



BRAZO ROBÓTICO ESPECIALIZADO EN LA EXPLORACIÓN DE LA CAVIDAD BUCAL Y TARTRECTOMÍA

Realizado por:

Ing. Jorge Ángel / Correo:

Ing. Nelson García / Correo:

Ing. Brian Villasmil / Correo:

Tutor Académico:

MgSc. Junior González/ Correo:

Tutor Metodológico:

Dra. Maribel Ordoñez/ Correo:

La odontología ha experimentado constantes avances tecnológicos al momento de tratar con un paciente, bien sea en la parte de diagnóstico o tratamiento del mismo, no solo entregando avances innovadores, sino que también mejoras en los procedimientos actuales, como nuevas formas de



tratamientos indoloros, más rápidos, menos invasivos y que buscan preservar la estética bucal del paciente.

Sin embargo, Venezuela ha enfrentado en las últimas décadas un significativo atraso en la obtención de equipos tecnológicos debido a una combinación de factores políticos, económicos y sociales. Las restricciones impuestas por el control de cambio dificultan la importación de equipos, mientras que las sanciones internacionales obstaculizan el comercio y la adquisición de tecnologías avanzadas.

En materia de estadística, todos los parámetros existentes demuestran que Venezuela ha sufrido un atraso en cuestión de avances científicos, tecnológicos y en generación de innovación en múltiples áreas, trayendo como consecuencia que el país ofrezca hoy en día servicios cerrados, con médicos que operan bajo herramientas y aparatos disfuncionales, o en el peor de los casos, sin ellos, atrasando diagnósticos por la falta de equipos competentes.

En ese sentido, dicha problemática conlleva a una disminución de la defensa sanitaria, siendo que esta situación se traduce en un debilitamiento de los sistemas de prevención y control de enfermedades, generando un incremento en la transmisión de patologías infecto-contagiosas. De igual manera, la falta de material y equipos médicos adecuados para enfrentar estas situaciones son un factor determinante en la propagación de dichas enfermedades.

Partiendo de lo expuesto anteriormente, se propone el desarrollo de un brazo robótico capaz de ser utilizado fácilmente por especialistas odontológicos, que pueda brindarles comodidad y cederles el control remoto para la exploración de la cavidad bucal y la realización del procedimiento de tartrectomía.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los aspectos clave abordados en esta etapa lo constituye la definición de la arquitectura del dispositivo, identificando y describiendo los diferentes componentes que conforman el sistema, así como la indicación de sus interacciones y funcionalidades. Esta esquematización constituye la base que permite comprender cómo se estructurará y operará el sistema en su conjunto, siendo la guía del prototipo desarrollado. Asimismo, se presenta un diagrama de conexiones el cual presenta, de manera visual, los diferentes módulos del dispositivo, evidenciando la manera en que estos se conectan entre sí. Esto permite facilitar la comprensión del funcionamiento general del sistema.

