

---

## CAPITULO XII Conclusiones

---

Los proyectos presentados en este documento se realizaron con la intención de probar y construir nuevos sistemas de locomoción de robot con actuadores diferentes a los ya conocidos en este ámbito. Tal fue el caso del actuador PPA 20. Sin embargo también se realizaron mejoras sobre sistemas anteriormente desarrollados, pero con algunas limitaciones que restringían en gran medida el funcionamiento dentro de un ambiente real.

En nuestro primer caso de estudio y práctica, seleccionamos un actuador piezoeléctrico llamado PPA 20 de la compañía cedrat technologies. Este actuador al tener una gran fuerza a pesar de sus pequeñas dimensiones se postuló con un gran candidato para este proyecto. La búsqueda de actuadores piezoeléctricos llegaba a muchos resultados que no serían apropiados para esta actividad, entre muchos factores se encontraba su geometría; factor que fue determinante ya que se pretendía realizar un robot con pequeñas dimensiones, esto con la finalidad de colocarlo dentro de un tubo de diámetro menor a 8 cm, que es el valor promedio de los robots exploradores de tubos que se encuentran activos hasta la fecha. Debemos aclarar que estos robots ya construidos y probados en la industria ya cuentan con sus sistemas de exploración ensamblados, lo cual aumenta sus dimensiones.

Sin embargo en este proyecto el sistema de recopilación de datos y sistemas de navegación no será considerado ya que lo importante de este proyecto y el objetivo principal es la locomoción de los robots. El diseño mecánico las pruebas de deslizamiento, los factores como la fricción la rugosidad, las fuerzas necesarias, la velocidad final obtenida son los temas importantes en este proyecto.

En los resultados obtenidos después de construir el prototipo con el actuador PPA 20, podemos decir que la locomoción del robot por medio de este actuador se vio afectada por diversos factores. Dentro de los cuales podemos mencionar el costo de los actuadores piezoeléctricos. Estos por tener gran precisión y gran fuerza son muy caros. Además de este factor, la mayoría requiere de un *amplificador de alto voltaje* para su funcionamiento, dispositivo que también tiene un alto costo.

Sin embargo esto no fue un gran impedimento para hacer funcionar el nuestro ya con la investigación y ayuda de profesores del departamento de electrónica de potencia se realizó un sistema de alimentación que me permitía alcanzar los valores necesarios para adquirir un buen desempeño del actuador, por lo cual las vibraciones que esperaba fueron alcanzadas. Dejando la parte de la alimentación y hablando del sistema de movimiento o con el cual se pretendía adquirirlo, se probaron suficientes materiales con la características con las cuales se planteó este proyecto. Las condiciones para realizar el mecanismo que tramitaría las vibraciones desde el actuador hasta el tubo y poder alcanzar el movimiento, serian, ser un material flexible, a su vez rígido para soportar el peso del actuador y además mantenerlo centrado en el tubo, de fácil manufacturabilidad, liviano, que no fuera otro actuador en sí, esto excluía a motores de cualquier tipo, y mecanismos que requirieran una alimentación adicional y por último que no aumentaran en gran medida el gasto que ya se había realizado por el mismo actuador piezoeléctrico.

La búsqueda llevo a recoger materiales que podían ser reciclados, conseguir algunos materiales sin uso. Estos materiales no sobrepasaban la cantidad de diez pesos por pieza, esto era de gran ayuda para el proyecto. Las características mecánicas mencionadas en su momento en este escrito eran realmente muy similares y cumplían cada uno de los

puntos mencionados anteriormente. La geometría que se diseñó con estos materiales, fue pensada para dar la mayor centralidad del actuador dentro del tubo y fue igual para cada uno de los materiales. De los tres materiales con los cuales se probó el robot con los parámetros al máximo, solo uno nos otorgó resultados considerables e información valiosa para una futura evolución de estos actuadores. Podemos decir que el ámbito de locomoción por medio de vibraciones quedan muy escasos de ser contemplados, y no necesariamente por las limitaciones del gasto que se pueda hacer en ellos, si no por las pequeñas cantidades de desplazamiento que ellos manejan. Sabemos que podemos crear sus sistema de alimentación, con el material disponible en el laboratorio de electrónica, sabemos que podemos obtener sus mayores prestaciones si problema alguno.

