

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño e Implementación del Módulo Mecánico de un
Dispositivo de Limpieza Automatizada para cigarrillos
electrónicos IQOS 2.4**

Trabajo de graduación presentado por Julio Daniel Mérida León para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2019

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



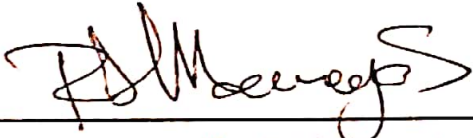
**Diseño e Implementación del Módulo Mecánico de un
Dispositivo de Limpieza Automatizada para cigarrillos
electrónicos IQOS 2.4**

Trabajo de graduación presentado por Julio Daniel Mérida León para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

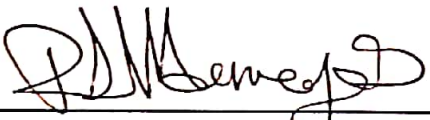
Guatemala,


2019

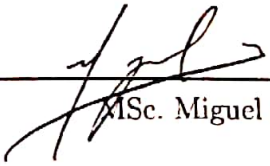
Vo.Bo.:

(f) 
MSc. Pablo Mazariegos

Tribunal Examinador:

(f) 
MSc. Pablo Mazariegos

(f) 
Ing. Luis Pedro Montenegro

(f) 
MSc. Miguel Zea

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de diciembre de 2019.

Este proyecto fue elaborado con la inspiración proveída por la automatización a nivel mundial, que facilita las tareas del día a día para todas las personas del planeta. Aprovechar los recursos que nos provee la tecnología es dar un paso adelante para construir soluciones para los problemas que enfrentan millones de personas, y para esto son indispensables las ramas de la ingeniería que involucran electrónica, mecánica y programación. Es impresionante poder aplicar conocimientos adquiridos sobre diseño 3D, software y maquinaria para manufactura de piezas, y los principios de la mecánica y electrónica para plasmar cualquier idea hacia algo tangible y valioso para las personas.

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional, sus sabios consejos y por siempre guiarme hacia el camino correcto; no hubiera llegado hasta donde me encuentro ahora sin su valioso ejemplo. Agradezco a mis compañeros por compartir estos últimos 5 años conmigo, ya que los convirtieron en una experiencia imposible de olvidar.

Prefacio	V
Lista de figuras	XI
Lista de cuadros	XIII
Resumen	XVI
Abstract	XVIII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	5
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Alcance	9
6. Marco teórico	11
6.1. Mecanismos de posicionamiento	11
6.1.1. Mecanismo manivela-corredera	11
6.2. Sistema de aspersión	13
6.2.1. Tipos de bombas hidráulicas	13
7. Definición de la estructura principal	19
7.1. Investigación de la problemática y visita de campo	19
7.2. Definición del espacio dimensional del dispositivo	20
7.3. Diseño del marco estructural	21
7.3.1. Primera iteración	21

7.3.2.	Segunda iteración	26
7.3.3.	Tercera iteración	28
7.3.4.	Cuarta iteración	31
7.3.5.	Quinta iteración	34
7.3.6.	Resultados de implementación	37
8.	Diseño de mecanismo de posicionamiento	39
8.1.	Ideación de movimiento y principio de operación para múltiples calentadores portátiles	39
8.2.	Diseño de mecanismo tipo tenaza	42
8.2.1.	Primera iteración	44
8.2.2.	Segunda iteración	48
8.2.3.	Resultados de implementación	51
9.	Sistema de aspersión para agente de limpieza	55
9.1.	Primera iteración	55
9.2.	Segunda iteración	60
9.3.	Resultados de implementación	64
10.	Selección e implementación de los actuadores y elementos de limpieza	65
11.	Pruebas de funcionamiento	71
11.1.	Pruebas con el mecanismo de posicionamiento	71
11.2.	Pruebas con el sistema de aspersión	76
11.3.	Pruebas con el motor de limpieza principal	77
11.4.	Pruebas conjuntas con los submódulos del proyecto	77
12.	Conclusiones	81
13.	Recomendaciones	83
14.	Bibliografía	85
15.	Anexos	87
15.1.	Anexo 1: Tabla de propiedades para motor RS-385SA	87
15.2.	Anexo 2: Tabla de propiedades para motor NFP-110-003	87
15.3.	Anexo 3: Bomba hidráulica de diafragma con motor RS-385	88
15.4.	Anexo 4: Tanque expandido de 63 ml para sistema de aspersión	89

Lista de figuras

1.	Mecanismo manivela-balancín [5]	12
2.	Cálculo de Grashof para mecanismos [6]	12
3.	Mecanismo manivela-corredera [7]	12
4.	Transformación manivela-balancín a manivela-corredera de Grashof [9]	13
5.	Bomba de engranajes [10]	14
6.	Bomba de tornillo [11]	15
7.	Bomba de lóbulo [14]	16
8.	Bomba peristáltica [15]	17
9.	Simulación del calentador portátil con el volumen final del dispositivo	20
10.	Bosquejo del marco estructural	21
11.	Dimensionamiento de pieza superior del marco estructural	22
12.	Simulación 3D de pieza superior del marco estructural	22
13.	Dimensionamiento de pieza frontal del marco estructural	23
14.	Simulación 3D de pieza frontal del marco estructural	24
15.	Vista frontal de marco estructural	24
16.	Vista posterior de marco estructural	25
17.	Segunda iteración de marco estructural	26
18.	Vista interior de segunda iteración de marco estructural	27
19.	Marco estructural construido con MDF de 3.2 mm	27
20.	Vista interior del marco	28
21.	Simulación de la tercera iteración de marco estructural	29
22.	Vista interior de la simulación	30
23.	Marco estructural con mecanismo de posicionamiento y sistema de aspersión	30
24.	Vista interior de la tercera iteración del dispositivo	31
25.	Simulación de la cuarta iteración de marco estructural	32
26.	Implementación de cuarta iteración de marco estructural	33
27.	Vista superior con motor para varilla (izquierda) y sin el soporte para este motor (derecha)	33
28.	Simulación de la última iteración del marco estructural	35
29.	Simulación de soportes para mangueras dentro del marco estructural .	35

30.	Implementación de iteración final del marco estructural	36
31.	Implementación de quinta iteración final del marco estructural, vista lateral	37
32.	Bosquejo de mecanismos preliminares	40
33.	Diseño 3D de conjunto piñón-cremallera	41
34.	Implementación de piñón-cremallera en MDF de 3.2 mm	42
35.	Mecanismos de posicionamiento esbozados	43
36.	Mecanismo de posicionamiento tipo tenaza	44
37.	Simulación 3D de mecanismo de tenaza, posición retraída	45
38.	Simulación 3D de mecanismo de tenaza, posición extendida	45
39.	Mecanismo de posicionamiento editado, vista frontal	46
40.	Mecanismo de posicionamiento editado, vista posterior	46
41.	Vista frontal del mecanismo de posicionamiento manufacturado	47
42.	Vista posterior del mecanismo de posicionamiento manufacturado	47
43.	Dimensiones finales de deslizador, implementado en cuarta iteración del marco estructural	48
44.	Simulación de diseño 3D final del deslizador	48
45.	Diseño de soporte para el riel de deslizamiento y sujetador del cobertor	49
46.	Simulación de diseño 3D final del sujetador	49
47.	Dimensionamiento final para el sujetador	50
48.	Simulación final para mecanismo de posicionamiento, con soportes y motores DC	51
49.	Vista frontal de mecanismo de posicionamiento en su implementación final	52
50.	Vista posterior de mecanismo de posicionamiento en su implementación final	53
51.	Bomba peristáltica obtenida de impresora Canon iP2700, vista frontal	56
52.	Bomba peristáltica obtenida de impresora Canon iP2700, vista posterior	56
53.	Dimensionamiento para acople divisor de manguera	57
54.	Simulación final para acople divisor de manguera	57
55.	Vista lateral y vista seccionada del tanque rellenable	59
56.	Vista inferior del tanque rellenable	59
57.	Sistema de aspersion, primera iteración	60
58.	Simulación de bomba peristáltica en Inventor 2018	60
59.	Acople diseñado para girar el rotor a partir del accionamiento del motor DC	61
60.	Implementación de acoples a distintas dimensiones para pruebas de encaje	61
61.	Sistema de aspersion, segunda iteración, implementado en marco estructural final	63
62.	Colocación de soportes para mangueras hidráulicas	63
63.	Sistema de aspersion ensamblado en la versión final del dispositivo de limpieza	64
64.	Cepillos de limpieza Oral-B implementados en el proyecto	68

65.	Acoples diseñados en 3D para cepillos de limpieza	68
66.	Implementación de acoples con cepillos de limpieza incorporados . . .	69
67.	Colocación de cobertor con los cepillos de limpieza incorporados al mecanismo	70
68.	Acople para servo elaborado con corte láser	71
69.	Piezas de mecanismo de posicionamiento elaboradas con corte láser .	72
70.	Colocación del mecanismo de posicionamiento para realizar pruebas de movimiento	73
71.	Posicionamiento del cobertor IQOS 2.4 en el prototipo final	75
72.	Propiedades del actuador RS-385SA [16]	87
73.	Propiedades del actuador NFP-110-003 [17]	87
74.	Bomba de diafragma con motor RS-385 [18]	88
75.	Especificaciones de bomba de diafragma [18]	88
76.	Dimensionamiento de tanque expandido	89
77.	Dimensionamiento de tanque expandido	90

Lista de cuadros

1.	Comparación de iteraciones del marco estructural	38
2.	Mecanismos investigados de conversión de movimiento rotativo a movimiento traslacional	40
3.	Iteraciones para dimensionamiento exacto de acople entre eje y rotor de la bomba	62
4.	Dimensionamiento final establecido en los tres acoples diseñados para los cepillos	69
5.	Pruebas realizadas para el movimiento del mecanismo de posicionamiento diseñado	74
6.	Pruebas del voltaje de accionamiento para el rotor de la bomba peristáltica utilizada	76

Para elaborar este proyecto de diseño e implementación de un sistema automático para limpieza de cigarrillos electrónicos, se inició con la adquisición de datos respecto al funcionamiento del dispositivo IQOS 2.4, que sería el producto para el cual se buscaría desarrollar la solución. Se obtuvo uno en calidad de préstamo para la adquisición de medidas y posteriormente para realizar pruebas sencillas con elementos de limpieza que pudieran garantizar su integridad. Primero se determinaron los submódulos que requeriría el diseño del módulo mecánico de este proyecto: un conjunto de actuadores para la limpieza de ambos lados del cobertor del IQOS y otro para la limpieza de la varilla que contiene la lámina de calentamiento, un sistema que pudiera bombear un agente de limpieza (alcohol isopropílico, por ejemplo) hacia los elementos que se introducirían en las piezas durante el proceso, y finalmente una estructura en la que se pudiera ensamblar todos estos componentes de manera segura.

Se inició el diseño con el desarrollo de un marco estructural en el que se pudieran ensamblar los submódulos mencionados y se consideraran todos los requerimientos de soporte para los cada uno de estos. Se elaboraron cinco iteraciones de este marco, a medida que se iban agregando los componentes necesarios y surgiendo nuevas consideraciones para su implementación eficaz, y se fabricaron con fibropanel de densidad media (MDF, por sus siglas en inglés) de 3.2 mm de espesor. Se ideó un mecanismo capaz de aproximar de manera coordinada dos elementos deslizantes que ingresarán a cada lado del cobertor del IQOS, mediante el accionamiento de un servomotor. A este se le adicionaron micro motores DC con acoples diseñados en 3D para incorporar cepillos de limpieza, y también se siguió este principio para un motor DC de 12 V que limpiaría la varilla del IQOS. Se diseñó un sistema de aspersion para el agente de limpieza, implementando una bomba peristáltica obtenida del sistema de inyección de una impresora Canon iP2700. Para este se diseñaron soportes para colocar las mangueras provenientes de la bomba, un tanque para almacenar el agente de limpieza, y un acople para accionar el rotor de esta mediante un motor DC de 24 V.

Se tuvo resultados exitosos en el prototipo final elaborado para el módulo mecánico del dispositivo, logrando la limpieza de una parte considerable de la suciedad

ubicada en la varilla del IQOS, y especialmente en la lámina de calentamiento. También se pudo limpiar ambos lados del cobertor con el accionamiento del mecanismo, mediante una secuencia programada en un Arduino Uno para verificar el funcionamiento. El sistema de aspersión tuvo resultados favorables y cumplió su finalidad, aunque se considera que la implementación de la bomba peristáltica de la impresora tuvo ciertos inconvenientes en el accionamiento de su rotor. Sin embargo, se considera que el prototipo provee un cumplimiento adecuado de la limpieza para el IQOS 2.4, y que se podría ampliar estos principios de funcionamiento para construir un producto que automatice la limpieza de cualquier cigarrillo electrónico IQOS. Se enlistaron las conclusiones según la implementación final y también una serie de recomendaciones para llevar a cabo el ensamblaje corregido y mejorado empleando el modulamiento que se utilizó en este proyecto.

For the development of this project, concerning the design and implementation of an automatic system for electronic cigarette cleaning, the initial step was the acquisition of data regarding the operation of the IQOS 2.4 device, which would be the product the solution would be targeted towards. One of these devices was lent in order to study and measure its characteristics, and then to perform simple tests with cleaning elements that guaranteed its safety. First, it was determined which submodules would be required for the design of the mechanical module of this project: a set of actuators for cleaning both sides of the IQOS cap and another for cleaning the rod containing the cigarette heating element, a system that could pump a cleaning agent (isopropyl alcohol, for example) into the IQOS's parts during the process, and finally a structure in which all these components could be assembled safely.

The first stage of the design was the development of a framework in which the selected submodules would be assembled, considering all the structural demands for each of these. Five iterations of this framework were developed, as all the necessary components were added and new requirements for their effective implementation were considered; each iteration was manufactured with medium density fibreboard (MDF) with a 3.2 mm thickness. A mechanism capable of approaching two sliding elements in a coordinated way was designed; it would be activated by a servomotor and each sliding element would enter by a side of the IQOS cap. Two micro DC motors with 3D-designed couplings were added to incorporate cleaning brushes, and this principle was also maintained for a 12 V DC motor that was added to the structural framework to clean the IQOS rod. A cleaning-agent distribution system was also designed, implementing a peristaltic pump that was obtained from a Canon iP2700 inkjet printer. Fiberboard supports for hose placement were added to the design, as well as a coupler to permit the driving of the pump rotor by means of a 24 V DC motor.

Successful results were achieved in the final prototype developed for the mechanical module of the device, eliminating most of the tobacco grime located in the IQOS rod and in the heating element. It was also possible to clean both sides of the cap using the designed mechanism, which was tested using a sequence programmed in an Arduino

Uno to verify its functioning. The cleaning-agent distribution system had favorable results and it fulfilled its purpose; nevertheless, there were some drawbacks in the implementation of the peristaltic pump, due to the difficult activation of its rotor. However, it is considered that the prototype provides an adequate cleaning process for the IQOS 2.4, and that the operating principles that were applied could be extended to build a product that automates the cleaning of any IQOS electronic cigarette. The conclusions that were reached regarding the final implementation were listed, along with a series of recommendations to assemble an improved version of the cleaning device, using the modules that were built during this project.

Los cigarrillos tradicionales y productos similares han existido desde hace siglos, y la población que consume estas sustancias ha incrementado por la elevada comercialización de estos y el desarrollo de nuevos productos o alternativas para quienes buscan consumirlos. Desde hace varios años se han desarrollado alternativas menos dañinas para los fumadores, y una de estas se presenta con los dispositivos que calientan el tabaco en lugar de quemarlo para liberar las sustancias que el consumidor busca inhalar. Estos nuevos dispositivos poseen un mayor grado de complejidad frente a los cigarrillos tradicionales y requieren cierto mantenimiento para que funcionen adecuadamente. [1]

El problema que existe actualmente es el grado de delicadeza que tienen ciertos componentes dentro del dispositivo, y además estos requieren de mantenimiento constante para funcionar de eficazmente. Se analizará particularmente el caso de los dispositivos que poseen una lámina de calentamiento que se inserta en el cigarrillo para calentarlo hasta el punto en el que pueda ser inhalado por el usuario. Esta lámina se va ensuciando por el contacto con el cigarrillo y va perdiendo la habilidad para calentar el tabaco; por esta razón se requiere una limpieza constante por parte del usuario para preservar sus características. La delicadeza de la lámina no solo dificulta su limpieza, sino que se reporta que un gran número de usuarios la rompen al darle mantenimiento, dejando al dispositivo inservible. [2] Uno de los dispositivos que cumplen con estas características y son utilizados ampliamente en la actualidad son los calentadores IQOS 2.4, desarrollados por la empresa tabacalera internacional Philip Morris, por lo que se buscará la implementación según las dimensiones de este dispositivo.

Se tiene como objetivo diseñar un sistema mecánico capaz de realizar esta limpieza sin el riesgo de romper la lámina de calentamiento, lo que incrementaría la durabilidad del dispositivo y la satisfacción y comodidad para sus usuarios. Esta debe poseer la habilidad de inyectar alguna sustancia (alcohol o algún otro agente de

limpieza) y luego limpiar la lámina de manera precisa mediante el accionamiento de un pequeño cepillo incorporado. Se debe de tener consideración de la fuerza que el movimiento producirá sobre la lámina para evitar cualquier daño a esta y garantizar que la limpieza no reduzca la durabilidad del dispositivo. Se busca que la solución sea implementada en un espacio de área máxima de 4.5 x 6.5 in.

Los productos de tabaco en Guatemala han tenido un sólido desarrollo en las últimas décadas debido a la introducción de mejoras a los cigarrillos convencionales y a la amplia publicidad que convence a nuevos consumidores de probarlos. Debido a la creciente concientización sobre los peligros para la salud que presentan los cigarrillos tradicionales, se ha optado a innovar el mercado del tabaco con productos que lo calientan en lugar de quemarlo para reducir la cantidad de dióxido de carbono que ingresa a los pulmones del usuario. Aunque no se han realizado estudios a largo plazo del efecto de estos nuevos productos por su corto tiempo de introducción al mercado, se cree que presentan una efectiva alternativa para reducir la inhalación de sustancias cancerígenas para los fumadores. [3] Por esto, se considera que se puede reducir los efectos negativos que pueden padecer las personas que consumen cigarrillos tradicionales si se opta por productos que funcionen bajo este principio. Además se ha establecido que existen otras ventajas de comodidad para el producto de calentamiento de tabaco frente a la opción tradicional, por ejemplo, la falta de residuos de olor sobre el consumidor. [4]

Actualmente existen diversas alternativas para realizar la limpieza de los calentadores portátiles de tabaco, más no existe ninguna que realice este proceso de manera automatizada y libre de riesgo para el dispositivo. La opción más sencilla para cualquier usuario de estos productos sería llevar su calentador a la tienda donde se distribuyen, pues se les provee el servicio de limpieza por operarios que conocen los productos ampliamente y no se presentará un riesgo de daño a su dispositivo por el cuidado que ellos les suministran. Sin embargo para los usuarios resultaría tedioso e ineficiente depender del personal calificado para realizar la limpieza de sus dispositivos, y la opción óptima sería poder hacerla desde la comodidad de sus hogares. Por esto, la segunda solución es la limpieza manual de los dispositivos de cualquier modelo por el usuario mismo, empleando un kit de limpieza con productos diseñados para los usuarios. Sin embargo, aquí es donde se recae en la posibilidad de dañar permanentemente el dispositivo si no se trata con el cuidado que debería, ya que existen

componentes que son frágiles al contacto humano. Existen actualmente limpiadores que encajan perfectamente en la varilla principal, donde se encuentra la lámina de calentamiento para el tabaco, y son muy fáciles de operar. El problema yace en la ineficiencia de estos para remover la suciedad que se acumula en la superficie en la base de donde está la lámina. Se debe emplear un isopo, remojado en alcohol isopropílico para poder eliminar esta capa de sedimentos de tabaco que se forma con el tiempo. El mal manejo de estos productos de limpieza parece haber causado incontables casos de daños permanentes a los calentadores de tabaco, y por esto es que muchos usuarios optan por llevar su producto al quiosco de ventas para que sea limpiado. Es aquí donde se consume una considerable cantidad de tiempo en la limpieza de decenas de dispositivos durante una jornada laboral.

El propósito de automatizar esta tarea yace en el tiempo que le consume a cada uno de los operarios llevar a cabo los pasos de esta limpieza día a día. Incluso aunque el transcurso de tiempo no sea mayor a 5 minutos, en el momento en el que se acumulan varios clientes se nota que la automatización de este proceso sería de utilidad para los puntos de distribución. Por esta razón se está buscando una alternativa que elabore esta tarea bajo ciertos principios:

- La limpieza no debe llevarse a cabo en un tiempo mayor del que le tomaría a un operario realizarla, pues no tendría sentido invertir en un dispositivo ineficiente en cuestiones de tiempo.
- La limpieza debe realizarse en todas las piezas que lo requieran. En el caso de la mayoría de dispositivos se tiene una varilla principal y un cobertor que protege esta.
- La limpieza debe poder realizarse sin importar el modelo de calentador portátil que se posea, pues se debe ofrecer el servicio para cada una de las posibilidades que existen en el mercado.