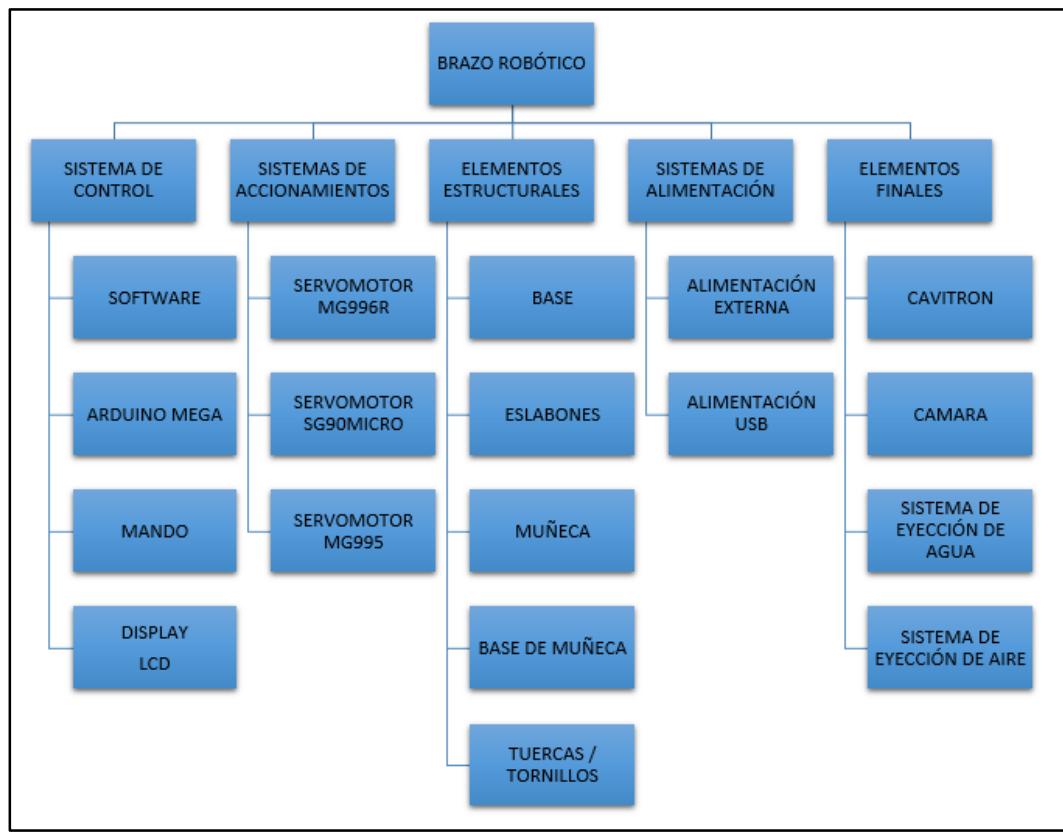


Figura 1. Organigrama General
Fuente: Ángel, García y Villasmil (2024)

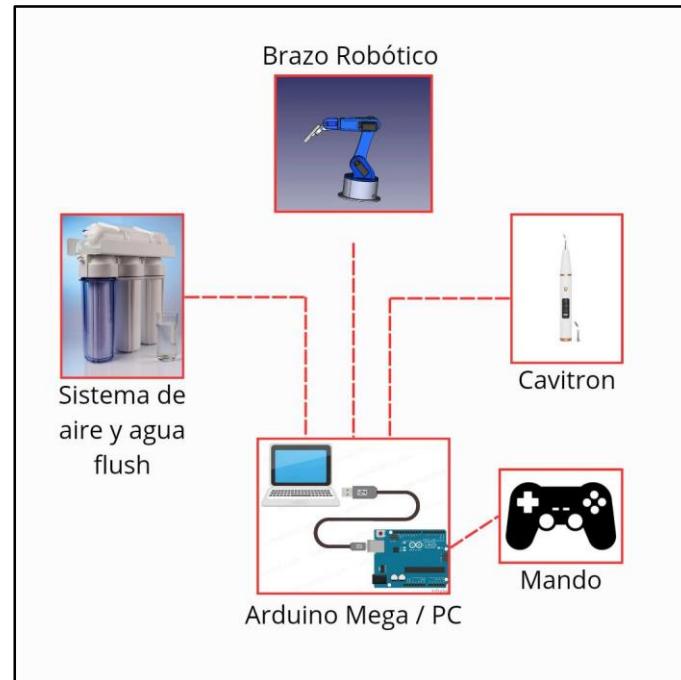


Figura 2. Esquema General del Brazo Robótico
Fuente: Ángel, García y Villasmil (2024)



En el esquema general actual, se dispone de un computador conectado a un Arduino Mega. Estos dispositivos trabajan en conjunto para recibir la información proveniente del módulo de control, permitiendo así la regulación de otros sistemas, tales como los servomotores del brazo robótico, el cavitron y el sistema Flush de inyección de agua y aire. Además, se encargan de recibir la señal de la cámara del cavitron para su visualización en pantalla.