Si la aplicación que requerimos está basada en fuerza, sin importar que tanto pueda ser percibida a la vista, estos actuadores desde el más sencillo nos otorgaran fuerzas superiores a los 900 N sin problema alguno. También pueden ser utilizados en aplicaciones que requieran altas frecuencias incluso frecuencias supersónicas, que alcanzan los 60 KHz de resonancia. También por su grandes márgenes de voltaje que van de la mano con su deformación, tenemos un margen muy grande de variación, por lo cual su exactitud de deformación está en la escala de los micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). Es por eso que para aplicaciones de mucha presión y exactitud en bajas escalas pueden funcionar de una manera óptima.

Hablando a hora de que nos dejó en base a nuestro proyecto, podemos decir que a pesar de las buenas vibraciones obtenidas de este actuador, las pérdidas que se daban en los brazos de contacto son un factor muy importante en estas conclusiones.

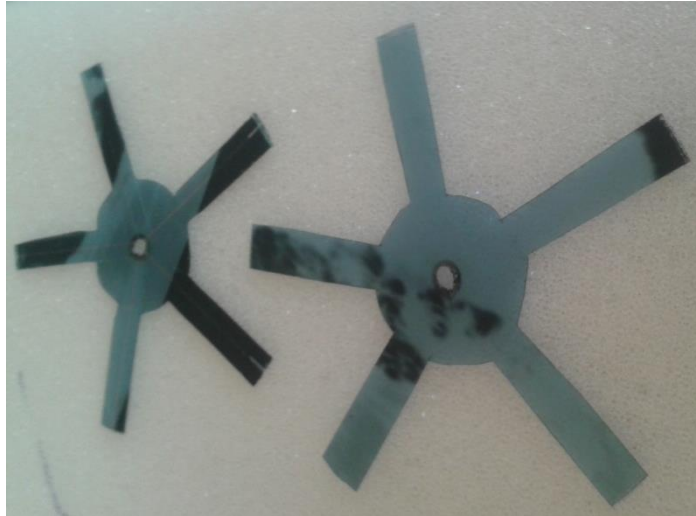


Fig. 145. Brazos de actuador PPA 20

La longitud de los mismos fue un factor que se probó que afectaba directamente las vibraciones. Y a pesar de reducir en la medida posible este factor, no era lo suficiente para poder hacer mover el robot. Acortando la longitud de los brazos y por consiguiente reduciendo el diámetro del tubo no tuvo un gran efecto.

Otro factor que es muy importante a considerar son los materiales del tubo y de dichos actuadores, ya que el coeficiente de fricción determina si el deslizamiento y agarre del robot en sus partes correspondientes será el necesario. En nuestro caso si estaba a favor del proyecto en el último material seleccionado, el cual fue la lámina de radiografía. Como se mencionaba anteriormente este actuador nos entregó no tiene problemas con la fuerza que puede entregar, ya que nos entregó sin mayor problema sus 926 N. Entonces ¿qué fue lo que paso con el movimiento?

La respuesta está en su deformación. Esta deformación al tener un promedio máximo de 20  $\mu\text{m}$ , no fue suficiente para hacer de deslizar los brazos por más pequeños que estos fueran, flexibles o rígidos no importo. Con esto queremos decir que toda la fuerza del actuador no podría ser transmitida al extremo del brazo y lograr moverse lo

suficiente para hacer que el robot pasar a la etapa de arrastre y poder mover así todo el robot. Esto quiero decir que las vibraciones no eran lo suficientemente amplias para poder poner en acción a los brazos.

Hemos propuesto algunas mejoras en el capítulo del PPA 20, donde hablamos de colocar un sobre peso del lado que está en dirección al movimiento deseado, y al mismo tiempo cambiar las señales de sentido negativo y hacerlas más suaves para no afectar el poco deslizamiento obtenido con las señales positivas que llevan mayor inercia gracias al peso que se ha colocado. No estamos concluyendo que cualquier actuador piezoeléctrico fracasara en esta actividad, solo evaluamos los piezoeléctricos de la familia PPA de la empresa CEDRAT Technologies, he incluso si se contara con materiales un poco más sofisticados para el contacto con él tubo, como pudiera tratarse de alguna clase de material inteligente, pueda hacer funcionar el mecanismo de locomoción.