Habiendo establecido la necesidad por una máquina que automatice esta tarea, las características de los procesos de limpieza actuales para el producto, y las consideraciones que se deberían tomar en cuenta para elaborar tal proyecto, se puede proceder a enumerar los objetivos que tal implementación tendría para alguno de los modelos existentes en el mercado actual y el alcance al que se puede llegar con el desarrollo de tal máquina.

La finalidad de este proyecto yace en la oportunidad de mejorar el estado actual del mantenimiento de los cigarrillos electrónicos. La principal deficiencia de estos dispositivos recae en la necesidad de limpieza constante para mantener su utilidad y es por esto que los kioscos de venta ofrecen el servicio para remover los restos de tabaco que se acumulan en la lámina de calentamiento, en la estructura que la rodea, y en el cobertor del dispositivo. Debido a que la realización de la limpieza por un usuario del cigarrillo puede llevar a daños estructurales sobre la lámina, la opción de mantenimiento en el kiosco es la opción que mayor seguridad da a los consumidores. Es por esto que el enfoque de este proyecto de automatización es el mantenimiento que se da en los puestos de venta de las empresas que ofrecen estos productos. La labor diaria de los trabajadores incluye realizar la limpieza de una considerable cantidad de cigarrillos electrónicos, y se considera que el tiempo que conlleva este procedimiento se puede optimizar notoriamente con el diseño de este dispositivo de limpieza.

El propósito general de la automatización a nivel industrial, doméstico y personal es reducir el tiempo que conlleva una acción o procedimiento que se realiza con frecuencia, o bien aumentar la eficacia y la eficiencia de dicho procedimiento empleando componentes electrónicos y mecánicos que puedan realizar la tarea en conjunto, con un grado de precisión calculable y, en la mayoría de los casos, superior a la precisión humana. Esta es una disciplina que se ha desarrollado por décadas y se ha visto involucrada cada vez más en la vida diaria de los consumidores, pues hoy en día los proyectos de automatización, que antes se desarrollaban solamente para maquinaria compleja en la industria, se elaboran para una variedad de áreas de menor escala. La idea de desarrollo para este dispositivo de limpieza es un ejemplo de las utilidades que se le puede proveer a las compañías para que se optimicen los puestos de venta con los que estas operan. La raíz de cualquier proyecto de esta índole es un conflicto presente en alguna labor diaria, y con los cigarrillos electrónicos claramente existe una necesidad de mejorar el mantenimiento provisto a los distintos modelos que existen en el mercado en la actualidad.

Se busca reducir o eliminar la problemática que conlleva el uso de estos productos, cuya introducción al mercado es relativamente reciente, para que las empresas que los proveen puedan ofrecerlos de mejor manera a sus consumidores y evitar las complicaciones que existen actualmente alrededor de la delicadeza de su mantenimiento. Se considera que esta es una tarea que puede automatizarse y realizarse de manera más segura y eficiente si se diseña una máquina cuya precisión elimine la posibilidad de que el dispositivo pierda su utilidad debido a un error humano, y también que pueda mejorar el desempeño de los trabajadores en los puestos de venta. Por esto, se llevará a cabo la ideación, diseño e implementación de un sistema mecánico capaz de solucionar el problema del mantenimiento de los dispositivos portátiles de calentamiento de tabaco.

4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar el conjunto de mecanismos y actuadores necesarios para llevar a cabo la limpieza de la lámina metálica y los componentes estructurales presentes en el dispositivo IQOS 2.4 de manera automática, garantizando la integridad de todas sus piezas.

4.2. Objetivos específicos

- Realizar una simulación por computadora de la estructura principal en la que se ubicarán los mecanismos y las partes del dispositivo que serán limpiadas, en un área delimitada a un tamaño máximo de 6.5 x 4.5 pulgadas.
- Seleccionar los actuadores y mecanismos que realizarán la limpieza de las distintas partes del dispositivo, buscando componentes que sean accesibles en el mercado actual.
- Construir prototipos de la estructura principal y los mecanismos diseñados que se involucrarán en la limpieza del dispositivo, utilizando corte láser e impresión 3D, de manera iterativa.
- Realizar pruebas con el prototipo final para verificar que la solución propuesta realice la limpieza del IQOS 2.4 sin dañar ninguna de las piezas.

El proyecto desarrollado tiene un enfoque de innovación, pues busca proveer una solución automatizada que no existe en el mercado actual como alternativa para el mantenimiento del cigarrillo electrónico IQOS 2.4. Debido a las problemáticas existentes con la limpieza del producto, se determinó que una solución que mantuviera este en condiciones adecuadas durante el procedimiento es necesario para garantizar un mayor tiempo de vida útil.

El dispositivo diseñado se presentará como un prototipo funcional capaz de cumplir la tarea de limpieza para ambas piezas del IQOS 2.4. Se busca presentar una mejora considerable respecto a las alternativas existentes, ya sea en la seguridad hacia la integridad del dispositivo o en la eficiencia de limpieza en cuestión de tiempo y necesidad de supervisión al realizar el proceso. La solución planteada debe tener la capacidad de realizar la limpieza de la varilla principal, que contiene la lámina metálica de calentamiento, y del cobertor que protege a la varilla y le da un toque estético al dispositivo.

Existen algunas limitantes en la elaboración de este proyecto debido a la disposición de ciertos recursos. Se tiene solamente un dispositivo IQOS 2.4 para elaborar cualquier prueba de limpieza y se debe garantizar que su integridad se mantenga intacta. Por esto, el prototipo debe ser elaborado sin llevar las condiciones del IQOS o de la lámina de calentamiento a un posible riesgo de daño estructural. Si bien este es un requerimiento para el producto final, se debe priorizar el estado del dispositivo de pruebas y por esto puede llegar a dificultar la fase de validación de funcionamiento para ciertos elementos de limpieza. Es por esta razón que el objetivo es producir un prototipo para la máquina de limpieza, más no se presentará en calidad de producto comercializable debido a la falta de pruebas rigurosas que permitan garantizar el estado del IQOS.

Cabe destacar que los materiales de manufactura para el prototipado que se tiene a disposición radican en:

- Tableros de fibra de densidad media (MDF, por sus siglas en inglés), que emplean corte láser para elaborar cualquier diseño requerido, a un dimensionamiento máximo de 440 x 560 mm.
- Ácido poliláctico (PLA), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y otros materiales para realizar impresión 3D por deposición de material fundido (FDM) a una resolución máxima de 0.1 mm.
- Resina fotosensible para realizar impresión 3D por estereolitografía a una resolución máxima de 0.01 mm.

6.1. Mecanismos de posicionamiento

6.1.1. Mecanismo manivela-corredera

Para la descripción de un mecanismo manivela-corredera se debe comprender el principio de funcionamiento detrás del mecanismo manivela-balancín. Este provee un movimiento oscilatorio delimitado por el largo de los eslabones entre un balancín y un eslabón fijo (al que se le nombra como 'tierra'). El eslabón conectado a tierra se denomina manivela, por su capacidad para producir una rotación completa debido a su extremo libre, y el eslabón entre la manivela y el balancín se denomina acoplador. En la siguiente figura se puede observar una implementación de este mecanismo, en el cual se tendría un segmento de arco que delimita el posible rango de movimiento que se produce en el balancín a partir de una rotación completa de la manivela. [5]

El rango de movimiento es una función producida por el largo de los eslabones entre tierra y el balancín, y se puede dar el caso en el que estas distancias limiten la revolución de la manivela, por lo que el mecanismo pierde su facilidad de implementación. Existe un principio, denominado el criterio de Grashof, que describe la posibilidad de una revolución completa en la manivela para este arreglo de eslabones. [6] Este criterio establece que si la suma de las distancias del eslabón más corto y el más largo es menor que la suma de las distancias de los eslabones restantes, el mecanismo permitirá una revolución del eslabón más corto respecto a su eslabón adyacente. Por esto, si se tiene como el eslabón más corto a la manivela, entonces cumplir la condición anterior asegura una revolución completa en su movimiento.

Habiendo establecido las características anteriores para el mecanismo manivela-balancín, se puede establecer una transformación de eslabonamientos que convierta al mecanismo expuesto en un mecanismo manivela-corredera, intercambiando el ba-

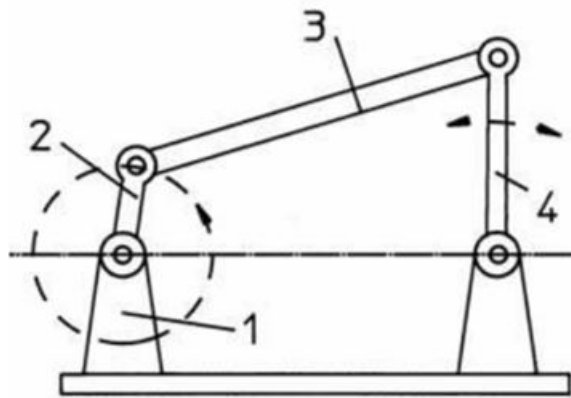


Figura 1: Mecanismo manivela-balancín [5]

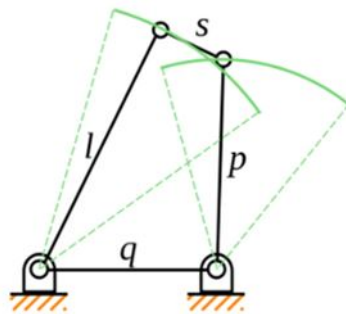


Figura 2: Cálculo de Grashof para mecanismos [6]

lancín por un deslizador que pivote respecto al punto en donde el balancín estaría conectado a tierra. Esta modificación puede ser visualizada en la imagen a continuación.

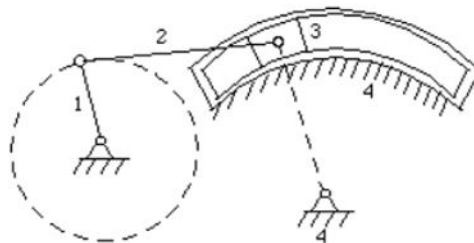


Figura 3: Mecanismo manivela-corredera [7]

Se puede deducir que mientras mayor sea la distancia entre este pivote y el deslizador, se tendrá una longitud de arco que formaría parte de un círculo de mayor radio, y la limitación que provee la manivela causará que este segmento se vea cada vez más parecido a una línea recta. [8] Colocando el pivote en un punto infinitamente alejado, se tiene la transformación de un mecanismo manivela-balancín de Grashof hacia un mecanismo manivela-corredera de Grashof, ilustrado de manera clara en la siguiente figura.

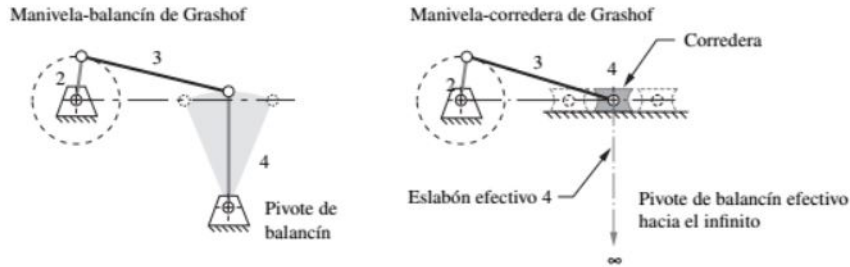


Figura 4: Transformación manivela-balancín a manivela-corredera de Grashof [9]

El eslabonamiento producido posee el mismo grado de libertad que el mecanismo manivela-balancín de Grashof, debido a que la transformación de una junta revoluta a una junta prismática no modifica la condición de Gruebler para movilidad de un eslabonamiento. [9] Otro dato de interés es que la alineación entre el pivote de la manivela y el eje de movimiento del deslizador causa que el rango de desplazamiento total de este sea de dos veces el largo de la manivela, ya que los extremos de este rango concordarán con las posiciones donde la manivela se alinea con este eje de movimiento.

6.2. Sistema de aspersión

6.2.1. Tipos de bombas hidráulicas

Existen dos principales clasificaciones según su funcionamiento para las bombas hidráulicas, que desplazan fluidos a través de accionamiento mecánico: bombas volumétricas y bombas rotodinámicas. En esta primera se tienen todos los dispositivos que generan un aumento de presión empleando variaciones de volumen en las cámaras donde se desplazan los fluidos, y hay distintos mecanismos que se usan para producir este efecto hidrostático. En la segunda clasificación se tienen las bombas que emplean principios hidrodinámicos para realizar el desplazamiento de fluidos, aplicando intercambios de momento entre la máquina y el fluido. Se entrará en detalle en la clasificación de bombas volumétricas de desplazamiento positivo, ya que se emplearon estos principios para elaborar el diseño del sistema de aspersión de este proyecto. A continuación se describirán las cuatro principales bombas hidráulicas que fueron investigadas para su construcción.

Cabe destacar que las bombas de desplazamiento positivo poseen una cavidad que se expande para succionar el fluido, y una cavidad que se comprime para expulsarlo, y este principio se aplica para todos los mecanismos que se expondrán.

Bombas de engranajes

Las bombas de engranajes desplazan los fluidos en una cámara al comprimir un volumen fijo mediante el movimiento constante de una pareja de engranajes. Esto provee la capacidad de transmitir un flujo continuo y proporcional a la velocidad de giro de estos. Sin embargo, se necesita que los componentes creen un sellado entre el elemento que rota y el interior de la cámara para poder crear succión en la entrada de la bomba y así poder desplazar el fluido a la salida con cierta velocidad. Se puede tener un diseño interno o un diseño externo, como se muestra en la figura a continuación.

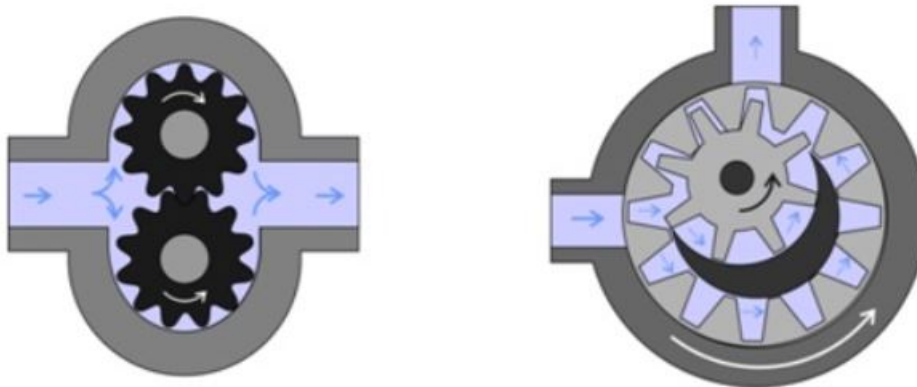


Figura 5: Bomba de engranajes [10]

En el primer caso se tiene una pareja de engranajes idénticos fijados a ejes distintos, generalmente uno es impulsado por un motor y el otro es dirigido por este movimiento creado. Se debe tener una tolerancia reducida entre los engranajes para poder crear succión en la entrada y que no exista filtración de regreso a esta parte. En el segundo caso, se tiene un engranaje en el interior de otro engranaje de mayor tamaño, y este último es impulsado para crear el movimiento. Debido a que el engranaje interno no estará centrado al engranaje mayor en todo momento, se debe tener un diseño muy preciso para que el movimiento sea continuo y presente fluidez. [10]

Las ventajas de este tipo de bombas hidráulicas son su reducido tamaño y limitado número de partes móviles, y además son adecuadas para bombear aceites y otros líquidos de altas viscosidades. La presiones que manejan pueden no ser tan altas como las de otros tipos de bombas, pero sí pueden llegar a un valores considerables sin problemas (200 bar o 20,000 kPa), por lo que sus aplicaciones varían desde la industria automotriz hasta el levantamiento de maquinaria pesada. Un dato de vital

importancia es que debe existir lubricación entre los engranajes para que funcionen de manera eficiente y sin dañarse.

Bombas de tornillo

Las bombas hidráulicas de tornillo emplean un tornillo que se entrelaza con una cavidad, donde se ingresa el fluido que se busca desplazar. A medida que el tornillo ingresa a la cavidad, el fluido adquiere presión mientras se mueve a través de esta. Este tipo de bombas se clasifican por el número de tornillos que emplean, pues se puede tener hasta cinco tornillos entrelazados en cierta configuración para desplazar el fluido. En la figura a continuación se muestra una bomba de dos tornillos, que están conectados mediante una pareja de engranajes que transmite el movimiento hacia el tornillo que no está siendo impulsado por un motor.

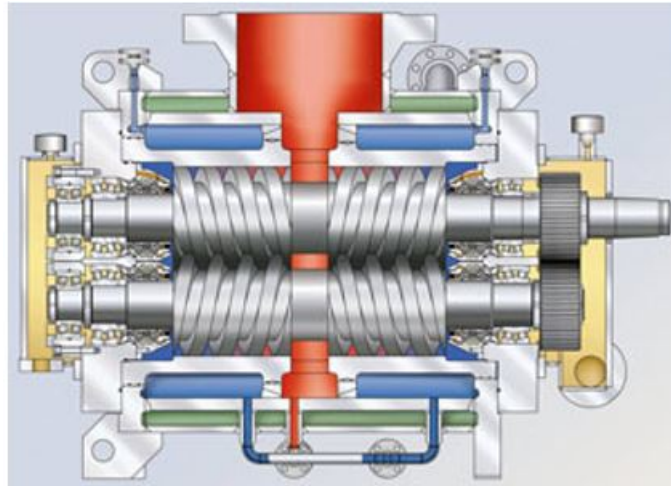


Figura 6: Bomba de tornillo [11]

Dependiendo del tamaño de la bomba, se pueden tener flujo volumétrico muy elevado utilizando bombas de tornillo, y pueden llegar a presiones elevadas (hasta 300 bar o 30,000 kPa). Entre las bombas hidráulicas mencionadas, el caudal más alto que puede llegar a manejarse se tiene en este tipo de bomba, aunque cabe mencionar que el flujo puede no ser continuo, ya que las ranuras de los tornillos pueden producir seccionamiento en el flujo. Una desventaja que presentan es la complejidad de su constitución (exceptuando las bombas de un solo tornillo) debido a que requieren un alto grado de mantenimiento para sus componentes. [12]

Bombas de lóbulo

Las bombas de lóbulo emplean un principio similar a las bombas de engranajes, pero con una distinta forma en sus elementos rotatorios. Se tiene dos lóbulos (cuya forma puede verse en la figura mostrada) que entran en contacto y crean un vacío

en su entrada, creando succión en el fluido, y se produce un desplazamiento hacia su salida debido al incremento en la presión del fluido en el lado donde este se descarga. [13] Debido a la forma de los lóbulos, la dirección de funcionamiento de la bomba puede ser fácilmente cambiado, haciendo que estos giren en el otro sentido.



Figura 7: Bomba de lóbulos [14]

Entre las ventajas de las bombas de lóbulos se tiene que las partículas presentes en un fluido que se bombea pueden llegar a tener grandes áreas sin presentar un problema para los mecanismos. Cabe destacar también que no se presenta un contacto entre superficies metálicas, y que el flujo de salida no es pulsatorio. También se puede manejar líquidos de baja viscosidad, pero con una elevación reducida para el fluido. Una desventaja es la necesidad de dos sellos para la operación adecuada de los lóbulos, y también de una caja de reducción para temporizar su movimiento.

Bombas peristálticas

Las bombas peristálticas poseen una diferencia con los demás tipos de bombas mencionados anteriormente debido a que requieren una manguera de características específicas para operar. Estas bombas impulsan el fluido contenido en una manguera al comprimir y relajar ciertas secciones de esta utilizando una serie de rodillos que se mueven sobre un eje, como se puede ver en la figura a continuación. La contracción continua de la manguera produce un incremento en la presión a la que se expone el fluido, y este se desplaza en la dirección deseada, sin necesidad de accionar ninguna válvula. Sin embargo, los fluidos son expulsados de la bomba de manera pulsatoria, no continua, debido al movimiento de los rodillos.

Se tienen ciertas ventajas y desventajas de emplear este tipo de bombas. Se considera útil que no exista un contacto directo entre el líquido y los componentes de la bomba, pues no hay forma de que estos contaminen o modifiquen la composición del fluido. Otra ventaja es que no se requieren sellos o empaquetado en estos componentes, por el hecho mismo de que el fluido siempre permanece en la manguera. Por otro lado, los componentes en estas bombas tienen una vida útil reducida, ya que

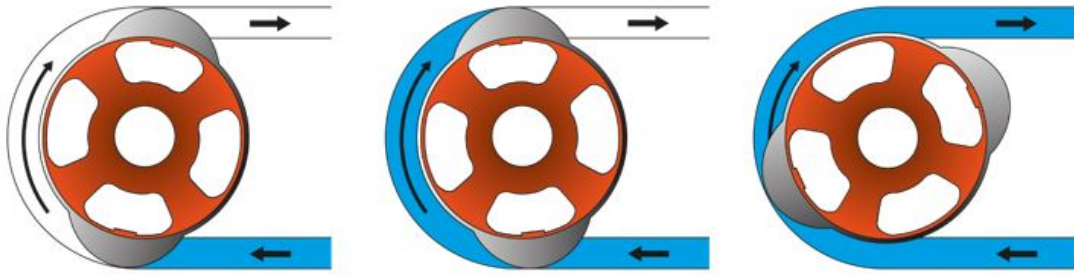


Figura 8: Bomba peristáltica [15]

la manguera se deteriora con el tiempo por el esfuerzo que le imponen los rodillos. Otra desventaja es que las presiones y caudales manejados son menores que los de los demás tipos de bombas (algunas pueden llegar solamente a presiones de 1500 kPa). [15]

Definición de la estructura principal

7.1. Investigación de la problemática y visita de campo

El primer paso realizado para elaborar el proyecto fue una investigación preliminar acerca de los dispositivos en los que se enfoca el trabajo de limpieza. Se investigó el problema general que se tiene en su limpieza, y se determinó la problemática existente mediante observaciones realizadas a distintos usuarios de los calentadores portátiles que se pudieron encontrar en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala. De esta manera se obtuvo una visión sobre el producto, su funcionamiento y las complicaciones que puede presentar debido a la naturaleza de su uso. También se determinó que existen actualmente tres modelos distintos de calentadores portátiles, cada uno con características físicas específicas y piezas distintas que se ensucian de acuerdo a la regularidad con la que son utilizadas.