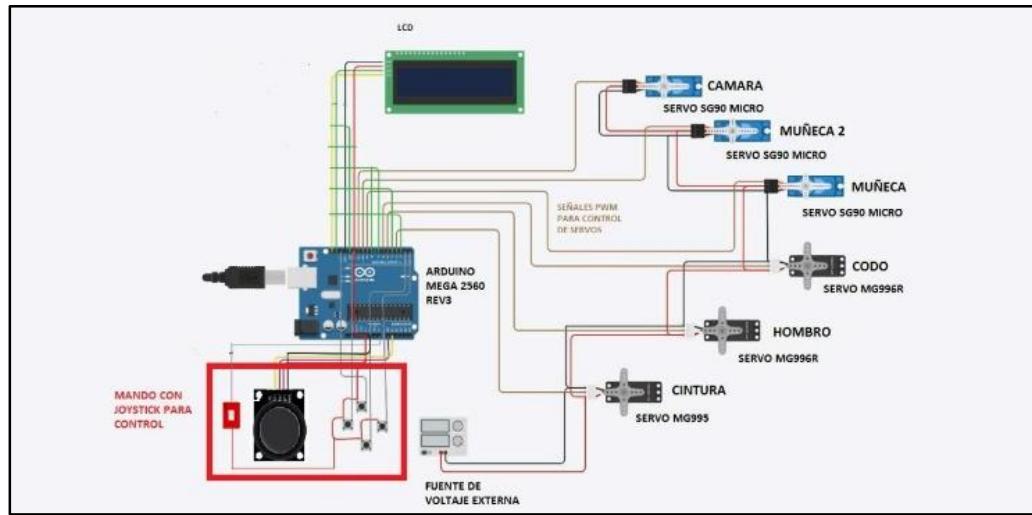


Figura 4. Esquema Circuital del Brazo Robótico
Fuente: Ángel, García y Villasmil (2024)

Se presenta el esquema del circuito que conecta el Arduino Mega a los servomotores encargados de controlar las articulaciones del brazo robótico. La pantalla LCD va a mostrar cuál de estos servomotores estará siendo ejecutado para facilitar al operador identificar qué motor se encuentra en funcionamiento en un momento dado.

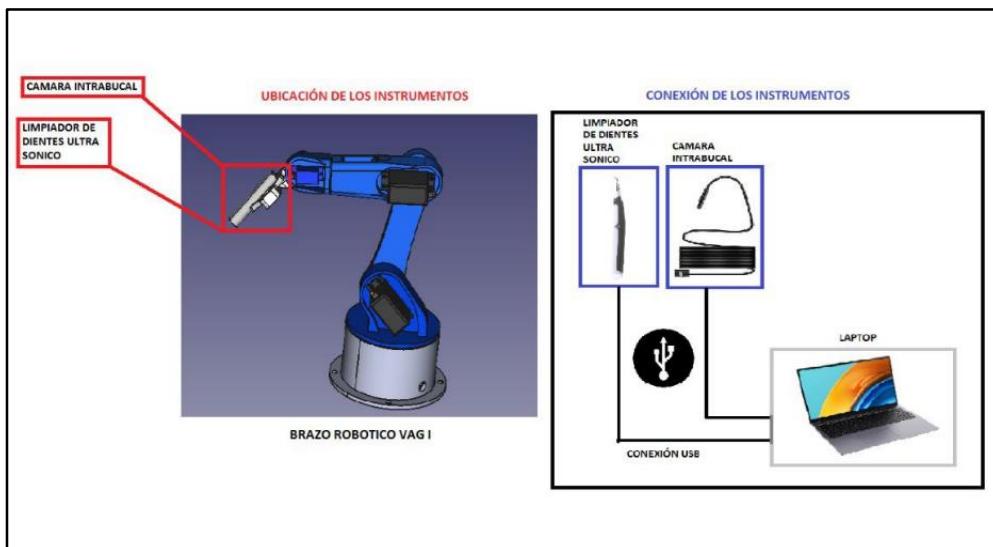


Figura 5. Esquema del Módulo del cavitron
Fuente: Ángel, García y Villasmil (2024)



El esquema siguiente detalla la ubicación y conexión del módulo ultrasónico Cavitron en el sistema. Este dispositivo se encuentra en el extremo del brazo robótico, ya que actúa como el actuador final para llevar a cabo la limpieza dental. Además, incorpora una cámara que facilita la exploración de la cavidad bucal. Este módulo se controla directamente a través de USB desde la PC, lo que permite obtener imágenes de la exploración y ajustar las velocidades de limpieza.

