rexolite)

λ_0 = Longitud de onda de la señal ultrasónica en el rexolite $(1500 / 8000000) = 0.001875\text{m}$

η_m = Índice de refracción del rexolite (= 1.6)

θ_i = Angulo del transductor con respecto a la vertical (30°)

$2n-1$ = Factor de máximo en la onda (n es un entero positivo)

Realizando los cálculos se tiene que:

$$d_m = (2n-1) 0.001875 / 4(1.6 - \text{sen}^2 30)^{0.5} = (2n-1)0.000403\text{m} \\ = (2n-1)0.403\text{mm}$$

para $n=1$ $d_m = 0.403\text{mm}$

para $n=2$ $d_m = 1.21\text{mm}$

para $n=3$ $d_m = 2.017\text{mm}$

para $n=4$ $d_m = 2.82\text{mm}$

para $n=5$ $d_m = 3.62\text{mm}$

para $n=6$ $d_m = 4.43\text{mm}$

para $n=7$ $d_m = 5.23\text{mm}$

para $n=8$ $d_m = 6.045\text{mm}$

De estos cálculos realizados se eligió la de 4.43mm de grueso porque es la que cumple con la dimensión de diámetro del doble de la carcasa metálica, y es el mínimo material para la máxima transferencia de energía. Con esas dimensiones se dibujaron los planos (ver figuras 2.18 y 2.19).

Para conseguir que existiera la máxima estabilidad y superficie de contacto a la hora de pegar la capa de acoplamiento (Rexolite) del transductor, fue necesario construir otro aditamento como soporte, el cual fue colocado fuera de la carcasa (ver figura 2.24).

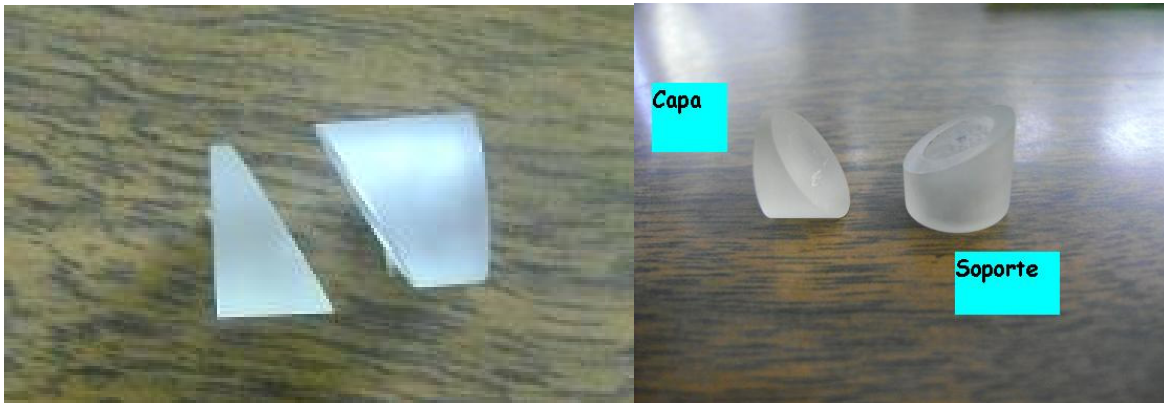


Figura 2.24. Capa de rexolite con su soporte

II.2.4. Carcasa y soporte para el rexolite

Se metió el tubo de plástico con todo y cables en el tubo de metal, teniendo mucho cuidado de no presionar la cerámica, para evitar su posible fractura. Enseguida se pegó a la carcasa el soporte de rexolite como se muestra en la figura 2.25. Éste pegado se realizó con cianocrilato [32].



Figura 2.25. Carcasa completa con la cerámica (izquierda), y carcasa completa con la cerámica y el soporte (derecha).

II.2.5. Pegado de la capa de rexolite.

El siguiente paso fue pegar la capa de rexolite, que serviría como capa de acoplamiento (Matching layer), el cual fue la parte crítica de este trabajo de tesis, ya que si no se hace un buen pegado, no habrá transferencia de energía entre la cerámica y el medio, además de existir atenuación y corrimiento de la frecuencia de oscilación. Lo más importante en este pegado es que toda la superficie de la cerámica debe estar en contacto con la capa de rexolite, por lo cual es importante que no queden burbujas de aire al hacer el pegado, ya que se producen pérdidas en la amplitud de la señal. Se debe maniobrar rápidamente, ya que el tiempo de secado del cianocrilato es muy corto, prácticamente desde el primer contacto, el rexolite queda pegado, lo que provoca que se tenga cuidado y precisión al pegar.