Se realizó una visita de campo a las instalaciones en donde se distribuyen los calentadores portátiles en todos sus modelos, con el objetivo de obtener una visión de la problemática desde el punto de vista de la compañía en la que son manufacturados. Se recibió la perspectiva de los encargados del puesto de distribución acerca de la problemática que rodea la limpieza de los distintos calentadores disponibles, y la solución que ellos buscaban cumplir con el dispositivo automatizado. Mediante esta visita se determinó que la empresa estarían interesados en realizar una limpieza simultánea de las piezas principales de los tres modelos que se venden actualmente, lo cual producía un máximo de seis componentes para limpiar en un solo ciclo de trabajo del dispositivo. Cada uno de los modelos cuenta con una varilla principal, en donde se encuentra la lámina de calentamiento del tabaco, y un cobertor para estas, que está compuesto de una estructura plástica que se inserta en la varilla. Con

esta información se elaboró el listado de requerimientos que se debían cumplir en un prototipo final de la máquina construida, y además se estableció un tamaño estimado que se considerará óptimo.

7.2. Definición del espacio dimensional del dispositivo

El primer paso en el proceso de diseño fue utilizar el espacio delimitado que se estableció como área máxima para elaborar una simulación de la estructura del dispositivo. Se inició con una simulación simple en Autodesk Inventor que permitiera visualizar el área de trabajo donde serían colocados los distintos mecanismos y actuadores necesarios para realizar la limpieza, y con una simulación de las dimensiones externas de un dispositivo calentador de tabaco. Se plantearon dimensiones máximas de 254 x 152.4 x 127 milímetros, correspondientes al área establecida y a una altura que fue escogida y se estimó como apropiada para las fases preliminares de diseño. De esta manera, se podría definir con mejor exactitud qué tamaño máximo podrían tener ciertos componentes dentro de la estructura. Como se puede notar en la siguiente imagen, se elaboró una simulación 3D de uno de los dispositivos buscando tener similitud con las dimensiones reales de este, y se delimitó el área especificada para poder observar la distribución espacial que se tenía como objetivo.

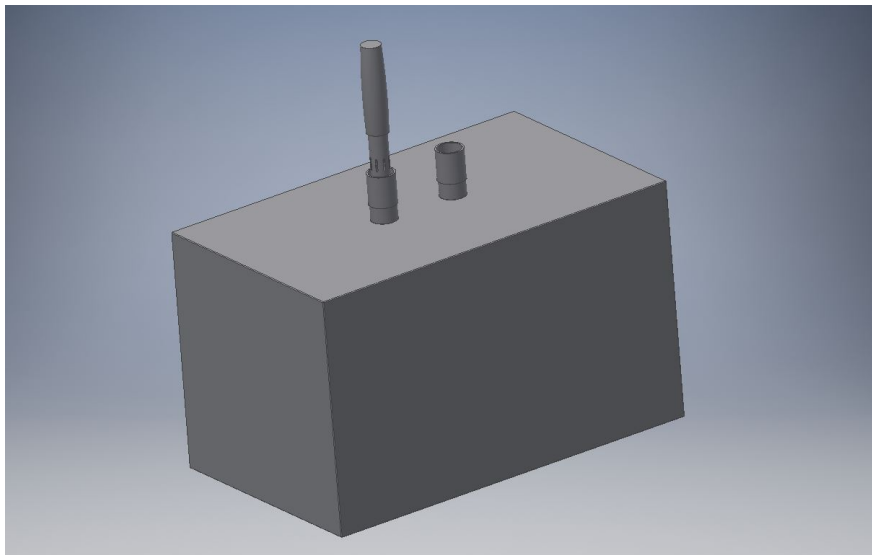


Figura 9: Simulación del calentador portátil con el volumen final del dispositivo

A partir de esta simulación se empezaron las consideraciones de cómo estaría seccionado el dispositivo, en dónde se colocaría cada una de las piezas que se debe limpiar y cómo sería el proceso de limpieza desde el punto de vista del operario. Debido a que existía un número considerable de piezas que se deberían limpiar simultáneamente, se llegó a la idea de seccionar el área de trabajo empleando un marco estructural que permitiera visualizar tanto el espacio interior del dispositivo como las ubicaciones donde se colocaría cada uno de los componentes. Esto llevó a la siguiente etapa del

diseño de la estructura, habiendo establecido que el volumen donde se colocarían los calentadores de tabaco parecía ser óptimo y era factible la colocación de distintos actuadores y mecanismos en este.

7.3. Diseño del marco estructural

Se inició el diseño del marco elaborando bosquejos de un conjunto de superficies que compusieran al volumen especificado anteriormente y que tuvieran una geometría que permitiera visualizar en dónde se colocarían las piezas a limpiar. Estas referencias serían de vital importancia para establecer los actuadores necesarios para elaborar el proyecto, al igual que las dimensiones de los mecanismos que se podrían utilizar para posicionarlos durante el proceso de limpieza.

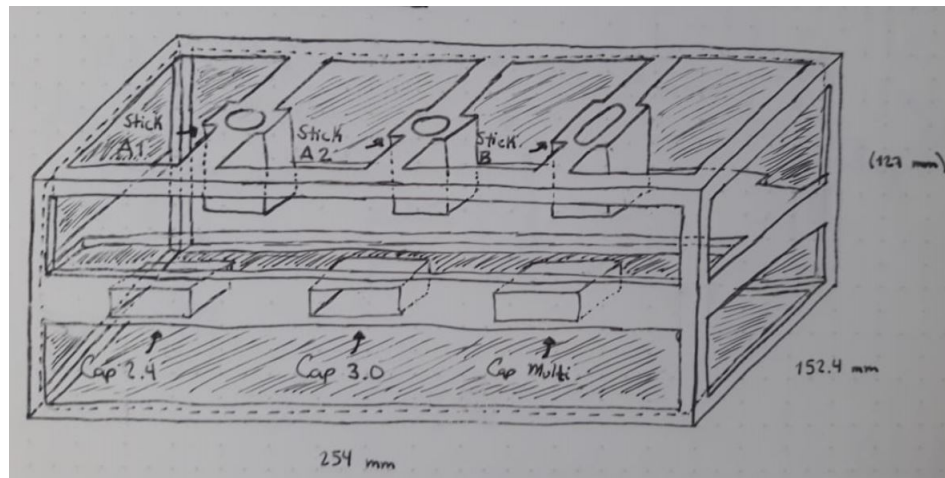


Figura 10: Bosquejo del marco estructural

La idea de realizar un marco estructural resultó en una mayor organización de las secciones en donde se colocaría cada pieza que fuera a ser limpiada y una mejor visualización del espacio disponible. La primera iteración del diseño estructural se ideó de manera que se pudiera colocar las varillas principales del calentador en la parte superior del dispositivo, ya que el largo de estas dificultaría colocarlas en posición horizontal y realizar la limpieza sin dañar la lámina de calentamiento. Bajo este razonamiento se diseñó la parte superior del marco estructural de manera que pudiera sostener tres calentadores portátiles, de distintas dimensiones previamente especificadas, para su limpieza simultánea. A continuación se muestra la simulación 3D de esta pieza y las dimensiones en milímetros especificados para elaborarla.

7.3.1. Primera iteración

La geometría que se decidió tener para la superficie en la que se colocan los calentadores se escogió teniendo en mente que el dispositivo deberá tener cierto mante-

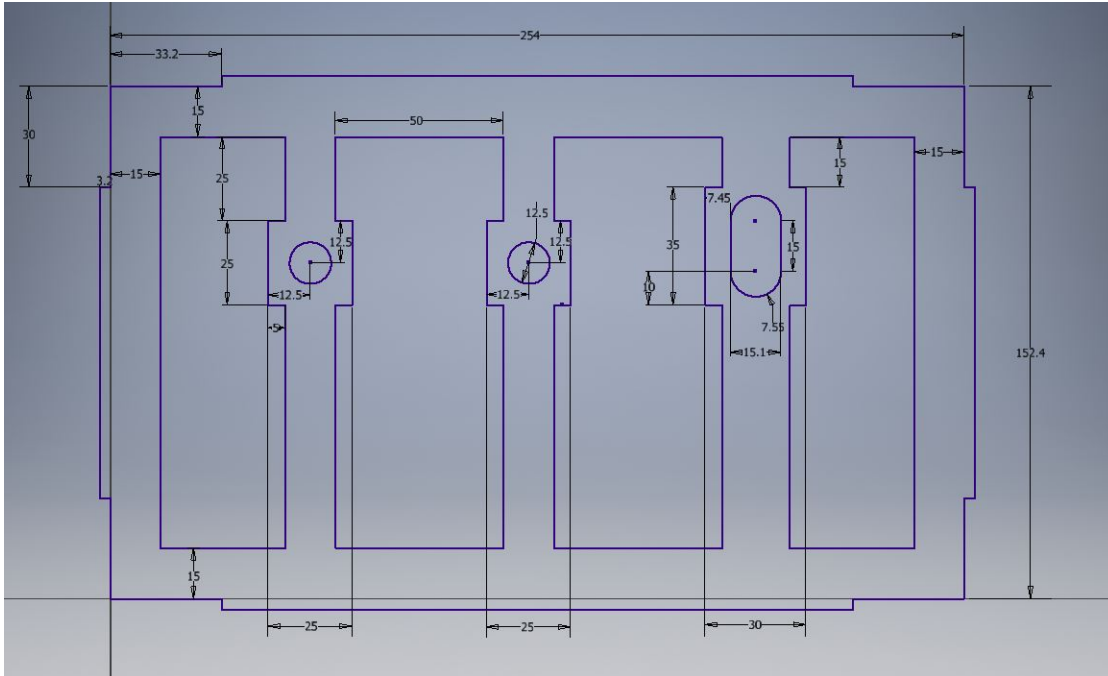


Figura 11: Dimensionamiento de pieza superior del marco estructural

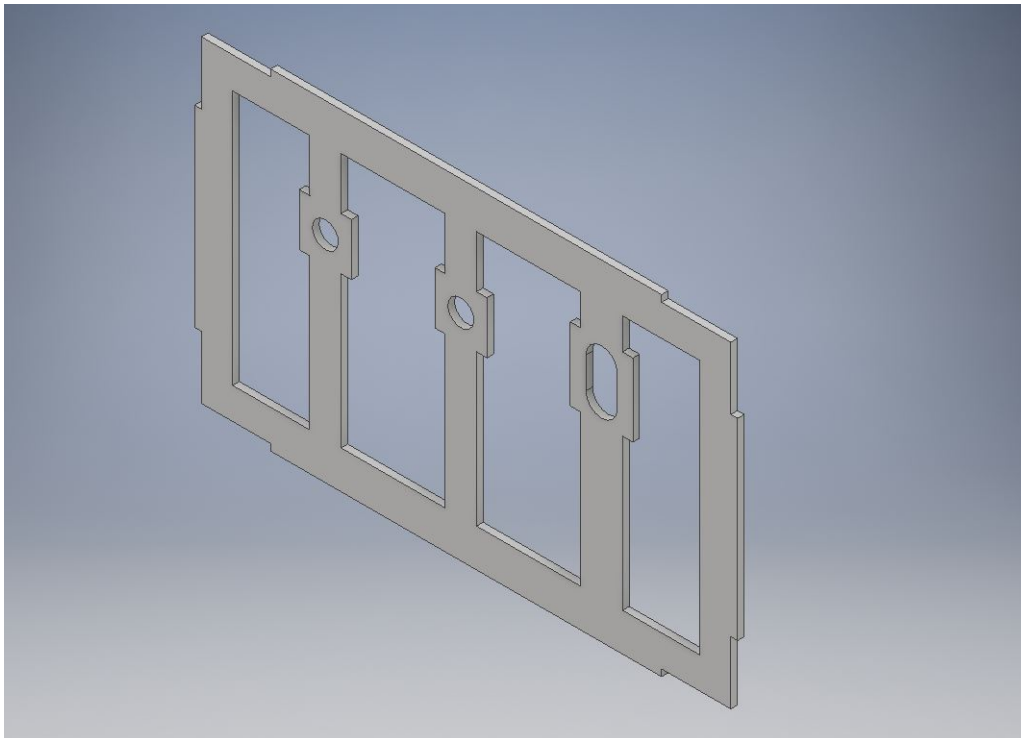


Figura 12: Simulación 3D de pieza superior del marco estructural

nimiento en los elementos que se desgastan, o bien si existiera un fallo en alguno de los actuadores o demás componentes. Se mantuvo el espaciado que se ve entre los calentadores para luego poder idear el funcionamiento de las compuerta que permitirán darle mantenimiento al interior del dispositivo.

Seguidamente se procedió a diseñar la superficie que compondría la parte frontal del limpiador, ya que se estableció que este sería el espacio adecuado para poder limpiar los elementos que recubren al calentador portátil. Ya que estos se componen solamente de plástico y otros materiales resistentes, no se requeriría diseñar mecanismos de alta precisión que buscaran la protección de los elementos frágiles del calentador, como es en el caso del tubo principal. Para la primera iteración de diseño, se ideó un compartimiento rectangular en donde se pudiera colocar la pieza y esta fuera asegurada a presión por un simple gancho de dimensiones previamente calculadas. El bosquejo de este compartimiento se muestra en la siguiente figura.

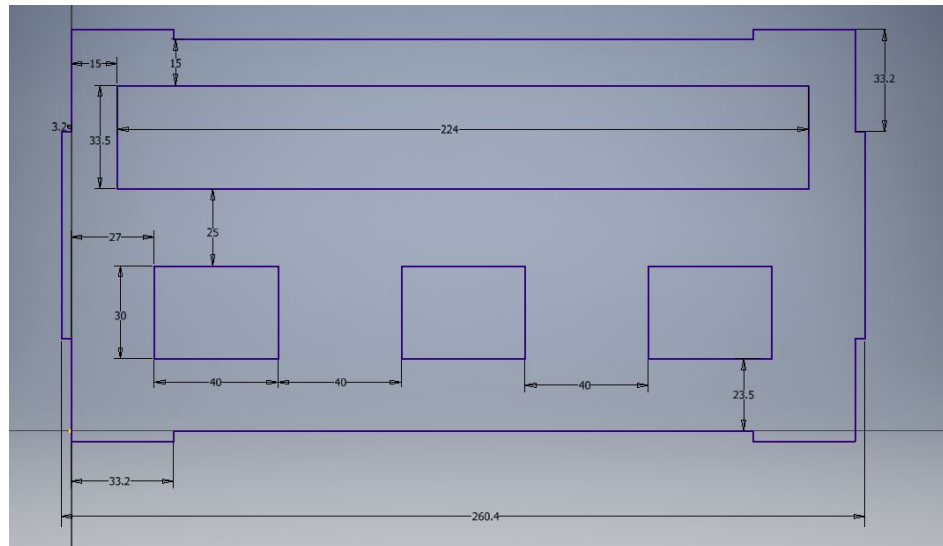


Figura 13: Dimensionamiento de pieza frontal del marco estructural

Después de realizar estas dos piezas principales, se procedió a elaborar el resto de superficies que compondrían al marco estructural, de manera que se delimitara el volumen específico para el proyecto. Además, se diseñó una división horizontal en la que se podrían posicionar más fácilmente los componentes que buscan limpiar la lámina de calentamiento, y que serviría de soporte para cualquier componente o mecanismo adicional empleado en esta limpieza. El resultado final que se definió para la primera iteración de la estructura donde se colocarían los actuadores y mecanismos se puede ver en las figuras siguientes.

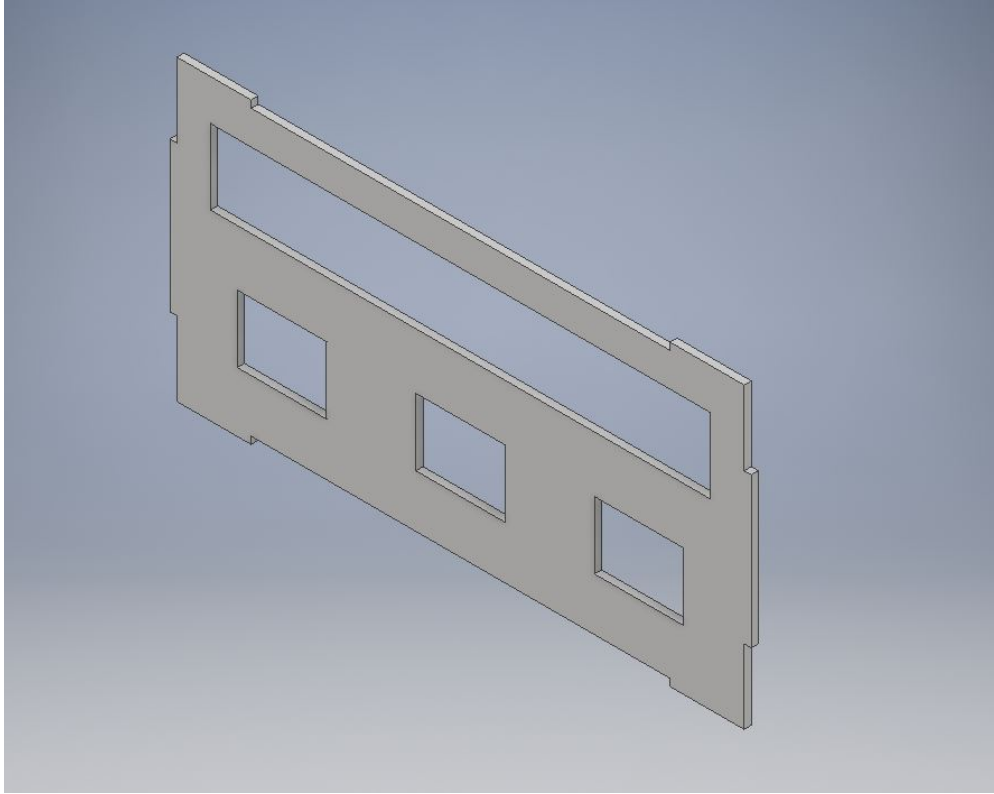


Figura 14: Simulación 3D de pieza frontal del marco estructural

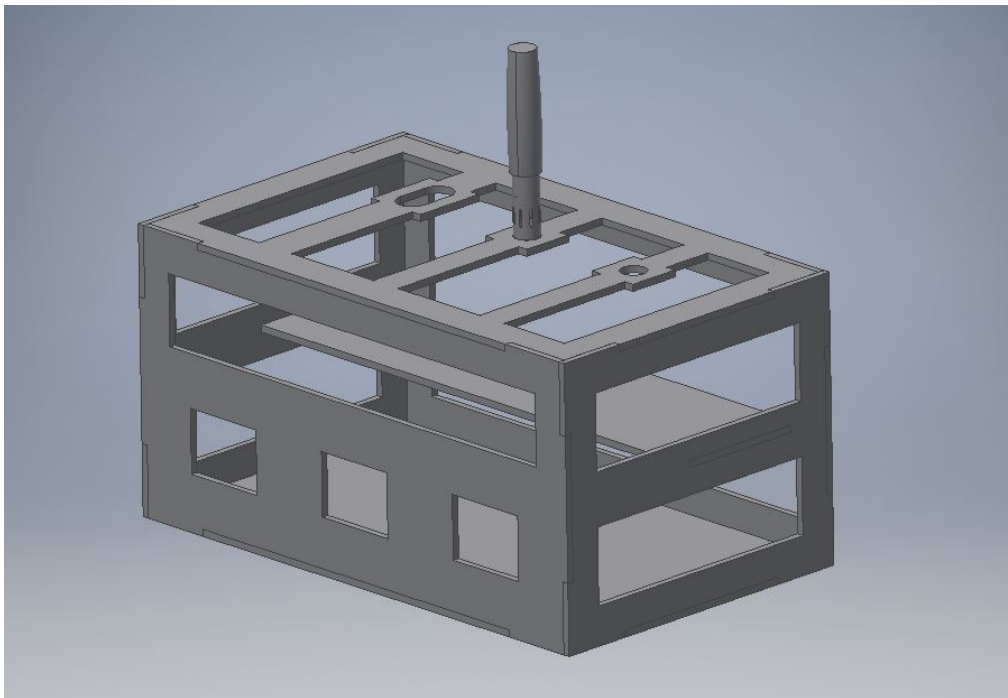


Figura 15: Vista frontal de marco estructural

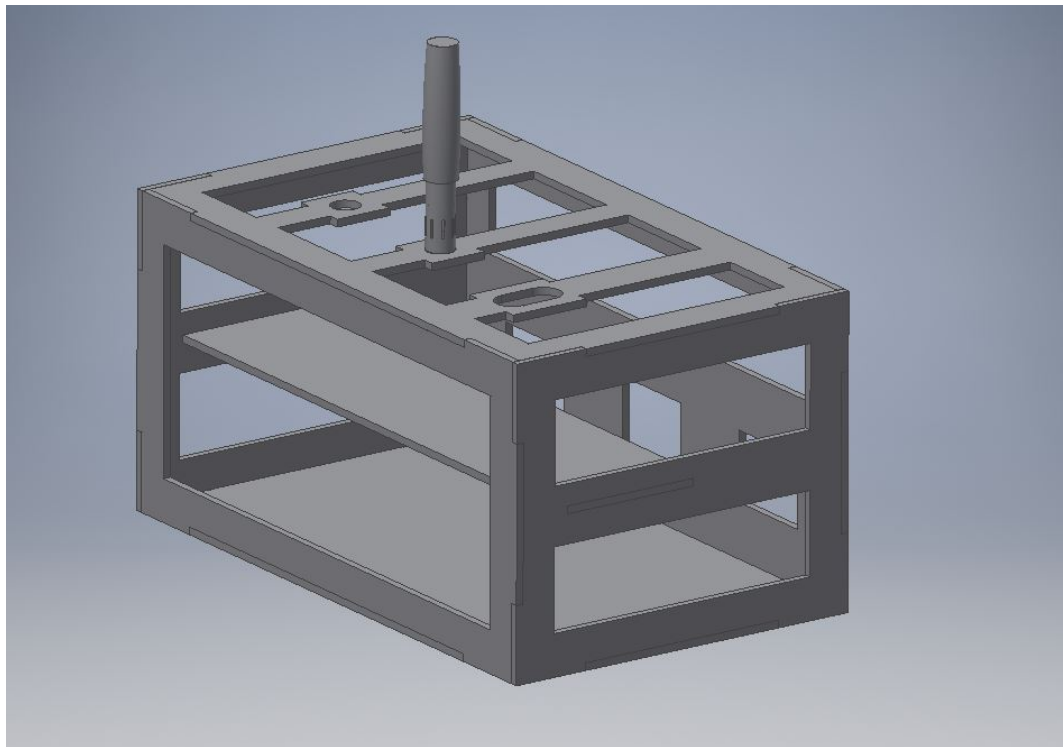


Figura 16: Vista posterior de marco estructural

7.3.2. Segunda iteración

A medida que se avanzó con el dispositivo se presentó una modificación en los requerimientos del dispositivo, por razones ajenas al desarrollo del proyecto. Se modificaron los objetivos y los recursos a disposición, y esto llevó a que el enfoque radicara en la construcción de un dispositivo de limpieza solamente para el IQOS 2.4. Se produjo la segunda iteración para el marco estructural, que se presenta en las figuras a continuación.