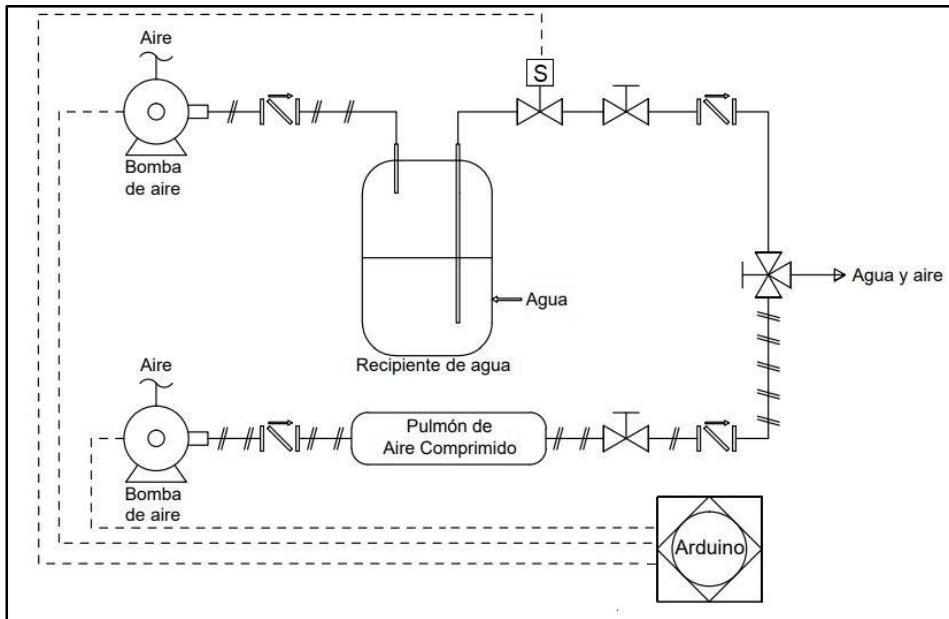


Figura 6. Esquema del Módulo del Agua y Aire
Fuente: Ángel, García y Villasmil (2024)

Por último, se presenta el esquema instrumental del sistema de inyección de aire y el sistema de inyección de agua Flush. Estos dos sistemas son controlados a través de la información recibida por el Arduino desde el mando, con la asistencia de relés para activar las bombas y así inyectar aire o agua según lo requiera el operador.

El diseño de la estructura realizó mediante el programa de diseño en 3D AutoCAD, basado en varios modelos comerciales de robots, todas las articulaciones del robot son del tipo rotativa, 4 de ellas son de giro limitado y dos de ellas es de giro completo, teniendo que esta articulación es de la base del brazo y en la muñeca, las demás presentan cada una un rango de movimiento especificado. Los actuadores que se encargan de darle la animación al brazo son un conjunto de servomotores están ubicados en cada una de sus articulaciones libres, teniendo 3 tipos de servomotores, al ser de bajo torque evitara que en caso de una falla no le cause mayor daño al paciente.



Figura 7. Sistema de salida de agua y aire.

Fuente: Angel, García y Villasmil (2024)

El HMI o Interfaz Hombre-Máquina, en su parte para el control del brazo va a estar compuesto de los siguientes elementos: Joystick, pulsadores, un diodo LED y una pantalla LCD 16x2. Estos 4 elementos van a cumplir con el manejo del equipo, el joystick va a encargarse de controlar la posición que se busque obtener, va a trabajar únicamente con un solo eje del joystick; los pulsadores se van a encargar de la selección de la articulación a trabajar, con cual velocidad se requiere y la parte del encendido de las bombas B1, B2 y solenoide; el diodo LED va a mostrar de forma visual en el panel que ya el equipo se encuentra energizado. La pantalla LCD va a mostrar cual articulación se encuentra para movilizar, con qué velocidad van a moverse y cuál de las dos bombas se encuentran activas.



Figura 8. HMI principal del prototipo.

Fuente: Angel, García y Villasmil (2024)



En la parte de enlace del HMI con la tarjeta de desarrollo Arduino, tanto señales analógicas como digitales, muchas veces se puede llegar a tener que el joystick con el paso del tiempo puede presentar ciertas desviaciones; para corregir estas desviaciones del joystick se va hacer implemento de un potenciómetro que va a enviar una señal analógica que, mediante código, va a generar otra señal que se encargue de anular esta desviación que presente el joystick. Este potenciómetro se va a encontrar dentro de los cases del equipo, con la finalidad de que no se encuentre a la accesibilidad de los odontólogos, en dado caso si presenta fallas de desviaciones, sea un técnico que se encargue de corregir estas fallas.