Antes de efectuar el pegado se verificó que la tapa coincidiera exactamente con la cara del transductor y que el punto de soldadura encajara en la ranura y de no ser así, entonces habría que modificar la ranura de tal modo que pueda encajar adecuadamente.

El proceso de pegado del rexolite se hizo de forma manual aplicando una capa muy delgada de cianocrilato a la cara de la tapa de rexolite donde se encuentra la ranura, posteriormente se colocó la tapa con la ranura hacia arriba y el transductor con la cerámica apuntando hacia abajo para evitar escurrimientos del pegamento, y se fueron juntando lentamente para verificar que la ranura coincidiera con el punto de soldadura y cuando estaban lo suficientemente cerca se unieron en un solo movimiento. El pegado debe quedar a la primera, porque de lo contrario el intentar mover cualquiera de las partes puede ocasionar una ruptura en la cerámica.



Figura 2.26. Capa de Rexolite pegada vista de perfil

Una vez concluida esta etapa, el transductor queda listo para la parte final (colocar los conectores y terminales), en las figuras 2.26 y 2.27 se muestra el transductor en su fase casi final.

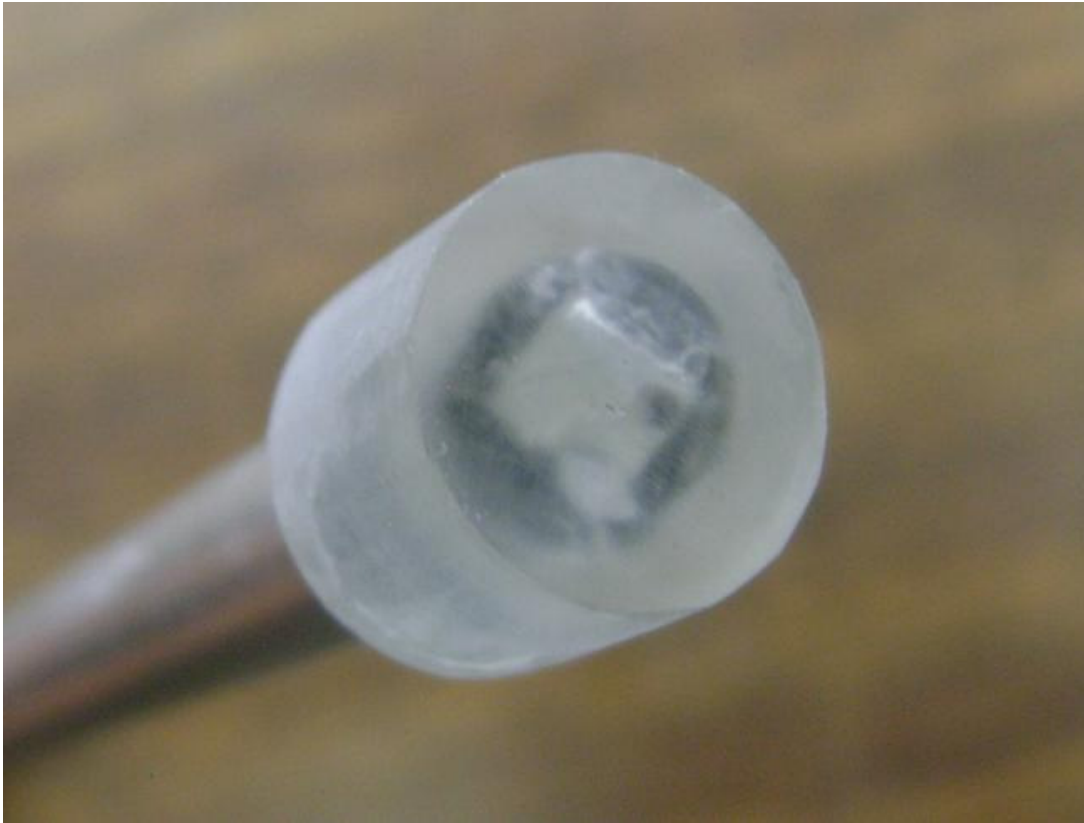


Figura 2.27. Capa de Rexolite pegada vista de arriba

Finalmente, para completar el transductor, se puso termofit en la terminal de la carcasa y al cable coaxial se le soldó un conector tipo plug y de esta manera el transductor está terminado.



Figura 2.28. Termofit (izquierda) y conector (derecha)



Figura 2.29. Transductor completo