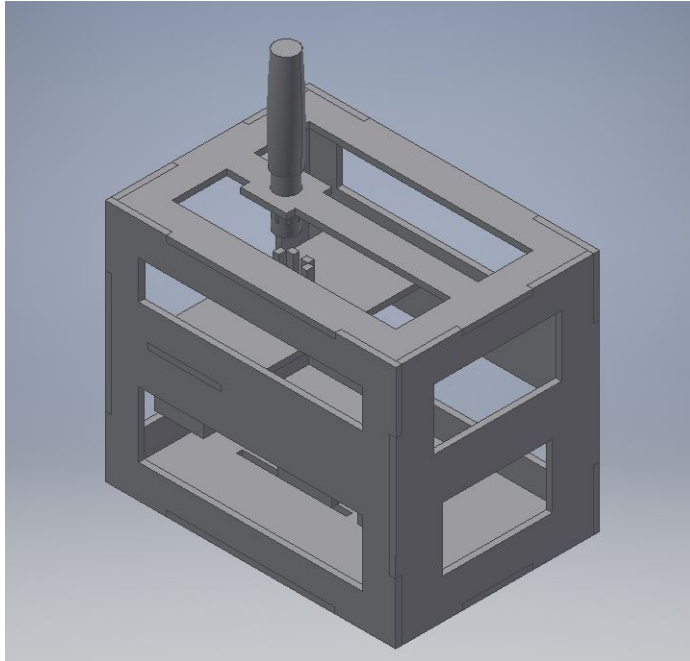


Figura 17: Segunda iteración de marco estructural

En esta versión se redujeron las dimensiones del dispositivo para albergar los componentes necesarios para la limpieza de la varilla y el cobertor del IQOS 2.4. Se le agregó un soporte para colocar el motor DC que limpiaría la varilla y también soportes para un servo y para el riel de deslizamiento del mecanismo de posicionamiento que será detallado más adelante. La colocación del soporte para el servo se realizó mediante una ranura a lo largo de la parte inferior del marco, para poder encontrar la posición adecuada en base a las dimensiones finales elaboradas en la impresión del mecanismo de posicionamiento. Además se agregó un soporte para la varilla del IQOS, colocando aros de MDF de 3.2 mm en la boquilla del dispositivo e imprimiendo en 3D una pieza para sostener el resto del producto. Se puede observar el resultado de esta iteración, con el mecanismo de posicionamiento colocado óptimamente, en las siguientes figuras.

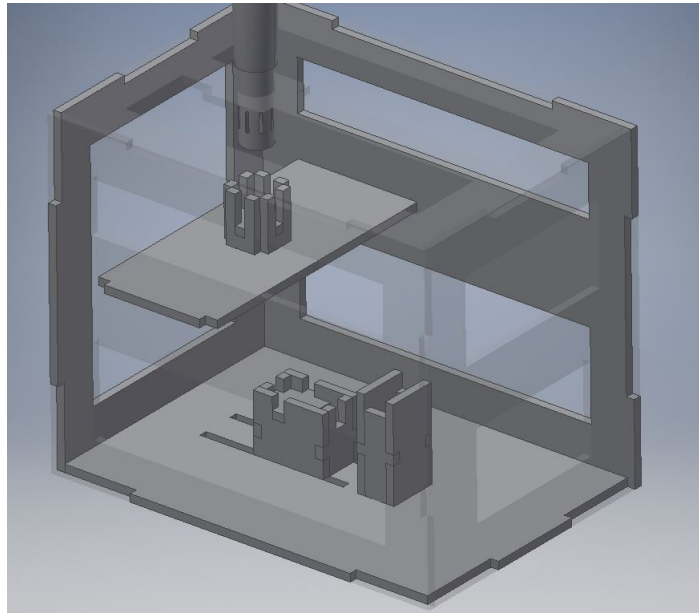


Figura 18: Vista interior de segunda iteración de marco estructural

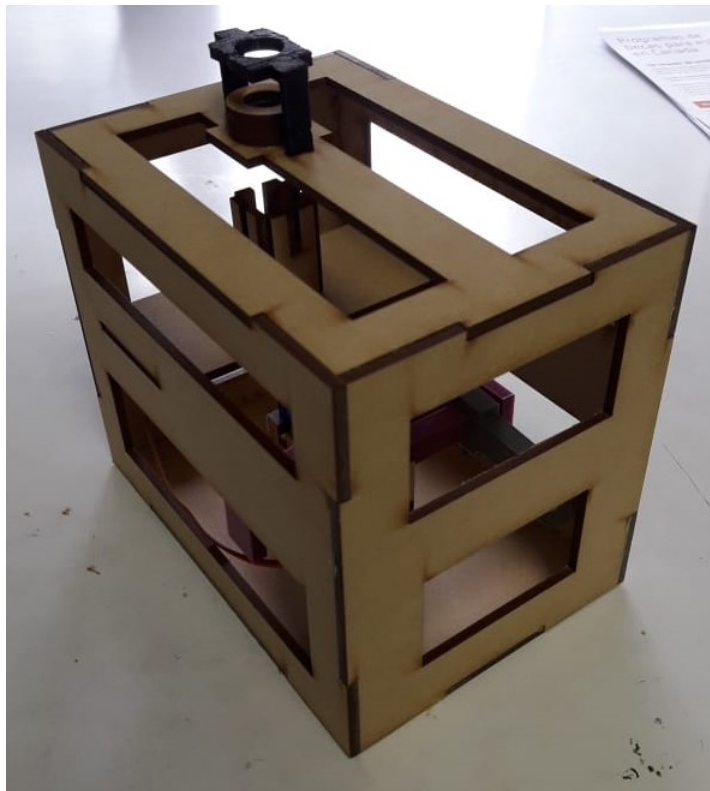


Figura 19: Marco estructural construido con MDF de 3.2 mm

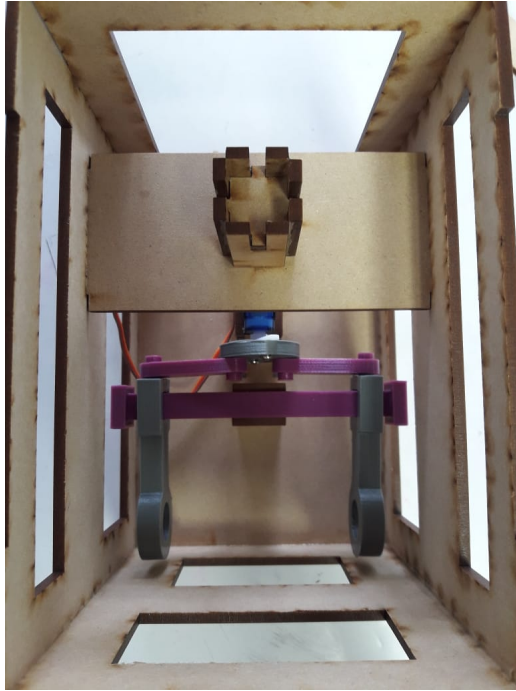


Figura 20: Vista interior del marco

7.3.3. Tercera iteración

Una vez se diseñó este mecanismo se validó la estructura del marco en su segunda iteración, pues las dimensiones que ocupaba y la disponibilidad de espacio interno para los componentes resultó ser adecuada. Con esta validación se procedió a diseñar una tercera iteración del marco estructural que pudiera posicionar efectivamente el sistema de aspersión para el agente de limpieza, que presentara dimensiones fijas para el mecanismo de posicionamiento, y que tuviera capacidad para un soporte que mantuviera a la varilla del IQOS en su posición durante el proceso de limpieza.

Estos tres aspectos mencionados se cumplieron en el diseño para la siguiente versión del marco estructural, que presenta los siguientes cambios respecto al diseño anterior:

- Se modificó la parte superior del marco para tener acceso al tanque rellenable para el agente de limpieza y se agregaron ranuras para colocar componentes de guía para mantener la varilla del IQOS en su posición durante la limpieza. También se reestructuró la forma del soporte para la varilla, de manera que se tuviera un espacio para poder colocar un panel de control para que cualquier usuario pudiera activar el dispositivo y revisar el estado actual de los componentes.
- Se modificaron las piezas laterales y la pieza posterior del marco para poder sostener el tanque rellenable y la bomba peristáltica, como se puede ver en las figuras.

- Se intercambió la ranura en la parte inferior por agujeros donde los soportes encajaran y mantuvieran una distancia fija entre las piezas del mecanismo de posicionamiento. Para definir este espaciado se realizaron varias medidas de la colocación adecuada de los soportes del mecanismo, y se replicó esta distancia exacta en la nueva pieza del marco.
- Se rediseñó el soporte para el servo, de manera que se pudiera elaborar con impresión 3D en lugar de corte láser y obtener un mejor acabado final.
- Se diseñó un nuevo soporte para el motor DC que se utilizaría para controlar la bomba peristáltica y se modificó el soporte existente para el motor de limpieza para la varilla, debido a que se observó en la iteración previa que el espacio proveído no sería suficiente para incorporar el cepillo de limpieza.
- Se agregó un soporte para incorporar una pieza que pueda sostener el cobertor del IQOS de manera segura durante la limpieza, y que permita colocar y remover este de manera sencilla.

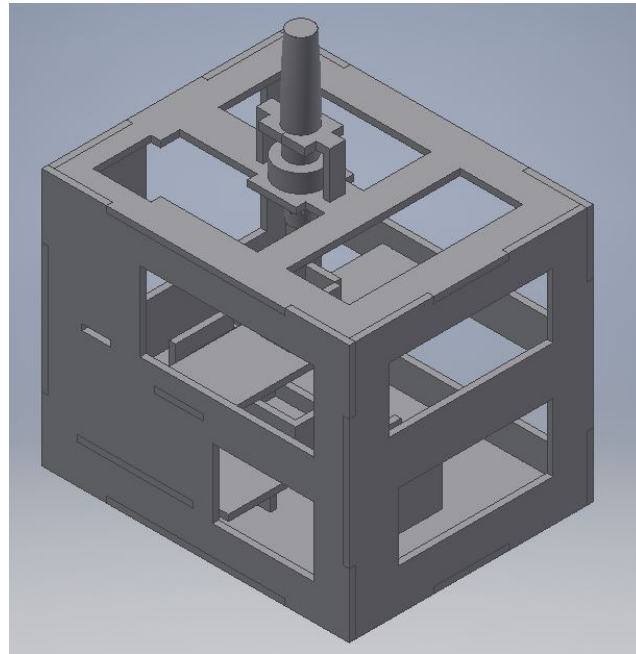


Figura 21: Simulación de la tercera iteración de marco estructural

Con estos cambios se tuvo un resultado en el que se podría realizar pruebas con la bomba hidráulica y con el mecanismo de posicionamiento de manera conjunta, y se pudo dimensionar el espacio en el interior del dispositivo que se requeriría para el sistema de aspersión, que sería el último componente mecánico que faltaba incluir. Este propósito se pudo validar realizando pruebas con la bomba mediante operación manual, verificando que la ubicación que se le dio a esta fuera adecuada y se pudiera suministrar el líquido de limpieza a donde se ubicarían los motores DC que tendrían los cepillos. También se pudo observar que la colocación del mecanismo de posicionamiento y el sistema de aspersión era adecuada, salvo por el hecho de que existía un

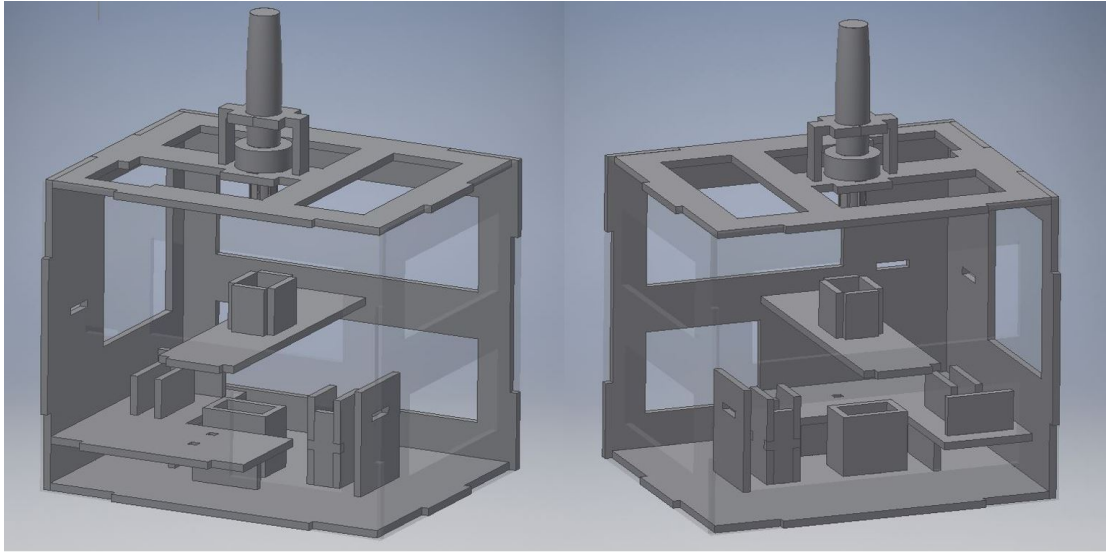


Figura 22: Vista interior de la simulación

espacio mínimo entre los deslizadores del mecanismo y el interior del marco estructural, por lo que se debía realizar una modificación a alguno de los componentes para garantizar que el movimiento de estos no se viera obstruido. Los resultados para esta iteración se pueden observar en las siguientes imágenes, elaboradas en MDF de 3.2 mm y con impresiones 3D en PLA, un alto de capa de 0.15 mm.

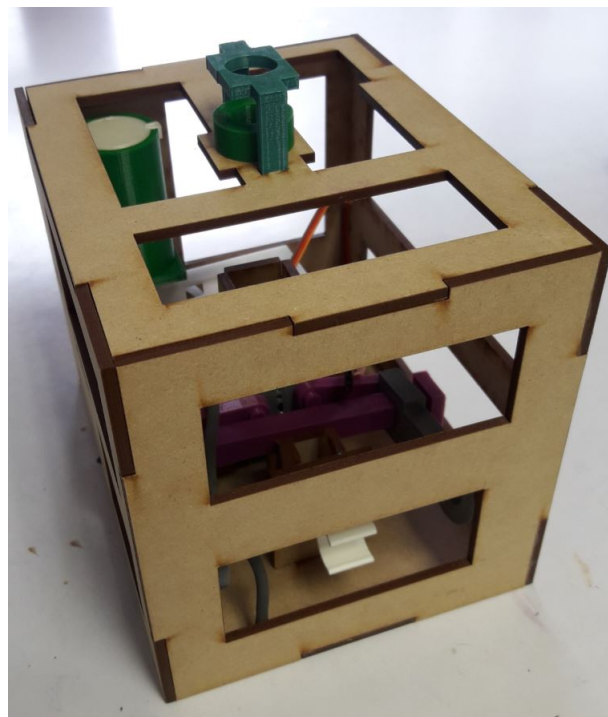


Figura 23: Marco estructural con mecanismo de posicionamiento y sistema de aspersión

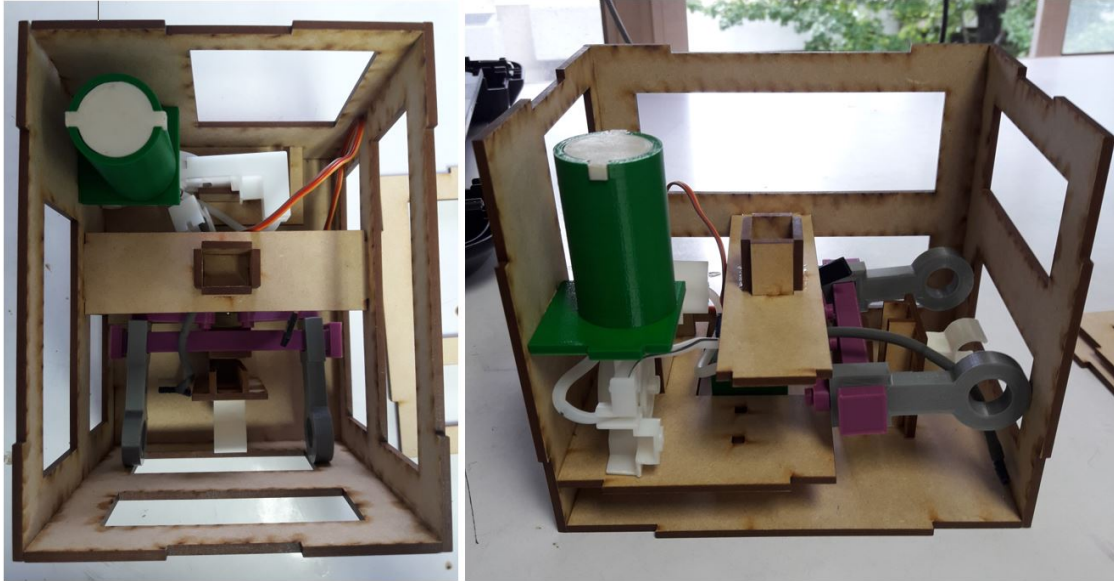


Figura 24: Vista interior de la tercera iteración del dispositivo

7.3.4. Cuarta iteración

Una vez se validó el funcionamiento de los cambios especificados anteriormente, se pudo proceder a realizar pruebas con los componentes de limpieza del proyecto. Después de adquirir un conjunto de motores que se creía serían útiles para cada uno de los sub-módulos se observó que la tercera versión del marco estructural requeriría ciertas modificaciones, debido a que se optó por cambiar los motores de limpieza que serían empleados (la razón de esto se detallará en capítulos próximos). En cuanto a la estructura del dispositivo, se decidió elaborar los siguientes cambios y adiciones en la siguiente iteración del marco:

- Se reemplazó el soporte del riel para el mecanismo de posicionamiento y el soporte que tendría el sujetador para el cobertor del IQOS por una pieza que cumpliera ambas funciones.
- Se modificó el soporte del motor de limpieza para la varilla principal para poder albergar un componente de mayor tamaño, que se seleccionó posterior a las pruebas con los motores inicialmente adquiridos.
- Se diseñó un soporte para un nuevo motor DC de 24 V que impulsaría la bomba hidráulica para suministrar el agente de limpieza, y se modificó el soporte donde este sería colocado para poder insertar este soporte en el marco, haciendo un encaje a presión con la pieza.
- Se corrigió la distancia entre el soporte del servo y del nuevo soporte del riel, en base a mediciones realizadas en el prototipo, para poder tener un espaciado óptimo entre las piezas fabricadas para el mecanismo de posicionamiento.