Los servomotores tanto de giro continuo como de giro limitado dependen de una señal analógica, pero de la característica de una señal PWM, esta al ser una señal que tiene como valor 0 y 1 lógicos a la salida por un intervalo de tiempo que oscila entre 1 a 2 milisegundos en un periodo de la señal de 20 milisegundos, estas tienen como capacidad de entregarse por cualquier pin digital del Arduino, siendo esta una ventaja al momento de la organización de las conexiones. Haciendo de implemento de la librería “Servo.h”, permite realizar una codificación que sea más fácil de ejecutar para el microcontrolador de la tarjeta, además que la librería permite realizar múltiples salidas de formas paralelas, es decir: que mientras se configura una articulación, las demás articulaciones no se van a afectar durante el proceso.

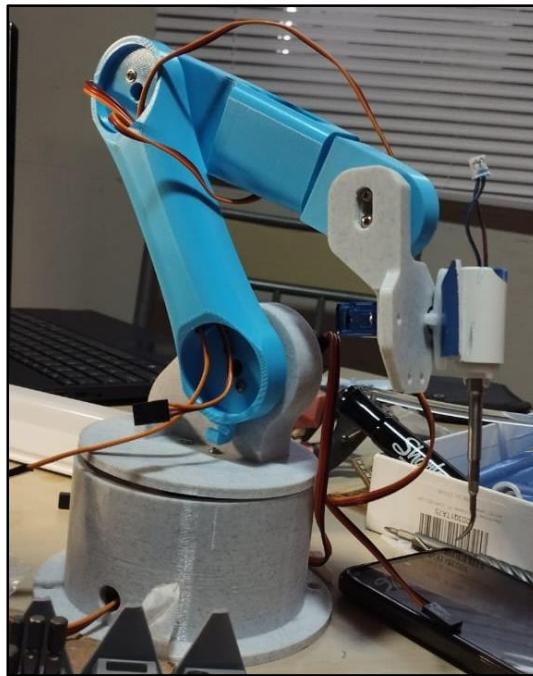


Figura 9. Ensamblaje del Brazo Robótico.
Fuente: Ángel, García y Villasmil (2024)



Figura 10. Cavitron, la salida de agua o aire y la cámara intraoral.

Fuente: Angel, García y Villasmil (2024)

Se enlazo la cámara intraoral a una pantalla vía WIFI para visualizar el foco de la misma mostrando imágenes de alta resolución, en primera instancia se realizó pruebas del foco de la cámara con un modelo de dentaduras, para posteriormente realizar la prueba de imagen con una cavidad dental real, otorgando una buena visualización de lo que transmite la pantalla y de hacia dónde está apuntando la punta del limpiador.

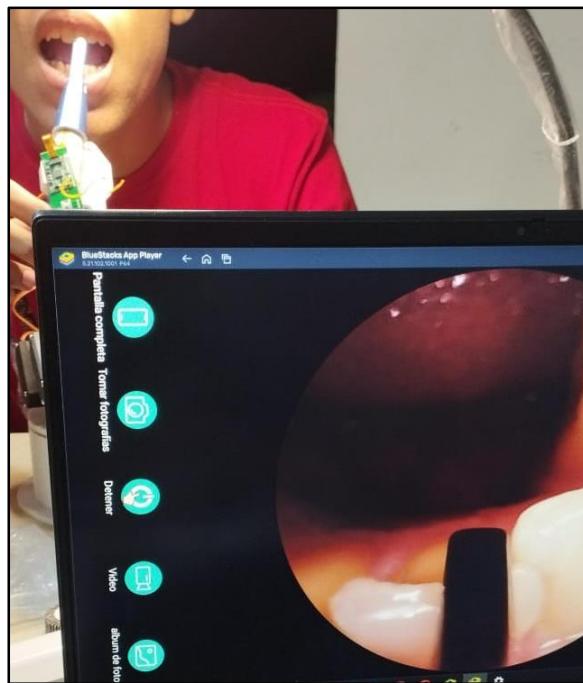


Figura 11. Prueba del Brazo Robótico.