Por ahora nuestra conclusión es que no se pudo obtener movimiento del robot con el actuador PPA 20 en cualquier otra dirección diferente a ser de forma descendente, a una velocidad no mayor a 6 mm/s, por causa de la poca deformación que este actuador posee.

Hablando del proyecto que se realizó a continuación del pasado, el cual buscaba cumplir la misma tarea, que es la exploración de tubos mediante vibraciones, podemos decir que tomando estudios anteriores así como sus resultados, partimos a mejorar estos resultados así como el desempeño de estos prototipos. En selección de que actuador era el necesario para cumplir con esta tarea, seleccionamos un actuador que se encontraba en estado inactivo y que no había sido probado he incluso observado físicamente antes. Este actuador llamado Actuador Lineal PQ 12 de la familia firgelli, fue analizado con cierta ambigüedad debido a que el tiempo para entregar el proyecto ya estaba próximo.

Ya analizadas sus características, se procedió a evaluar su funcionamiento e inmediatamente basándonos en lo conocido, realizar el diseño mecánico que mejor vendría a este. Se pensó en todo momento en los objetivos principales, que eran generar movimiento ascendente y lograr movimiento en curvas, para poder hacer realmente un prototipo con un uso más cercano a lo real. La selección de materiales se determinó bajo parámetros de bajo peso y facilidad de ensamble y manufacturabilidad. Los ahora actuadores de contacto se reutilizó la idea que tenían los anteriores proyectos ya que estos funcionaban muy bien con la mayoría de materiales de los cuales estaban fabricados los tubos. Ya una vez construido el prototipo y al realizar las pruebas de fuerza, se obtuvieron muy buenos resultados que apuntaban directamente a que el prototipo funcionaría sin algún problema. Podemos decir que cuando las pruebas generales fueron realizadas por primera vez, que incluían a todo el sistema trabajando en conjunto, el primero objetivo se cumplió. El buen diseño de los soportes, el buen tratamiento térmico y de presión que recibieron las cerdas de los cepillos, la precisa relación de voltaje-corriente y tiempo de delay, hicieron que el robot no tuviera problemas en avanzar de forma ascendente.

Esto se ve reflejado en las pruebas de velocidad final que se le hicieron al robot, ya que se aprecia que su pérdida de velocidad desde una posición horizontal hasta una posición completamente inclinada fue realmente muy baja. Esto quiero decir que el actuador no reduce su fuerza a pesar de tener el peso de sus sistemas e incluso su propio peso como una fuerza opuesta a su movimiento. También demuestra la buena relación que se generó en los actuadores de contacto, y que su coeficiente de fricción con el tubo fue el más óptimo, para el caso en especial de las cerdas de cepillos dentales y el plástico del tubo.

Como se mencionó en capítulos anteriores el segundo objetivo se calculó mediante el método gráfico y matemático, y teóricamente se resolvió que el robot sería capaz de desplazarse por tuberías con radios de curvatura de 102 mm a 110 mm. Con esto podemos concluir que los objetivos propuestos fueron cumplidos propiamente. Sabemos que el diseño mecánicos, la ubicación de los soportes, la selección de materiales, el programa de accionamiento, la preparación de los materiales, fueron los adecuados para este proyecto, incluso si se quisiera mejorar o probar nuevos tipos de tuberías (además del plástico), se podría utilizar el estudio y los resultados de este proyecto para poder realizar esas mejoras. Tal puede ser el caso como reducir el radio de la curvatura, la operación inalámbrica de la fuente de alimentación e incluso el tamaño del mismo robot.

Como mencionamos al principio del proyecto, el sistema de adquisición de datos e información, el sistema de valoración del tubo no se verían en este proyecto, ya que el objetivo del proyecto en general es desarrollar el sistema de locomoción del robot a través de la tubería, y exclusivamente se enfocaría en ese tema.