- Se redefinieron las dimensiones de los agujeros en donde se colocan los soportes antes mencionados, basado en una modificación que se realizó en el mecanismo de posicionamiento.
- Se incluyeron agujeros para las conexiones eléctricas de los cuatro nuevos motores DC y del servo a utilizar en el proyecto (estos no son visibles en la simulación, solamente en las figuras del prototipo ensamblado).

Los cambios listados se validaron al ensamblar esta versión del marco estructural. El mecanismo de posicionamiento llegó a su versión final cuando se pudo ensamblarlo en los agujeros de la pieza inferior del marco, pues se observó que el espaciado entre soportes era ideal y que la distancia a la que el sujetador estaría respecto a la ranura por donde se colocaría el cobertor del IQOS también resultaba óptima al emplear la nueva pieza diseñada para cumplir esta función. También se tuvo una colocación idónea para el motor de limpieza de la varilla del IQOS, y los agujeros para las conexiones eléctricas ayudaron a visualizar la colocación de la circuitería para todos los componentes.

Cabe destacar que algunos de los cambios que se realizaron al sistema de aspersión y al mecanismo de posicionamiento tuvieron un impacto en ciertas dimensiones del marco estructural. Por ejemplo, se tuvo que modificar posteriormente el tamaño del soporte para la bomba hidráulica, debido a que el acople que se diseñó para que el motor DC de 24 V requiera cierta distancia entre la espiga del motor y el rotor de la bomba.

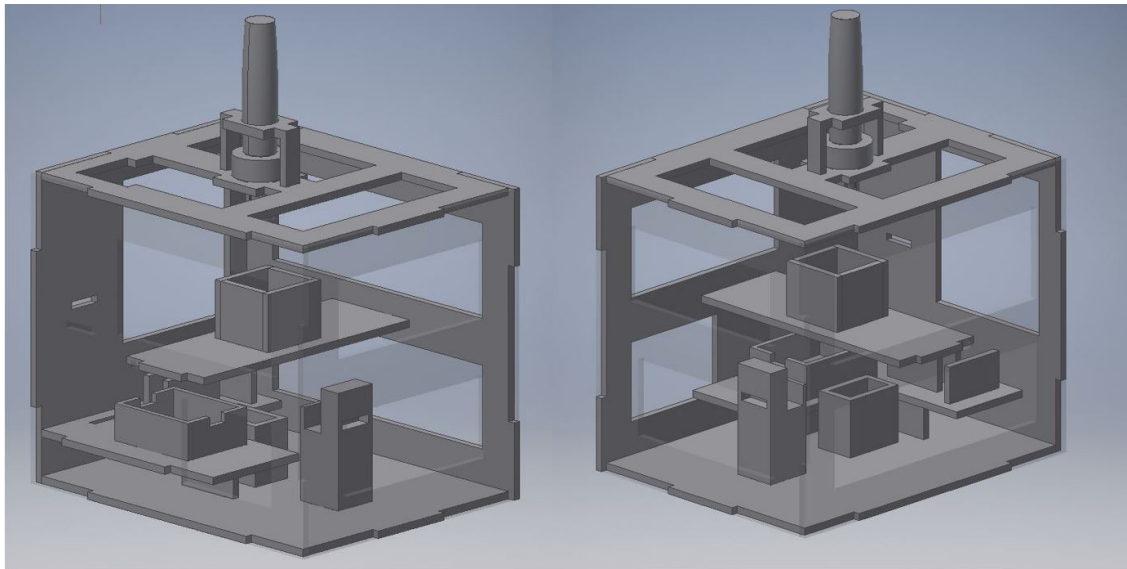


Figura 25: Simulación de la cuarta iteración de marco estructural

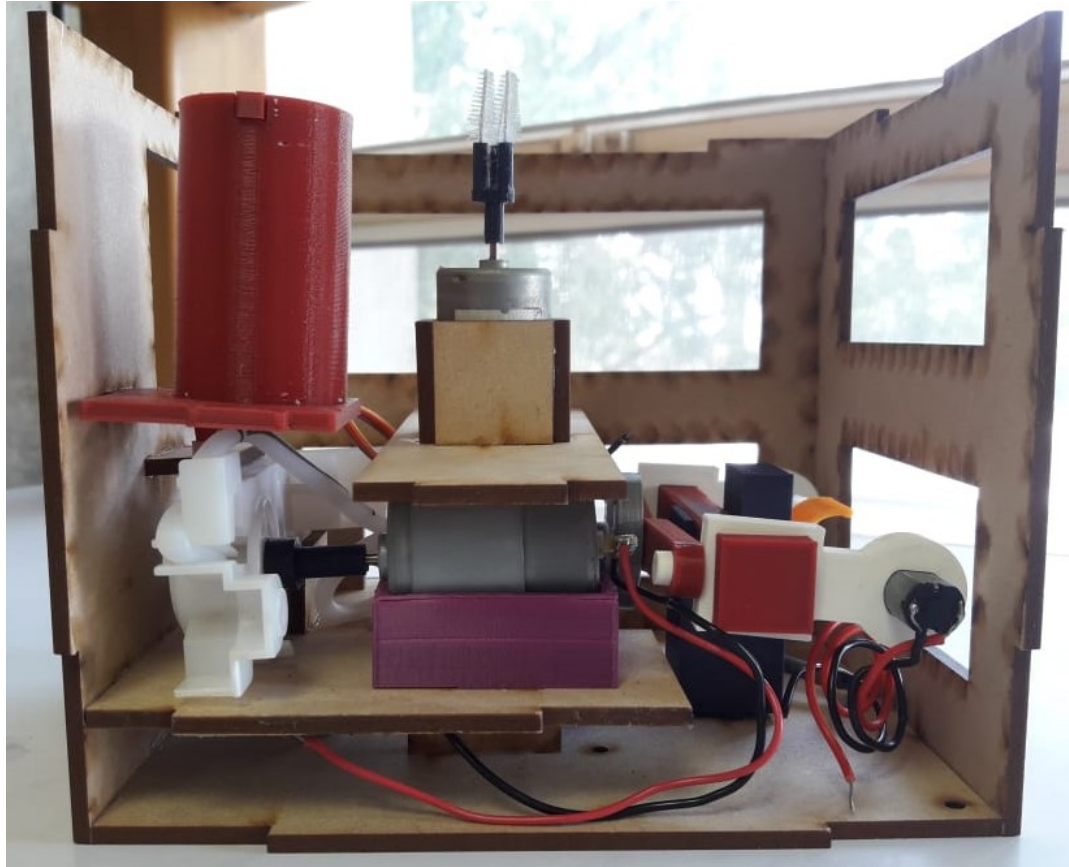


Figura 26: Implementación de cuarta iteración de marco estructural

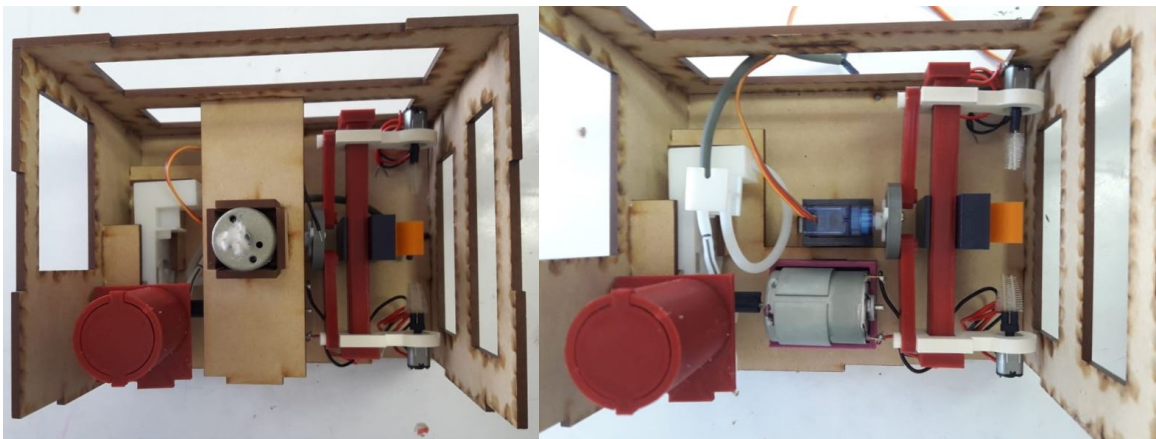


Figura 27: Vista superior con motor para varilla (izquierda) y sin el soporte para este motor (derecha)

7.3.5. Quinta iteración

Estas modificaciones finales se reflejaron en la última iteración del marco estructural, que se realizó considerando tanto el espacio necesario para los componentes que serían empleados en el módulo eléctrico y electrónico del proyecto, como la necesidad de proteger el motor de la varilla principal de salpicaduras. También se adicionaron los soportes necesarios para posicionar las mangueras directamente sobre los cepillos de limpieza. De manera detallada, los cambios finales para el marco fueron los siguientes:

- Se agregó el espacio para los componentes electrónicos, dejando una altura 1.5 cm más alta que el componente de mayor altura en el módulo electrónico. Esto llevó a la necesidad de modificar todas las piezas laterales del marco estructural, y cambiar la pieza inferior para que se pudiera ensamblar en las laterales y soportar el peso de los componentes superiores. Se decidió agregar ranuras en las que pudieran ingresar las pestañas incluidas en la nueva pieza inferior.
- Se agregaron dos soportes adicionales para mantener la bomba hidráulica en su lugar, uno ubicado en la pieza posterior del marco y uno en el soporte donde esta va colocada.
- Se modificó la pieza posterior para también poder albergar un tanque de mayor tamaño que podría aumentar la cantidad de ciclos de limpieza que se podrían tener con el dispositivo. Este tanque fue diseñado e incluido en la simulación del dispositivo final, más no se implementó por falta de tiempo para realizar las impresiones 3D necesarias.
- Se rediseñó el soporte para el motor de limpieza principal, para que a este se le pudiera agregar un protector para el motor y un soporte para la manguera que suministraría el líquido de limpieza para la varilla del IQOS y para ambos cepillos del cobertor.
- Se modificó la pieza superior del marco para albergar una pantalla LCD 16x2 y dos botones para activar la secuencia de inicio del dispositivo.
- Se adicionó una ranura para un interruptor principal y un botón de reinicio para el microcontrolador a la parte inferior de la pieza lateral derecha.

Se ensambló la versión final con MDF de 3.2 mm, como las anteriores, y se tuvo una dedicada atención a la forma en la que estarían ubicadas las mangueras del sistema de asperisón, ya que estas tenían una distancia fija, y obtener más manguera del mismo material con el diámetro interior y exterior exacto complicaría la finalización del prototipo. Se observaron ciertas dificultades a la hora de atravesar los agujeros diseñados con las mangueras debido a las propiedades del silicón con el que se fabricaron, y se ideó una forma más sencilla de hacer un ensamblaje futuro que se discutirá en el capítulo de recomendaciones. Además de esto se elaboró una ranura inicial en la pieza superior del protector para el motor DC principal, debido a que originalmente se consideró que se podría ingresar primero el eje del motor en esta

pieza y luego encajar el acople para los cepillos sobre este. Sin embargo, debido a que el acople funcional (con el que se realizaron las pruebas descritas más adelante) ya estaba colocado en el eje en el momento en el que se ensambló, se optó por crear una ranura con la cortadora láser para ingresar el acople lateralmente, con cierto grado de presión ejercido sobre el MDF para que luego se mantuviera encajado en su lugar.

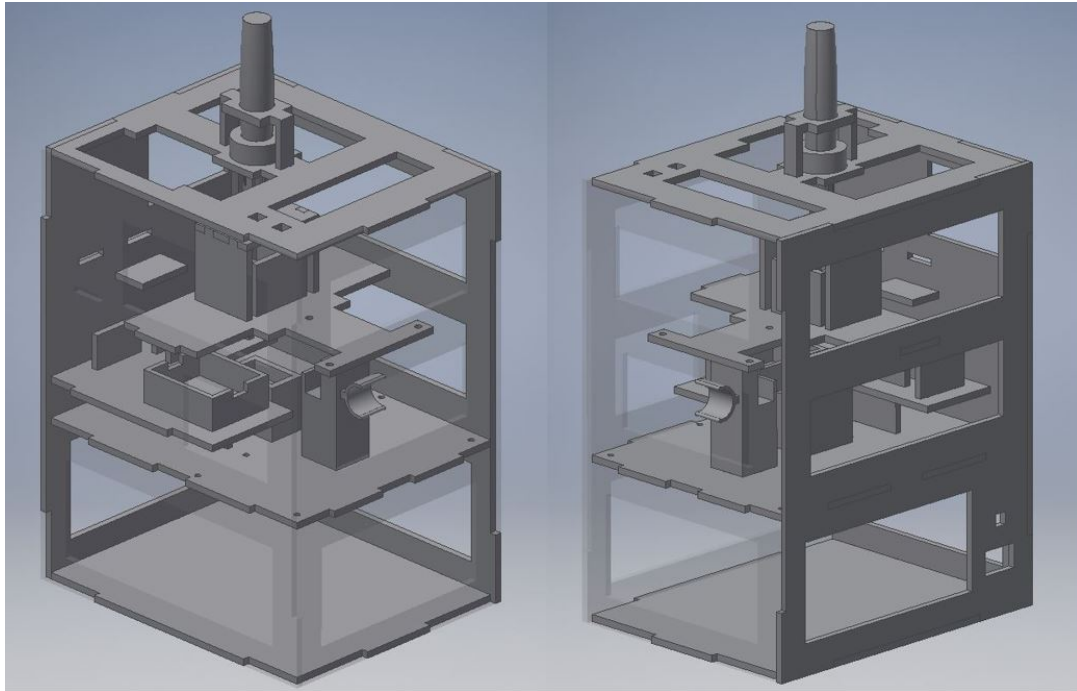


Figura 28: Simulación de la última iteración del marco estructural

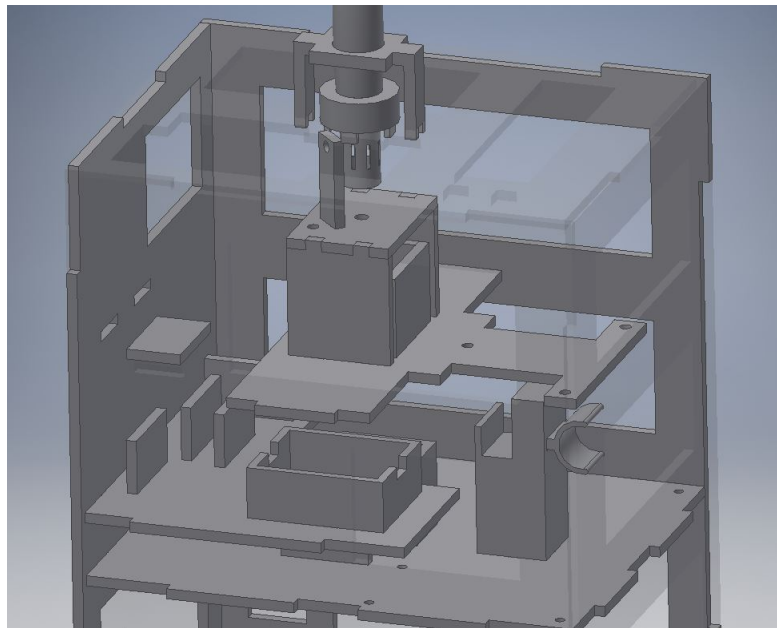


Figura 29: Simulación de soportes para mangueras dentro del marco estructural

Todos los cambios finales sobre las piezas externas se elaboraron con la meta de presentar la estructura con los elementos necesarios para implementar el accionamiento de todos los actuadores mediante la programación de un microcontrolador. Incluso aunque no se realizara la unión de ambos módulos para el ensamblaje de un prototipo final para el proyecto, se tendrían ubicado en el marco al conjunto de elementos electrónicos con los que un operador tendría contacto.



Figura 30: Implementación de iteración final del marco estructural

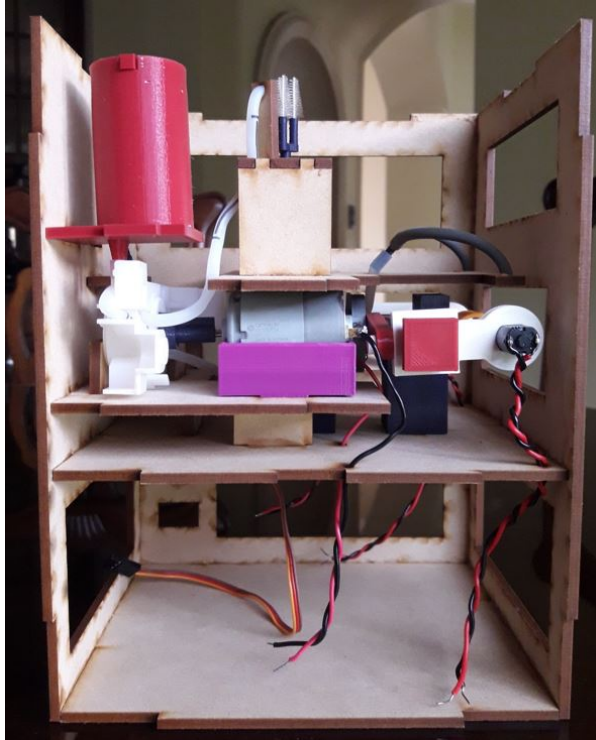


Figura 31: Implementación de quinta iteración final del marco estructural, vista lateral

7.3.6. Resultados de implementación

El diseño final del marco estructural consideró todos los aspectos requeridos para proveer soporte a los submódulos del proyecto, e incluso quedó cierto espacio libre que podría ser optimizado, o utilizado para adición de sensores que describan el estado de algunos de los componentes. Para todas las iteraciones se unieron las piezas con goma blanca, excepto para la última, pues se unieron las piezas con cemento de contacto para garantizar su unión permanente. Respecto a los requerimientos de soporte, se considera que esta adhesión fue suficiente y no produjo ninguna complicación en el ensamblaje. En cuanto al sistema de aspersión se considera que el espacio utilizado para la bomba peristáltica, el tanque, el motor y su respectivo soporte, y los soportes para las mangueras se dimensionaron de la forma más eficiente posible en términos de espacio. El ensamblaje de estos componentes dentro del marco se considera eficaz, ya que los soportes de la bomba permiten su remoción en caso de algún inconveniente, más esta permanece sin ningún movimiento cuando se acciona el motor DC. Lo mismo aplica para el tanque y para el motor, pues su colocación provee el soporte adecuado, y también se pudieron desensamblar sin mayor complicación; solamente se requiere atención dedicada a la forma en la que se coloca el acople para el rotor, pues este encaja de manera que se genera un esfuerzo perpendicular mínimo en la superficie del rotor mientras se coloca el motor en su soporte.

Las dimensiones proveídas en el marco que se establecieron para los soportes del riel de deslizamiento y del servo fueron exactamente los necesarios para la colocación del mecanismo, y también para que se pudiera colocar el cobertor del IQOS en su sujetador de manera cómoda. El único espacio que podría ser optimizado es el que se tiene en la elevación del riel y del servo utilizados, pues se podría reducir esta altura en ambos soportes del mecanismo, así como la ranura por la que se ingresa el cobertor (este detalle se mencionará en las recomendaciones finales del proyecto). La adición de las ranuras para la pantalla LCD y los botones de accionamiento en la parte superior, así como para el interruptor principal y el botón de reinicio para el microcontrolador contribuyeron a la visualización final del prototipo y de la forma en la que un usuario podría interactuar con este, y se considera que este detalle es de importancia si se quisiera llevar el proyecto a una siguiente fase de diseño para elaborar un producto final. A continuación se provee un cuadro de los elementos incluidos en cada iteración del marco estructural, especificando qué componentes fueron incorporados a medida que se progresaba en cada una y la respectiva iteración para el submódulo.

Iteración de marco estructural/ Elementos incluidos	Mecanismo de posicionamiento	Actuador para varilla IQOS	Sistema de aspersion	Mangueras de limpieza	Conexiones eléctricas	Módulo electrónico
1 ^a Iteración	-	-	-	-	-	-
2 ^a Iteración	1 ^a iter.	-	-	-	-	-
3 ^a Iteración	1 ^a iter.	-	1 ^a iter.	-	-	-
4 ^a Iteración	2 ^a iter.	Sí	2 ^a iter.	-	Sí	-
5 ^a Iteración	2 ^a iter.	Sí	2 ^a iter.	Sí	Sí	Sí

Cuadro 1: Comparación de iteraciones del marco estructural, con los componentes implementados.
Fuente: Elaboración propia.