Fuente: Ángel, García y Villasmil (2024)



CONCLUSION

Durante el desarrollo de la investigación en estudio, se obtuvo un conjunto de datos relevantes, que permitieron el cumplimiento de los objetivos propuestos al inicio de la misma, arrojando una serie de conclusiones que vinculan aspectos, bases teóricas y resultados de pruebas operativas del brazo robótico.

Se logró caracterizar los elementos que intervienen en este procedimiento, con el levantamiento de información documental y entrevistas a profesionales en el área de odontología y profesionales en el área de ingeniería. Se obtuvo, que según el análisis técnico, económico y legal, se concluyó que la construcción del brazo robótico, es totalmente factible ya que se cuenta con los materiales, equipos, tecnología y el conocimiento profesional necesario para el diseño y construcción del mismo, dentro del presupuesto financiero establecido.

Se obtuvo el diseño en 3D del brazo robótico, bajo herramientas gráficas y de simulación, operadas bajo los Software FreeCAD y AutoCAD; el cual posee la siguiente síntesis estructural; 6 grados de libertad, movimientos de interpolación lineal, robot tipo serial, con articulaciones rotacionales, donde el mecanismo de movimiento más acorde es el eléctrico (servomotores), concluyendo así que es un robot del tipo manipulador o antropomórfico.

Se concluyó que la programación de la placa Arduino Mega 2560 hecha en base a una adaptación de lenguaje C++, provista de una librería de C de alta calidad usada con GCC (compilador de C y C++) en las placas Arduino, bajo la versión de software Arduino IDE 18.13, donde se destacó que era el modo más versátil de programar las funciones del sistema robótico. Por otro lado, durante el ensamblaje del brazo se comprobó, que la selección del filamento PLA, fue el material más idóneo para la impresión de piezas.

Se demostró y verificó el correcto funcionamiento del brazo, concluyendo que hay servomotores a los cuales se establecieron límites para evitar daños en la estructura del robot, la articulación 2 debe de respetar un rango de 170° teniendo como límite inferior los 10°, la articulación 3 teniendo un rango de movimiento de 140° iniciando desde 0°, los demás elementos móviles del brazo robótico no requirieron de estas limitaciones en sus movimientos establecidos por software.

Por otra parte, la velocidad de los motores fue dada de manera apreciativa. De igual manera, los sistemas de agua y de aire corresponden a los comportamientos deseados, cuando se envía la señal de encendido del HMI, así como también el funcionamiento del cavitron y la recepción de las imágenes enviadas a la laptop para su observación. Concluyendo así, que este es un equipo seguro.



y versátil en pro de llevar innovación tecnológica en el área de odontología, así como también disminuir el riesgo de enfermedades infecto-contagiosas al realizar procedimientos odontológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnáez Barchi, E. (2015). **Enfoque práctico de la teoría de robots, con aplicaciones en Matlab.** Editorial Universidad Peruana de ciencias aplicadas (UPC). Lima Perú.
- Pérez, M; Cuevas, E y Zaldívar, Daniel. (2014). **Fundamentos de robótica y mecatrónica, con Matlab y Simulink.** Editorial Ra-Ma. España.
- Palella, S. y Martins, F. (2012). **Metodología De La Investigación Cuantitativa.** Caracas: Fedupel.
- Anáhuac Mayab. (18 de octubre de 2023) **Odontología: ¿Qué es y cuál es su campo laboral?** www.merida.anahuac.mx/licenciaturas/blog/odontologia-que-es-y-cual-es-su-campo-laboral.
- Dental Com. (23 de octubre de 2023). **¿Qué es la odontología?** <https://dentalcom.info/que-es-la-odontologia/>
- Ferrus & Bratos. (28 de octubre de 2023) **Anatomía bucal: ¿cuáles son las partes de un diente?** www.clinicaferrusbratos.com/odontologia-general/cuales-son-las-partes-del-diente/
- Ilerna. (02 noviembre de 2023). **Los dientes: definición y características.** <https://www.ilerna.es/blog/dientes-definicion-caracteristicas>