8.1. Ideación de movimiento y principio de operación para múltiples calentadores portátiles

Durante la fase de ideación se elaboraron distintos bosquejos de los posibles mecanismos y actuadores que se podrían emplear para realizar la limpieza de las varillas principales. La utilidad de estas configuraciones radicaba en que se tuviera un solo mecanismo de limpieza para los distintos modelos disponibles, y se realizaría un posicionamiento previo para ubicar los componentes en el calentador que se quisiera limpiar. Este concepto no resultó apto para el diseño final, debido a que entre los objetivos del dispositivo se tenía la limpieza simultánea de las piezas para varios modelos, por lo que se rechazó la ideación con un solo mecanismo de limpieza. Sin embargo, cabe destacar el razonamiento detrás de los bosquejos diseñados, ya que se podría implementar ciertos mecanismos de movimiento lineal que se especificaron en este para futuras etapas de diseño. En el cuadro próximo se describen los actuadores o principios de movimiento lineal que se tomaron en cuenta. El bosquejo se presenta en la siguiente figura es producto de diversas iteraciones en las que se analizaba la viabilidad y funcionalidad de los mecanismos propuestos.

Mecanismo o actuador	Detalles relevantes
Conjunto piñón-cremallera	Implementación de un engrane como movimiento de entrada y una cremallera como movimiento de salida; precisión recae en el módulo del piñón y se puede dimensionar espacios reducidos efectivamente.
Motor lineal de engranes	Motor de alta cantidad de componentes mecánicos, que utiliza un conjunto de engranes para transmitir desplazamiento lineal hacia un eje rotativo.
Mecanismo biela-manivela	Mecanismo utilizado en los motores de combustión interna; transforman movimiento rotativo en movimiento lineal mediante eslabones con juntas revolutas.
Sistema de fajas	Conversión de movimiento rotativo de un motor hacia transmisión lineal por medio de fajas que se pueden conectar al eje mediante engranajes dentados.

Cuadro 2: Mecanismos investigados de conversión de movimiento rotativo a movimiento traslacional.
Fuente: Elaboración propia.

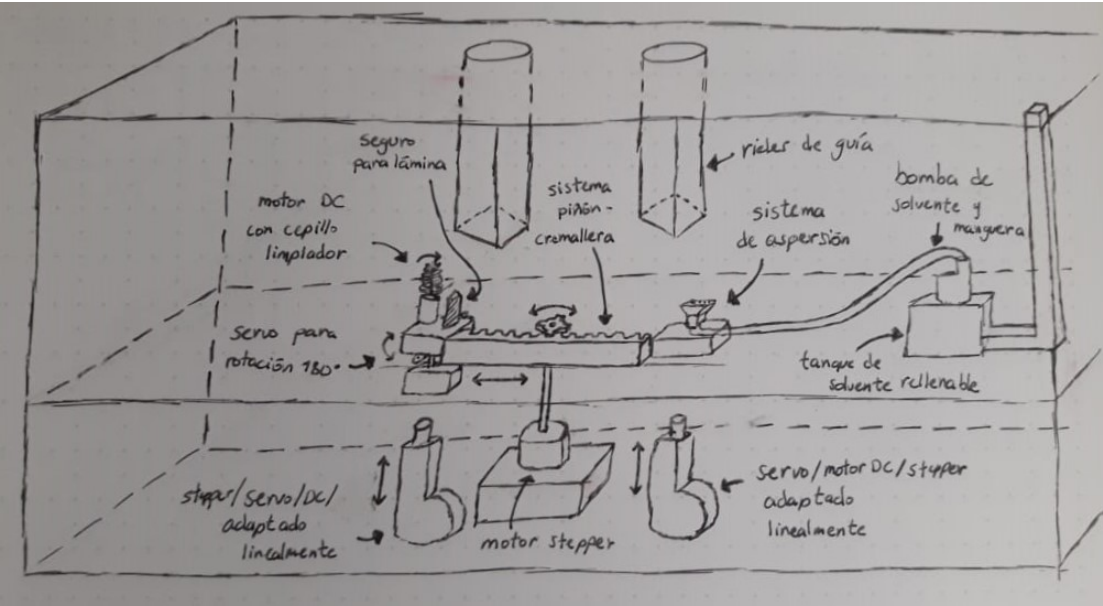


Figura 32: Bosquejo de mecanismos preliminares

Se puede observar que el mecanismo principal utiliza un conjunto piñón-cremallera para posicionar horizontalmente los componentes de limpieza para la varilla principal, que contiene la lámina de calentamiento. Se utilizarían dos acoples para sostener los componentes, uno en cada extremo de la cremallera, y mediante la rotación de un motor stepper se trasladarían en una serie de pasos para realizar la limpieza. Primero se introduciría el calentador en el orificio superior para su respectivo modelo, y luego se procedería a activar los mecanismos mediante un botón, controlado por el operario. Esto activaría al motor principal para que se posicionara el sistema de aspersión debajo del calentador, y esparciera el solvente sobre la superficie, para facilitar la

remoción de suciedad de la lámina calentadora. Luego, el motor se accionaría para colocar el acople de limpieza debajo del calentador, y luego elevarlo mediante un servo adaptado para movimiento lineal. Este acople estaría compuesto por un cepillo de dimensiones precisas, que pudiera limpiar la lámina y las superficies adyacentes en dos etapas, y un seguro para evitar el movimiento de la lámina durante su limpieza, para su protección. El acople estaría colocado sobre un servo con capacidad de rotación de 180° , por lo que se insertaría el cepillo y el seguro en una orientación específica del calentador, haría la limpieza, y luego se desplazaría hacia abajo para realizar la rotación de 180° y volver a ingresar en la posición opuesta. Después de volver a desplazarse hacia abajo se terminaría la secuencia de limpiado y el operario podría retirar el calentador.

Este diseño preliminar se consideraba eficiente y seguro para realizar la limpieza, pero por cuestiones de requerimientos funcionales para el dispositivo final se eliminó de los posibles diseños con los que se realizarían pruebas de funcionamiento. Sin embargo, se considera que algunos componentes que fueron definidos en este diseño pueden ser aplicados en nuevas iteraciones del diseño. El conjunto piñón-cremallera que se buscaba utilizar para desplazar los acoples permite un movimiento lineal preciso y de control sencillo, pues puede adaptarse para funcionar empleando solamente un servo y una guía para la cremallera. Incluso destaca que el movimiento no está limitado a ser horizontal, pues si se utiliza un servo que provea un torque adecuado sobre el piñón se puede desplazar componentes verticalmente. Se pueden hacer diseños para este mecanismo para cualquier tamaño o configuración que sean requeridos mediante impresión 3D, y se considera que el movimiento final es satisfactorio. Con esta idea en mente se elaboró un conjunto piñón-cremallera mediante corte láser, para verificar la viabilidad de este material para hacer pruebas de desplazamiento lineal sencillas, controladas por un servo. En las figuras a continuación se puede apreciar el modelo 3D para ambas piezas, y el resultado hecho en MDF de 3.2 milímetros.

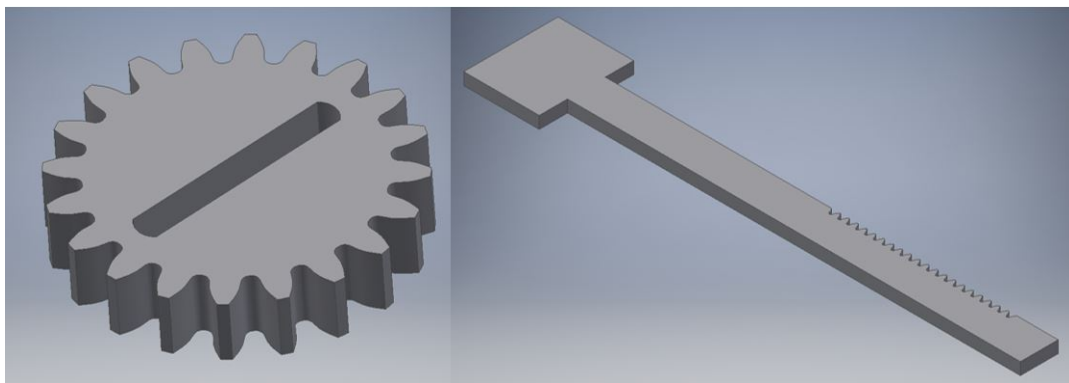


Figura 33: Diseño 3D de conjunto piñón-cremallera

Se escogió el material debido a la facilidad y rapidez para realizar el corte láser, y para verificar si el conjunto piñón-cremallera sería implementable con la precisión de la esta herramienta. Se dimensionó un diámetro de 16 mm para el piñón con 20 dientes para proveer un módulo de 0.8 y se elaboró la cremallera para que se tuviera un



Figura 34: Implementación de piñón-cremallera en MDF de 3.2 mm

encaje apropiado entre dientes. El tamaño se escogió porque se consideró óptimo para verificar el funcionamiento de un mecanismo de reducidas dimensiones, y adecuado para ser colocado en un servo tradicional 9g, que estaba a disposición para realizar pruebas. El movimiento resultó ser fluido y preciso, y el servo puede llegar a una velocidad de barrido entre ángulos de 0 y 180° adecuada para diversos propósitos. El único problema que presentó la configuración es que el sometimiento a esfuerzos no está contemplado para un servo 9g, que posee un torque máximo de 1.3 kg*cm. Además, para realizar un piñón de menor tamaño se requiere diseñar un acople para poder fijarlo al eje de rotación del servo sin que exista deslizamiento entre las piezas.

8.2. Diseño de mecanismo tipo tenaza

Se elaboró el diseño de un mecanismo para cumplir una función similar a la de una tenaza, acercando dos eslabones entre sí utilizando solamente un movimiento controlado. Este mecanismo es necesario para el posicionamiento preciso de los motores que harán la limpieza del cobertor del IQOS 2.4, por lo que se evaluó distintas posibilidades para realizarlo. En la figura a continuación se tiene distintos mecanismos que cumplirían la función de crear un desplazamiento horizontal coordinado de dos eslabones para realizar el posicionamiento.

Dentro de las posibilidades para realizar este movimiento conjunto se consideró utilizar una pareja de engranajes coordinados, unidos a un mecanismo de cuatro barras con una junta prismática, como se puede ver en el primer bosquejo de la Figura 37. La entrada en este caso sería el movimiento de un servo o motor stepper, unido a uno de los engranajes a través de un acople diseñado para este propósito. El otro engranaje sería dirigido por el primero, y conjuntamente producirían un movimiento deslizante entre dos puntos definidos por el largo de los eslabones y del riel en el que se desplazan los eslabones de salida. Se considera que este mecanismo sería efectivo para el propósito expuesto, más se necesitaría una especial atención en los largos de los eslabones y el diseño preciso de toda la estructura base. Además, se considera que el

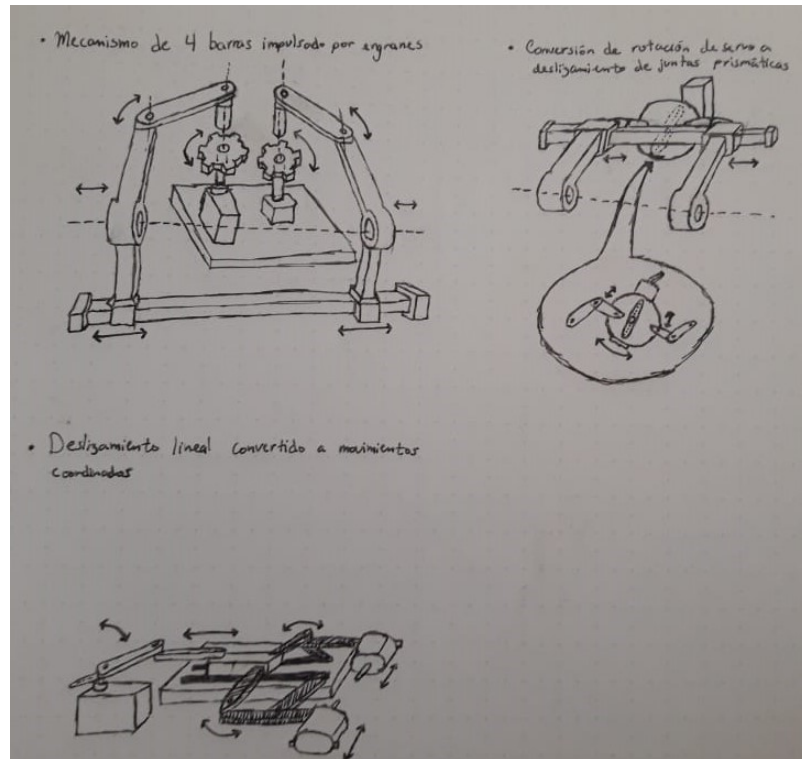


Figura 35: Mecanismos de posicionamiento esbozados

espacio que ambos eslabonamientos ocupa podría no ser óptimo para la disponibilidad proveída por el marco estructural. Por estas razones, se optó por otro mecanismo para realizar las simulaciones y pruebas. Cabe destacar que el tercer bosquejo (en la parte inferior de la figura) presenta las mismas complicaciones de espacio y complejidad expuestas. El segundo mecanismo puede observarse con más detalle en la imagen a continuación.

Se puede observar que el principio de funcionamiento es muy similar al detallado en el primer bosquejo, más el componente que provee el movimiento de entrada es distinto. En este caso se tiene solamente un servo que crea un movimiento simultáneo de dos eslabonamientos, ubicados en la misma línea de trabajo pero distanciados por el diámetro de la rueda principal. Esta rueda está adaptada para poder colocarse en un servo SG90, de manera que su rotación causa un estiramiento o contracción de los eslabones, que a su vez están conectados mediante una junta prismática a dos deslizadores independientes. Si se mantiene las dimensiones de ambos mecanismos idénticas y se tiene una alineación adecuada con el movimiento del servo, desde una posición inicial perpendicular a la pieza unida a este actuador, se tendrá un movimiento simultáneo de ambos eslabones, determinado por el ángulo de giro del servo. La rotación hacia un sentido causará el acercamiento de los deslizadores y la rotación opuesta los alejará. Basta con colocar el servo en una posición inicial que corresponda a la mitad de su posible ángulo de giro, y así se podrá controlar fácilmente el movimiento de los deslizadores en cualquiera de las direcciones. Además cabe destacar que el diseño compacto de estas piezas y la simplicidad del principio de movimiento

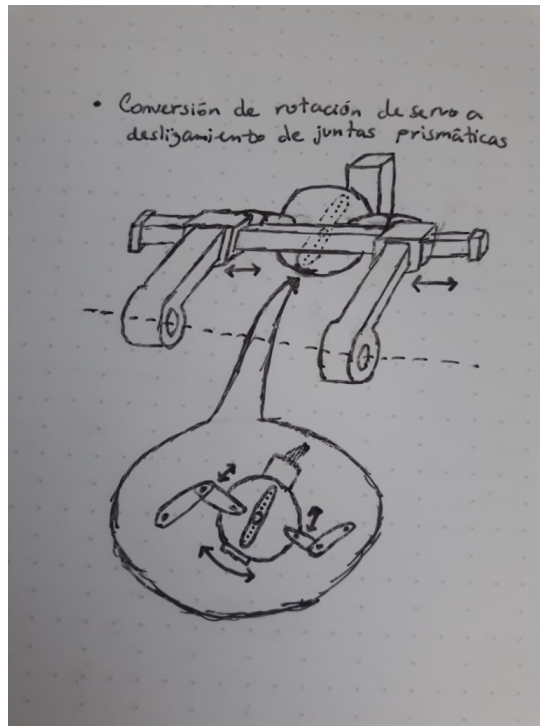


Figura 36: Mecanismo de posicionamiento tipo tenaza

resultan perfectas para el propósito que se busca cumplir en el posicionamiento. Se escogió este mecanismo para realizar simulaciones en Inventor, y luego se realizarían pruebas con impresión 3D o corte láser.

8.2.1. Primera iteración

Se elaboró la primera simulación con dos propósitos: verificar que el principio de movimiento fuera adecuado, y elaborar prototipos de distintas dimensiones, mediante corte láser, para realizar pruebas físicas con el mecanismo. El primer propósito se validó exitosamente, como se puede ver en las siguientes figuras, que muestran el mecanismo en sus posibles límites posicionales.

Se realizaron ciertos cambios basados en las pruebas iniciales con este mecanismo, que se analizarán en un capítulo posterior. Se modificó el conjunto de eslabones que estaban acoplados a la pieza circular, debido a que se observó que el movimiento resultante era idéntico si se cambiaba la unión rígida entre el segundo eslabón y el deslizador por una junta revoluta. Mecánicamente, esto correspondería a una traslación de la junta revoluta existente entre los dos eslabones, y se podría implementar dicha articulación de manera sencilla si se agregaba una base en el deslizador donde se pudiera ingresar un pin que mantuviera el eslabón unido a este, más permitiera una rotación de 360° entre las piezas. Sin embargo, el movimiento del servo sería el que limitaría el ángulo de movimiento entre el nuevo eslabón y el deslizador, por lo que se mantendría el principio mediante el cual actuaría el mecanismo de posicionamiento.

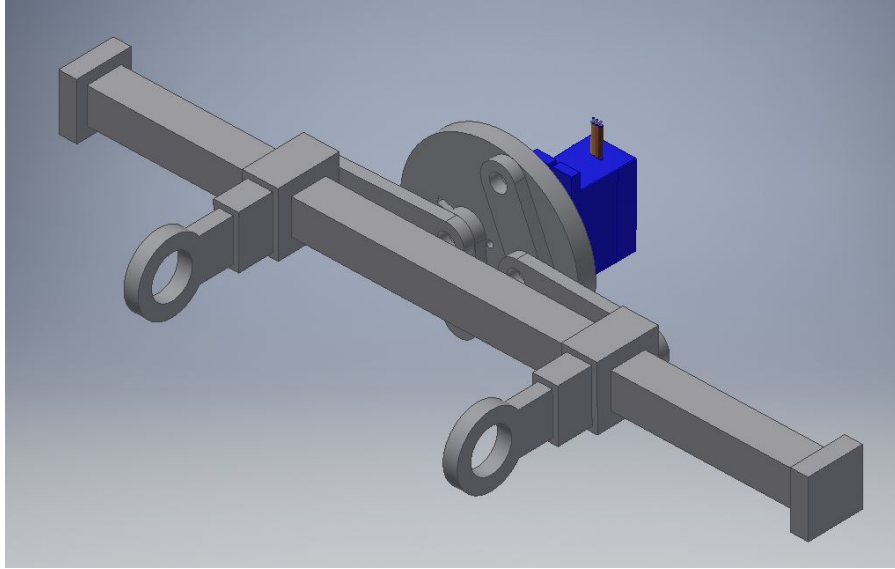


Figura 37: Simulación 3D de mecanismo de tenaza, posición retraída

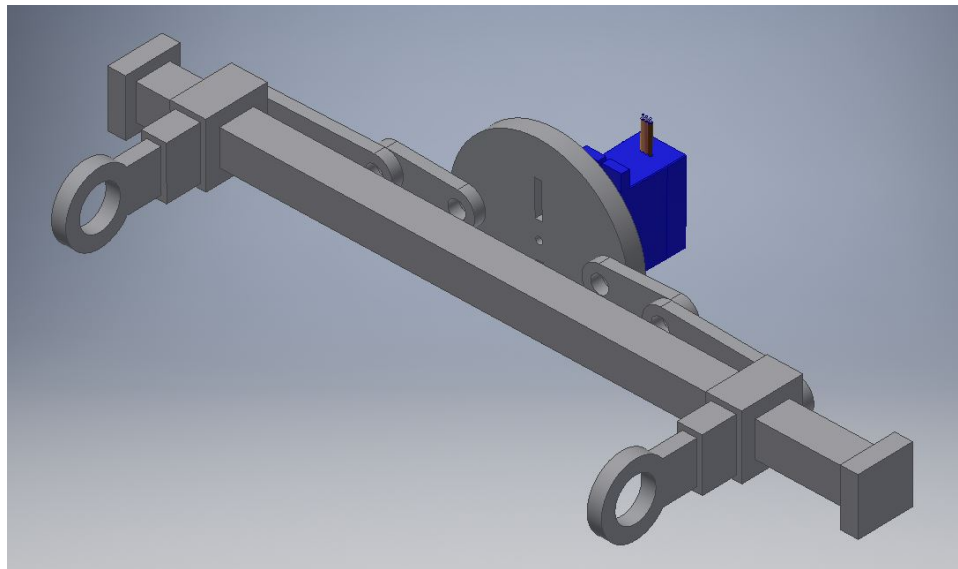


Figura 38: Simulación 3D de mecanismo de tenaza, posición extendida

Este resultado se expone en las siguientes figuras, y fue el que se utilizó para elaborar las primeras pruebas con impresión 3D. Se realizó la impresión en 3D con PLA a un alto de capa de 0.15 mm y se unieron los pines que crean la junta revoluta entre deslizador y eslabón con cemento de contacto, lo que los mantuvo eficazmente en su lugar para realizar pruebas de movimiento. Posterior a la validación de su funcionamiento, que incorporó dos soportes ensamblado con MDF de 3.2 mm para mantener el servo y el riel de deslizamiento en su lugar, se realizaron algunas modificaciones en base a las dimensiones del marco estructural y la selección posterior de los motores de limpieza para el cobertor del IQOS 2.4 (la modificación de los actuadores será discutida en el capítulo que concierne la selección de actuadores).

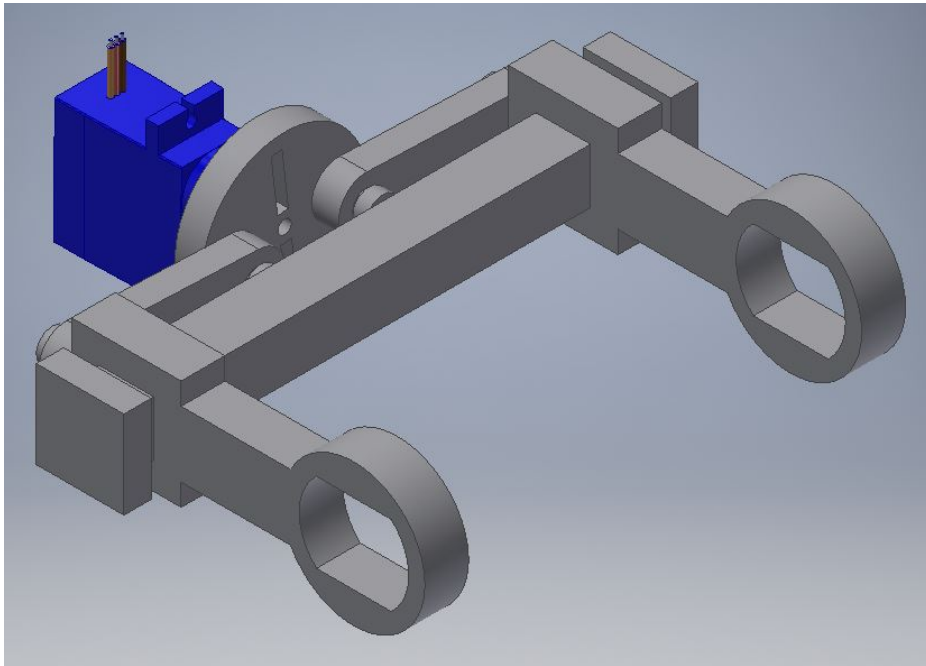


Figura 39: Mecanismo de posicionamiento editado, vista frontal

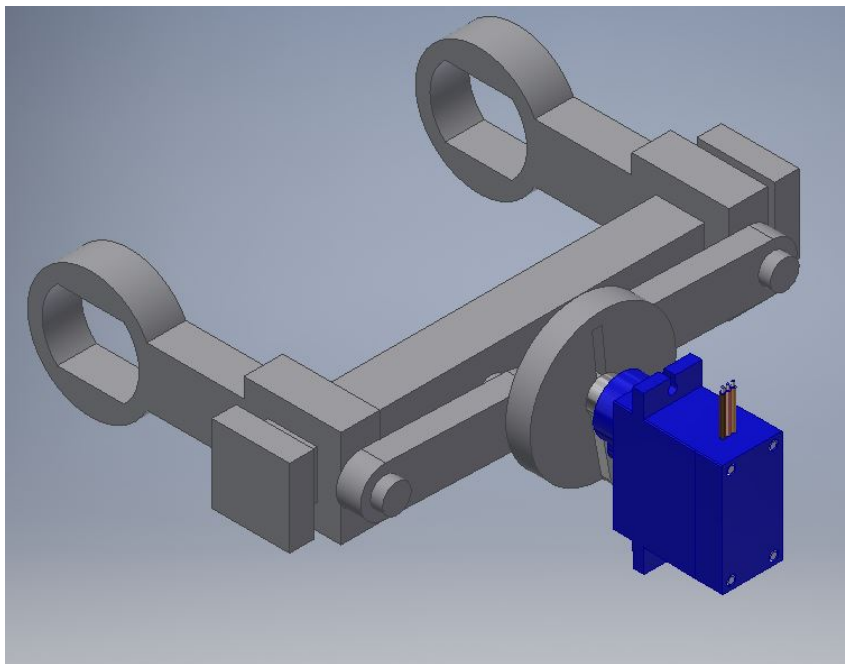


Figura 40: Mecanismo de posicionamiento editado, vista posterior

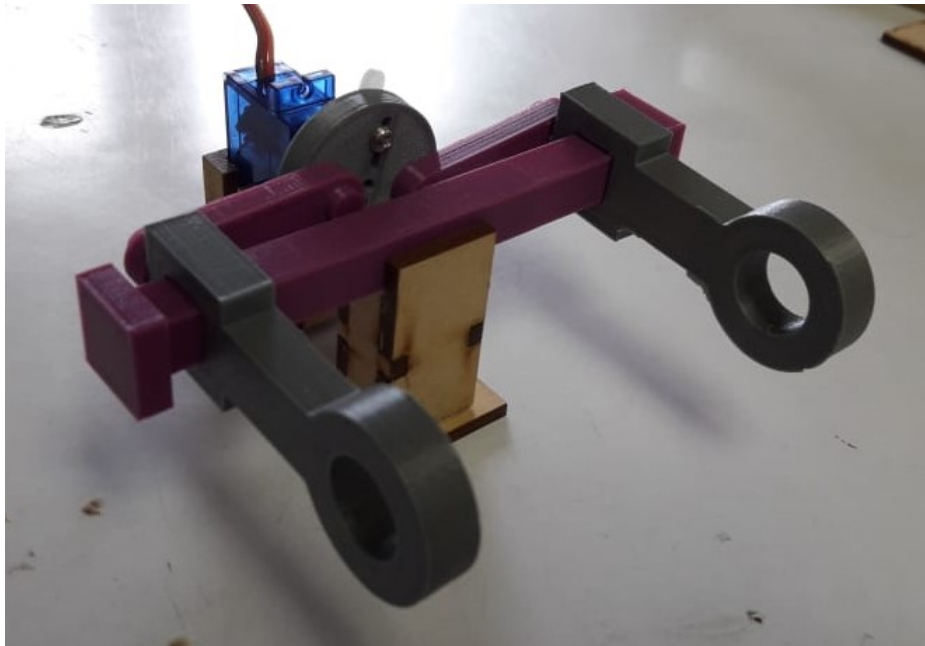


Figura 41: Vista frontal del mecanismo de posicionamiento manufacturado

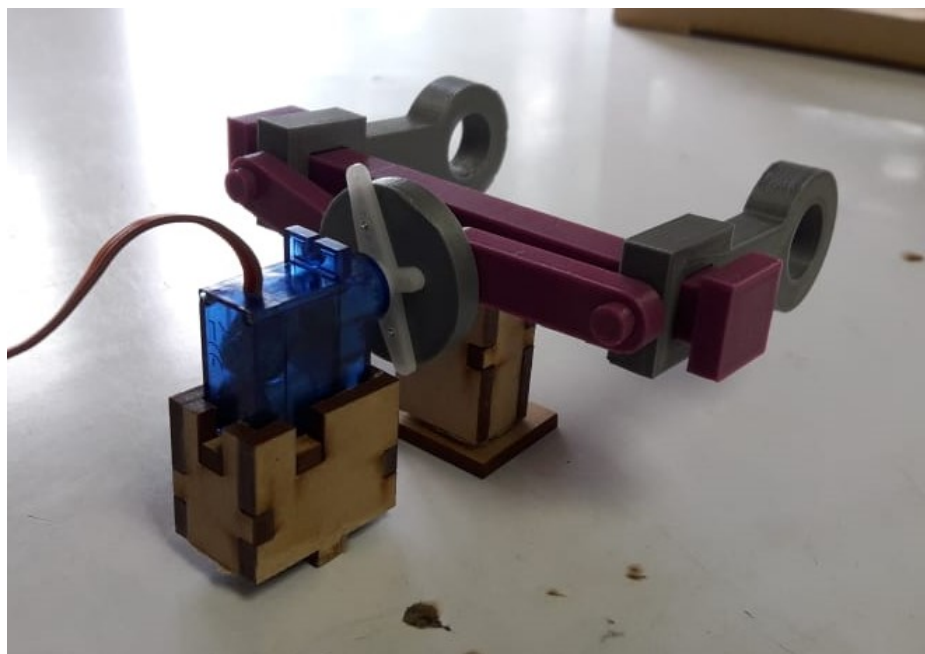


Figura 42: Vista posterior del mecanismo de posicionamiento manufacturado

8.2.2. Segunda iteración

El mecanismo presentado hasta este punto fue implementado exitosamente en la tercera iteración del marco estructural, y los cambios que se mencionarán a continuación corresponden a la implementación de la cuarta iteración de dicha estructura. Primero, se rediseñaron ambos deslizadores para adaptarlos de acuerdo a dos condiciones necesarias: se requería desplazar el mecanismo completo, incluyendo el soporte para el servo y para el riel, debido a que se requería espacio adicional para incorporar el sistema de aspersión al dispositivo, y también se requería la implementación de los nuevos actuadores que se usarían para la limpieza del cobertor del IQOS. El resultado en el diseño de esta pieza se puede ver a continuación.

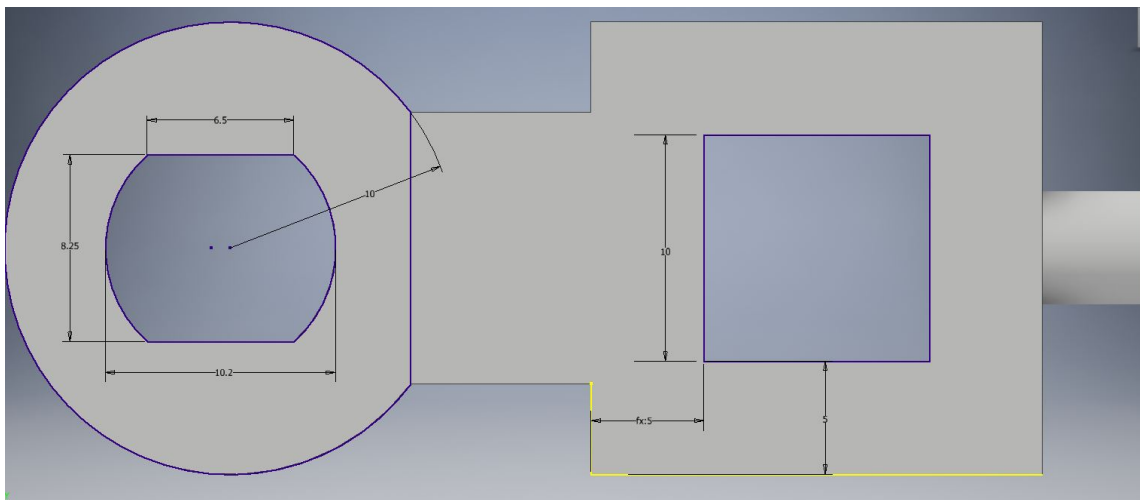


Figura 43: Dimensiones finales de deslizador, implementado en cuarta iteración del marco estructural

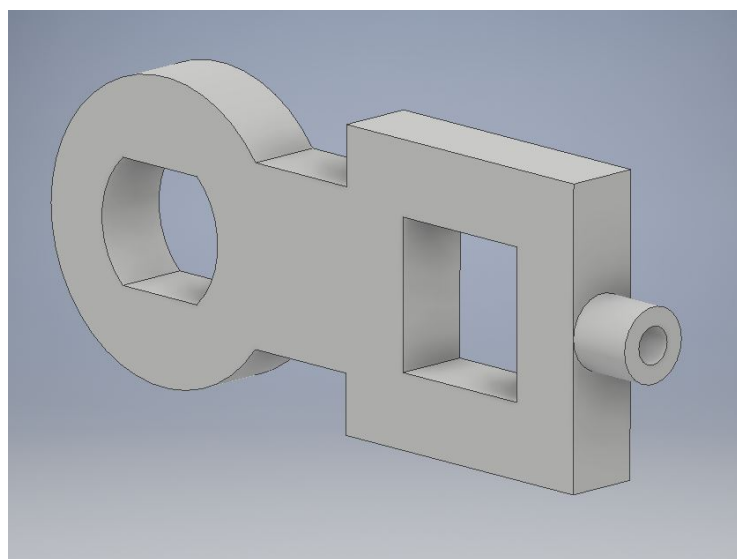


Figura 44: Simulación de diseño 3D final del deslizador

Para proseguir con el diseño, se modeló un soporte para el servo 9g que se utilizaría en el mecanismo, empleando las medidas exactas del actuador para obtener un encaje a presión entre esta pieza y el componente, y también se diseñó una nueva pieza que serviría de soporte para el riel de deslizamiento y para sujetar el cobertor del IQOS al mismo tiempo. Este soporte se dimensionó en base al ancho del riel, de manera que se pudiera ensamblar estas piezas una vez se tuvieran incorporados los nuevos deslizadores. También se diseñó un sujetador que pudiera mantener el cobertor en su lugar durante la limpieza, tomando en cuenta que este debía poder ser insertado y removido del dispositivo sin complicaciones y evitando dañarlo durante el proceso.

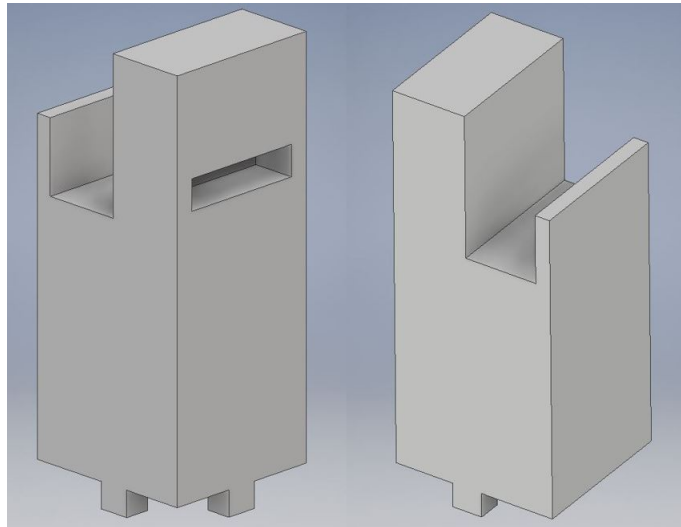


Figura 45: Diseño de soporte para el riel de deslizamiento y sujetador del cobertor

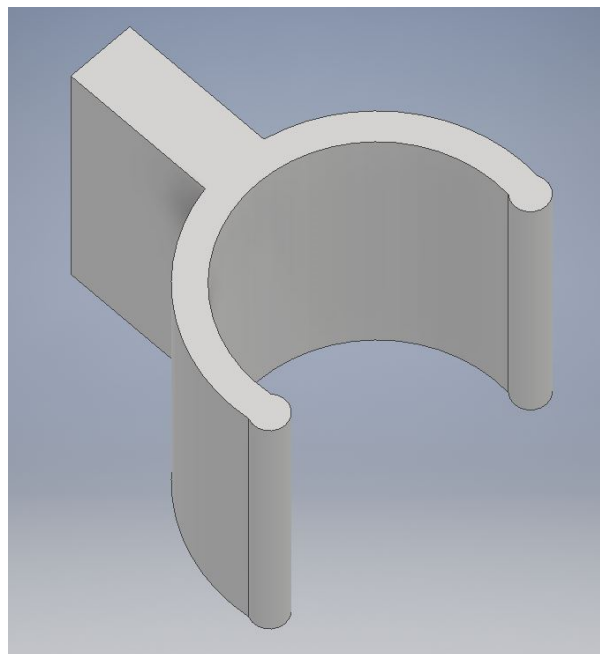


Figura 46: Simulación de diseño 3D final del sujetador

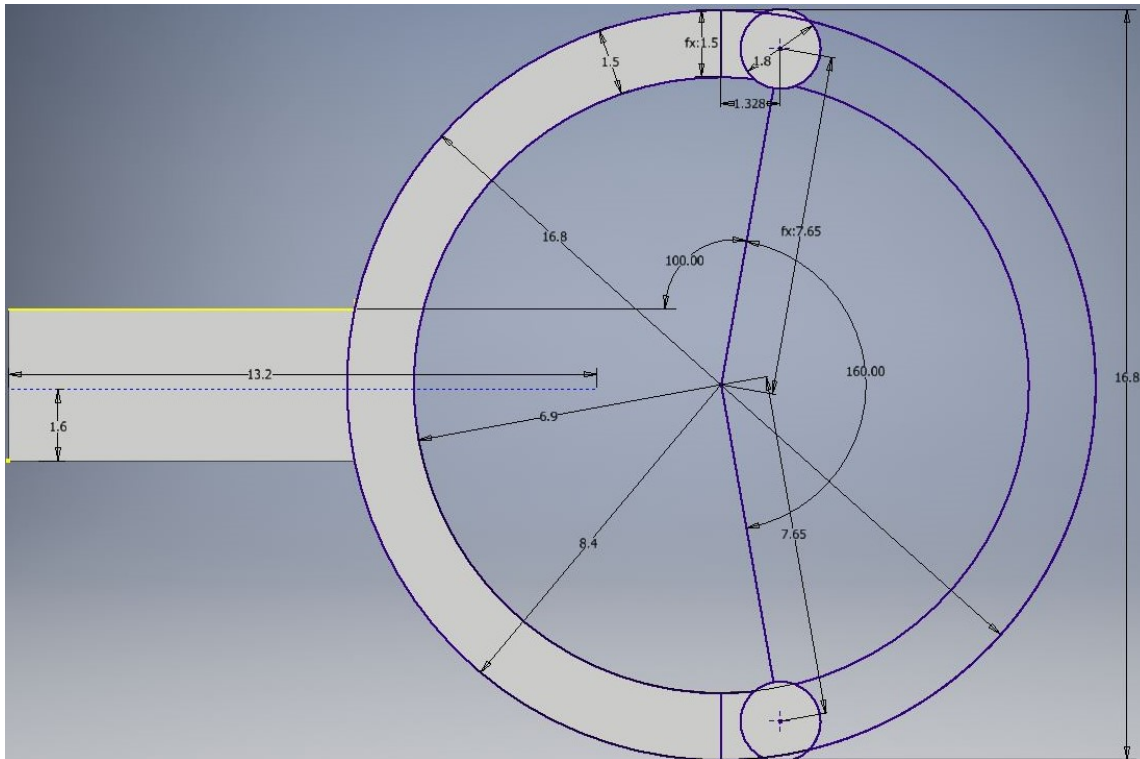


Figura 47: Dimensionamiento final para el sujetador

El dimensionamiento del sujetador se realizó utilizando las medidas obtenidas de un cobertor para IQOS 2.4, tomando la parte circular más ancha como referencia para el diámetro interior de la pieza, para realizar un encaje a presión momentáneo. Se buscó una profundidad que permitiera colocar el cobertor fácilmente y que se pudiera remover sin que el PLA ejerciera un esfuerzo considerable sobre su capa superficial. También se agregó una extrusión cilíndrica en ambos extremos del sujetador para proveer soporte adicional mientras el cobertor estuviera colocado, y se elaboró la pieza varias veces con distintos ángulos de abertura entre ambos extremos, para poder determinar cuál era más efectivo, tanto para mantener el cobertor en su lugar como para que se pudiera insertar y remover fácilmente, sin daño a su superficie. Este ángulo de abertura se varió entre 140° hasta 180° , y se determinó que para valores mayores o iguales a 170° se tenía la posibilidad de que el cobertor se saliera de su posición, y para ángulos menores a 150° se ejercía una fuerza sobre el cobertor que podría dañar su acabado superficial después de varias inserciones en el sujetador. Por esto se dimensionó el sujetador final con un ángulo de 160° , considerado óptimo para su propósito, y luego se adhirió a la ranura del soporte utilizando cemento de contacto. El último cambio que se realizó fue alargar el riel de deslizamiento por 10 mm y los eslabones por 5 mm cada uno, para tener un rango de movimiento más extendido y que se pudiera colocar el cobertor sin que tuviera contacto con los cepillos de limpieza en la posición extendida.

Utilizando estas piezas se elaboró un ensamble del mecanismo de posicionamiento final, que se puede observar en la siguiente figura. Cabe destacar que este se elaboró

con los deslizadores y los motores originales, más en la implementación se utilizaron los deslizadores actualizados.

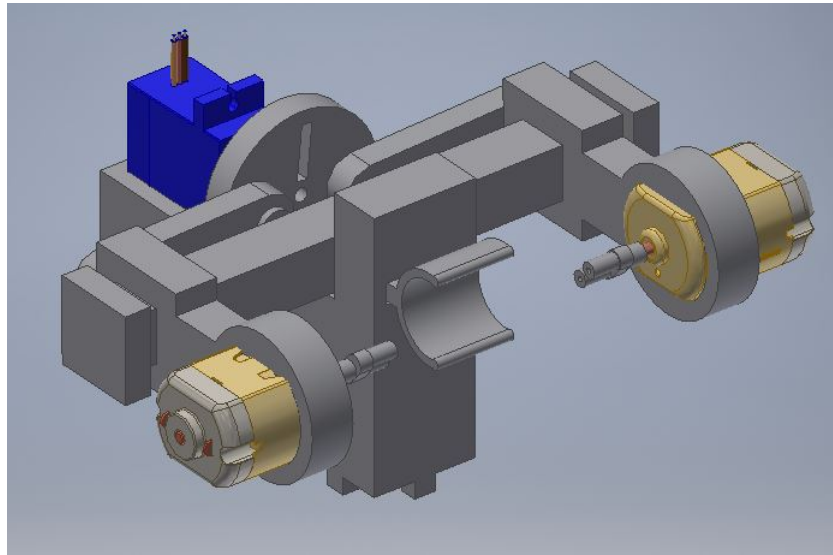


Figura 48: Simulación final para mecanismo de posicionamiento, con soportes y motores DC

Para la implementación de este resultado se elaboraron nuevamente todas las piezas del mecanismo, los soportes y el sujetador utilizando PLA de distintos colores, a un alto de capa de 0.15 mm para las piezas de tamaño considerable y a 0.10 mm para las piezas de proporciones reducidas (tales como los pines que sostendrían los eslabones en su lugar). Se centró y se adhirió el riel de deslizamiento a su respectivo soporte utilizando cemento de contacto, y se colocaron los motores de limpieza seleccionados en los deslizadores mediante un encaje a presión. También se encajaron a presión los acoples y los cepillos de limpieza, cuyo proceso de diseño será detallado en su respectivo capítulo. El producto final obtenido se observa en las siguientes figuras, y los resultados de su funcionamiento se presentarán más adelante.

8.2.3. Resultados de implementación

El mecanismo de posicionamiento tipo tenaza se considera una implementación exitosa de la teoría detrás de los eslabonamientos manivela-corredera de Grashof. Se reafirma que su implementación utilizó la menor cantidad de actuadores posible para realizar la aproximación de ambos micro motores DC hacia el interior del cobertor del IQOS, y el movimiento resultó fluido a distintas velocidades de traslación. El torque proveído por el servo fue suficiente para desplazar ambos deslizadores, con la carga inherente producida por los motores, acoples y cepillos de limpieza. Las uniones entre eslabones utilizando los pines para restringir el movimiento perpendicular al eje de movimiento fueron óptimos para crear las juntas revolutas necesarias para el eslabonamiento manivela-corredera, y las dimensiones a las que se elaboraron permiten un encaje a presión sobre los deslizadores, más sí se lograron desensamblar sin

que se rompiera el eje que se introduce en el deslizador. Esta última característica resultó idónea para reemplazar las piezas de la primera iteración por las nuevas que albergaron los micro motores DC. El resultado final satisfizo todas las condiciones que se plantearon en el diseño del mecanismo y, de ser implementado en una futura versión del dispositivo, se realizarían modificaciones mínimas, que se agregarán en las recomendaciones finales.

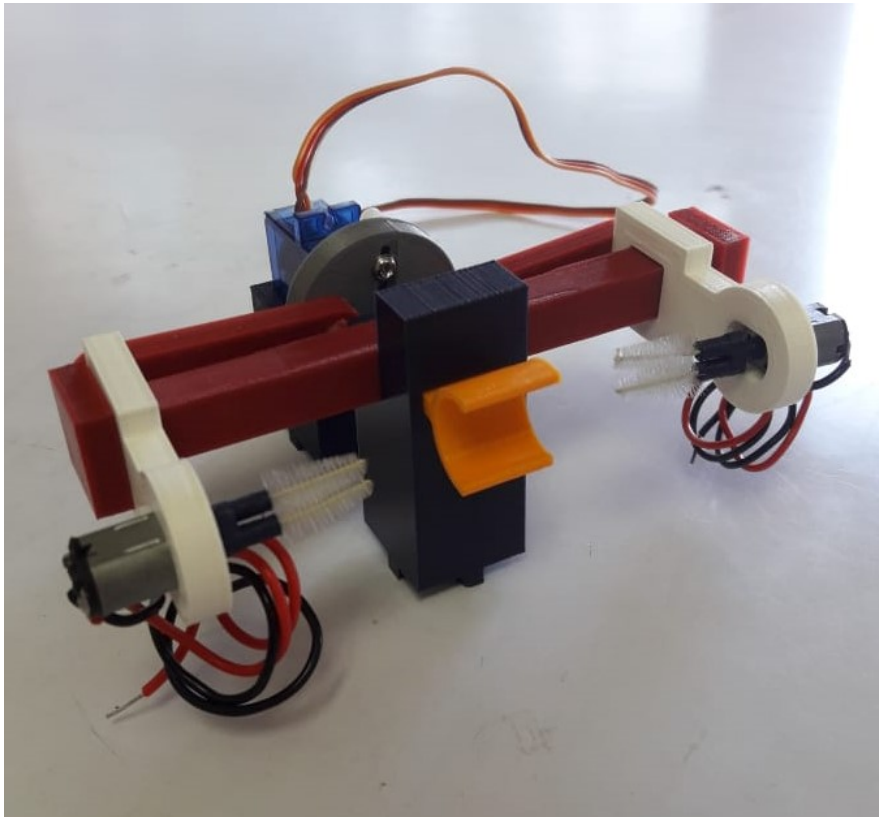


Figura 49: Vista frontal de mecanismo de posicionamiento en su implementación final

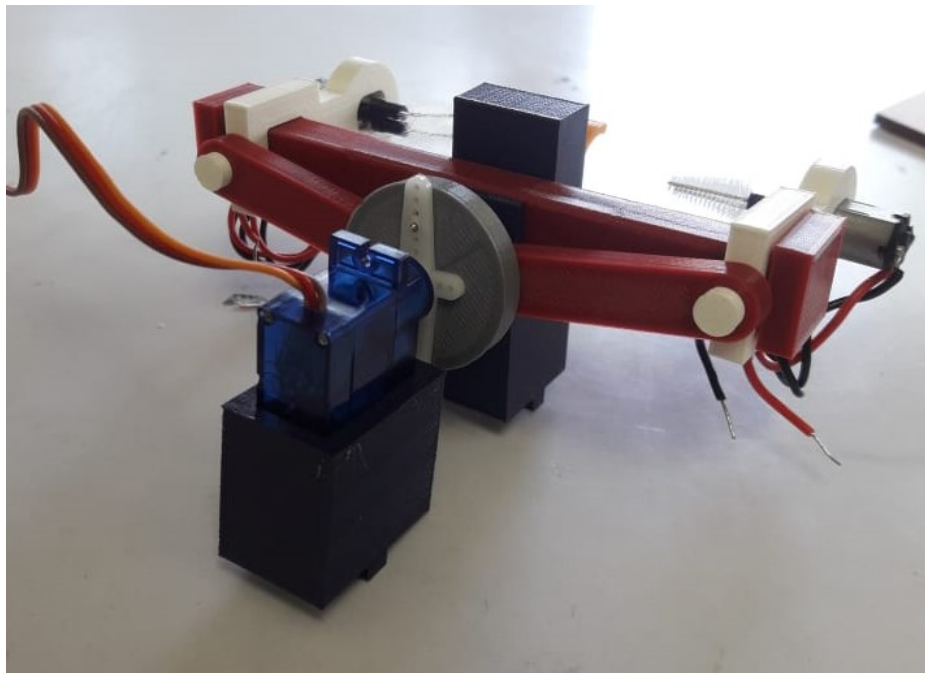


Figura 50: Vista posterior de mecanismo de posicionamiento en su implementación final

Sistema de aspersion para agente de limpieza

Utilizando la teoría investigada, se procedió a determinar el tipo de bomba hidráulica óptimo a implementar en el proyecto para distribuir alcohol isopropílico hacia los tres cepillos que limpiarán la varilla y el cobertor del IQOS 2.4. Se requería que la bomba tuviera dimensiones adecuadas para ubicarse adentro del dispositivo de limpieza, que se presentara una inyección a alta velocidad desde algún contenedor hasta las partes del IQOS, y también que su accionamiento fuera controlado y preciso. Con estas consideraciones en mente se buscó un sistema fabricado que pudiera satisfacer las necesidades expuestas, para tener una referencia de la cual empezar con un diseño propio, o bien implementar este sistema en el proyecto.

9.1. Primera iteración

Tras investigar de posibles sistemas hidráulicos en dispositivos de uso diario, se llegó al conocimiento de que las impresoras de inyección de tinta poseen una bomba hidráulica para remover los excesos de tinta en el cabezal de impresión y depositarlo en una almohadilla de desecho. Por esto se procedió a desensamblar una impresora Canon iP2700 para determinar qué bomba hidráulica poseía y estudiar si el sistema empleado podría ser implementado en el dispositivo de limpieza. Una vez se ubicó la bomba, se retiraron los componentes a los que estaba acoplada y se limpió a profundidad para que no quedara tinta en las mangueras acopladas a esta. Debido a que se tenía una considerable cantidad de soportes y acoples incorporados a la base donde se encontraba la bomba, se cortó y se lijó parte de la estructura para reducir el espacio que ocupa. El componente obtenido resultó ser una bomba peristáltica con capacidad de transportar líquidos mediante dos mangueras independientes. Esto se consideró

una característica idónea para el proyecto, ya que se podría ubicar una de estas mangueras para suministrar el agente de limpieza hacia los cepillos de limpieza de la varilla principal del IQOS 2.4, y la otra manguera se podría adaptar para suministrarlo a ambos cepillos de limpieza para el cobertor.

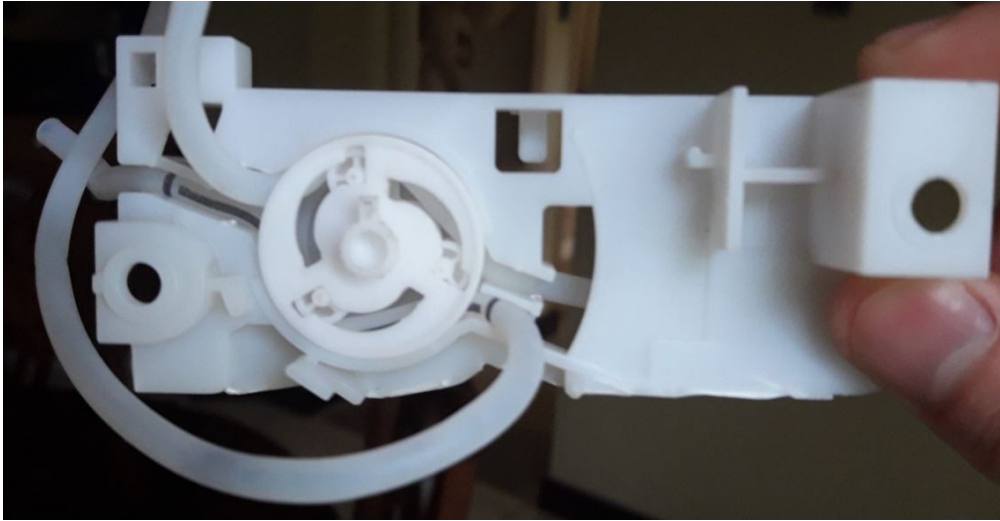


Figura 51: Bomba peristáltica obtenida de impresora Canon iP2700, vista frontal

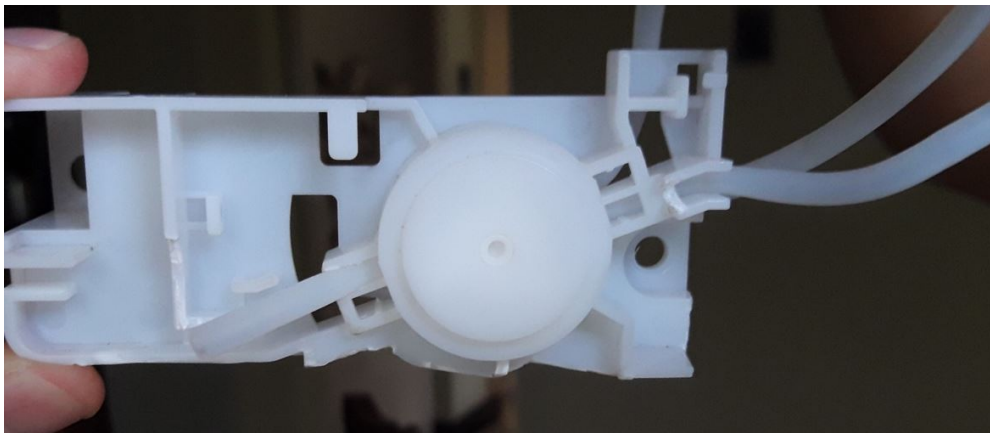


Figura 52: Bomba peristáltica obtenida de impresora Canon iP2700, vista posterior

Se consideró que sería apropiado controlar su funcionamiento mediante el giro de un motor DC, debido a que se requería ejercer cierta presión y velocidad sobre el fluido para que este cubriera efectivamente los cepillos que ingresarían a las piezas del IQOS. Para esto se requeriría diseñar un acople entre la espiga del motor y la cavidad que posee el rotor, que traslada los rodillos para crear el movimiento del fluido. Antes de eso se verificó la funcionalidad de la bomba, transportando líquido desde un recipiente a través de las dos mangueras mediante un accionamiento manual. Debido a que el funcionamiento de la bomba resultó adecuado, se decidió implementarla para la distribución del agente de limpieza hacia la varilla del IQOS 2.4 y hacia ambos lados de su cobertor. Se requería una pieza que pudiera redirigir el flujo de una manguera hacia los dos cepillos que limpiarían el cobertor, por lo que se diseñó el siguiente acople

para la manguera, que permitiría su redirección hacia dos mangueras independientes. El grosor de pared se dimensionó a 0.5 mm para permitir 2 mm de diámetro interior, considerando que la manguera de la bomba hidráulica tenía un diámetro interior de 2 mm y exterior de 3.75 mm.

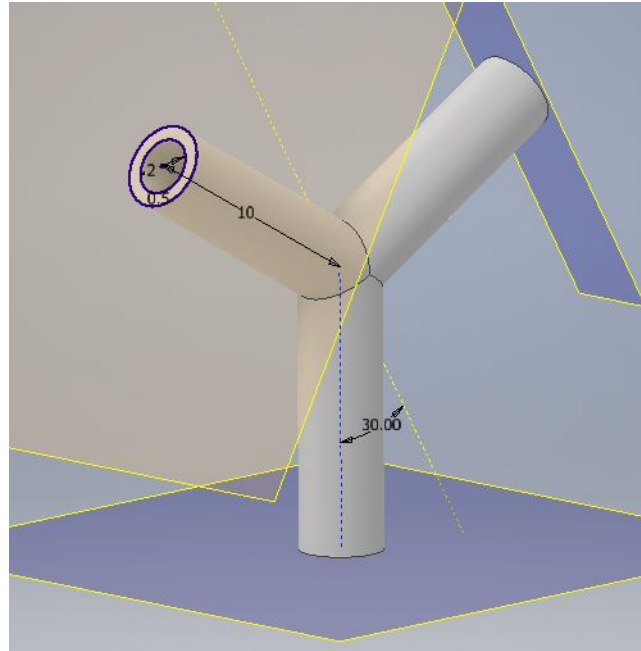


Figura 53: Dimensionamiento para acople divisor de manguera

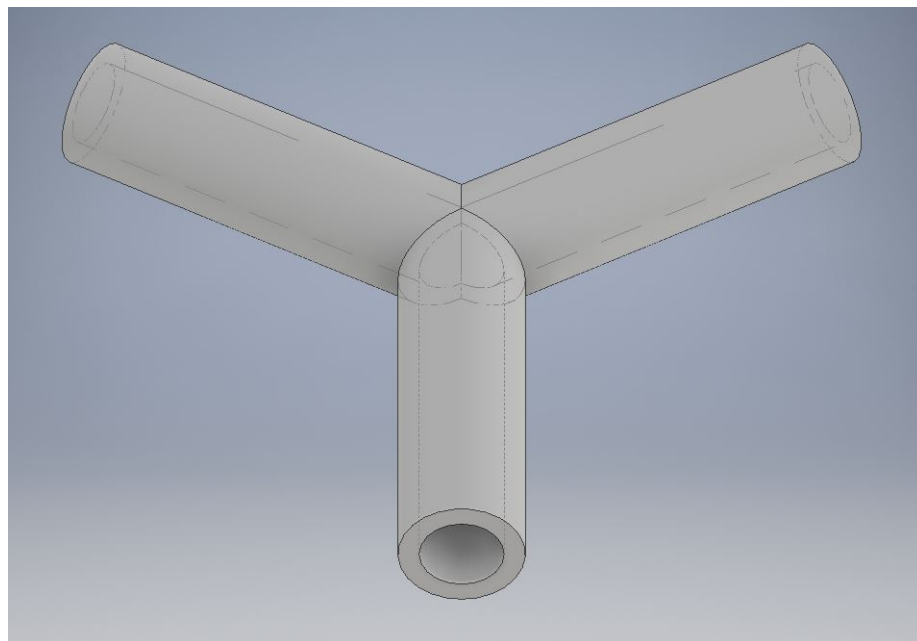


Figura 54: Simulación final para acople divisor de manguera

Se colocó el acople diseñado en la manguera y se realizaron más pruebas con la bomba accionada de forma manual, para ver si el fluido se distribuía adecuadamente

hacia las dos aberturas que estaban ubicadas a un ángulo de 120° una de la otra. Debido a la simetría de la pieza respecto a la abertura donde se ingresaría la manguera proveniente de la bomba, el líquido se distribuyó equilibradamente entre las dos nuevas mangueras, siempre y cuando se colocara el acople de manera que el área de flujo del líquido fuera perpendicular a una superficie horizontal. Posterior a las pruebas con la bomba se diseñó en Inventor un tanque rellenable para colocar directamente en el marco estructural, capaz de albergar una cantidad considerable de alcohol isopropílico o algún otro agente de limpieza que fuera a ser distribuido hacia los cepillos en cada ciclo de limpieza. Los aspectos que se consideraron para elaborar el diseño fueron:

- El tanque debe tener la capacidad de reabastecer el líquido sin mayor complicación para el usuario del dispositivo.
- Se debería tener una conexión para dos mangueras independientes, debido al diseño presentado en la bomba peristáltica obtenida.
- Se debería presentar un diseño que permitiera el movimiento efectivo del líquido de limpieza, para evitar cualquier complicación que se podría dar durante cada ciclo trabajado.
- El tanque debe colocarse directamente sobre el marco estructural y permanecer fijo, para evitar cualquier movimiento de las mangueras o del líquido que trae en su interior, que podría causar problemas si llegara a los actuadores del dispositivo.

En las figuras siguientes se puede observar el diseño propuesto para el tanque rellenable, que cumple las consideraciones antes mencionadas. Se tiene un ángulo de inclinación en la cavidad interior del tanque para facilitar el flujo del líquido. que se puede ver en la vista lateral seccionada de la pieza. También se tiene salidas del tanque hacia dos mangueras, y cavidades en la parte superior para colocar una tapadera para cubrir el líquido del tanque.

Se fabricó la pieza mediante impresión 3D a un alto de capa de 0.15 mm, utilizando un relleno al 60 %, de tipo triangular con 1 mm de espesor de pared. El resultado se acopló al marco estructural y se elaboraron pruebas con la bomba, accionándola manualmente y llenando el tanque con agua. Las espigas originales que se tenían eran de menor diámetro exterior y no poseían el ángulo de inclinación que se puede ver en las figuras expuestas para proveer el soporte, y por esta razón se fracturaron en la primera impresión de la pieza, causando una fuga de líquido en su unión con el tanque.

Con esta pieza se completó la primera versión del sistema de aspersion para el dispositivo de limpieza, que tenía un accionamiento manual a través del giro de la pieza rotatoria de la bomba peristáltica. Esta consistió de la bomba cortada a la medida con sus mangueras independientes, el tanque rellenable diseñado al que se

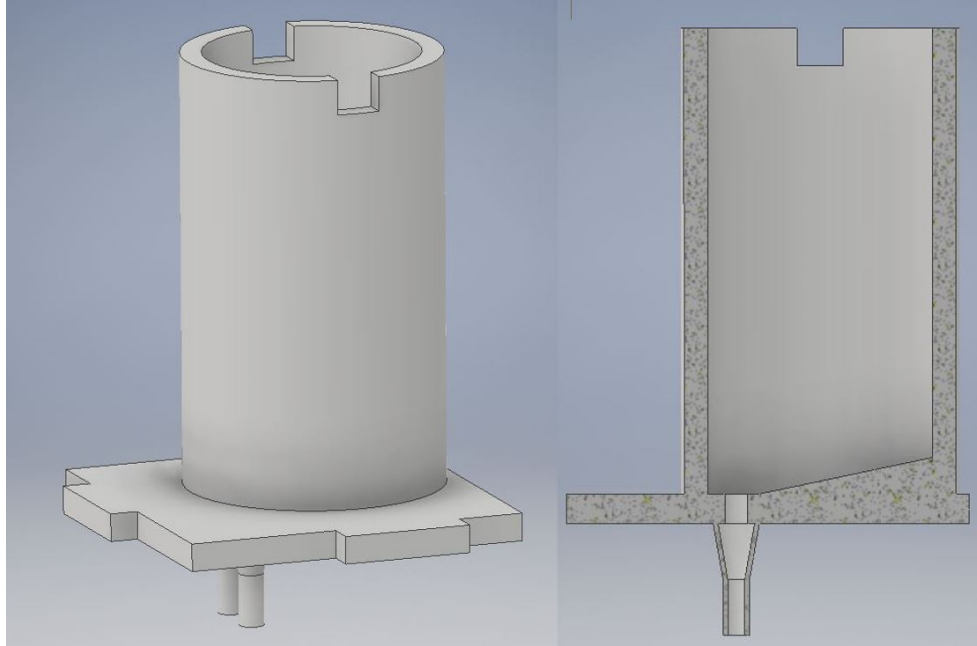


Figura 55: Vista lateral y vista seccionada del tanque rellenable

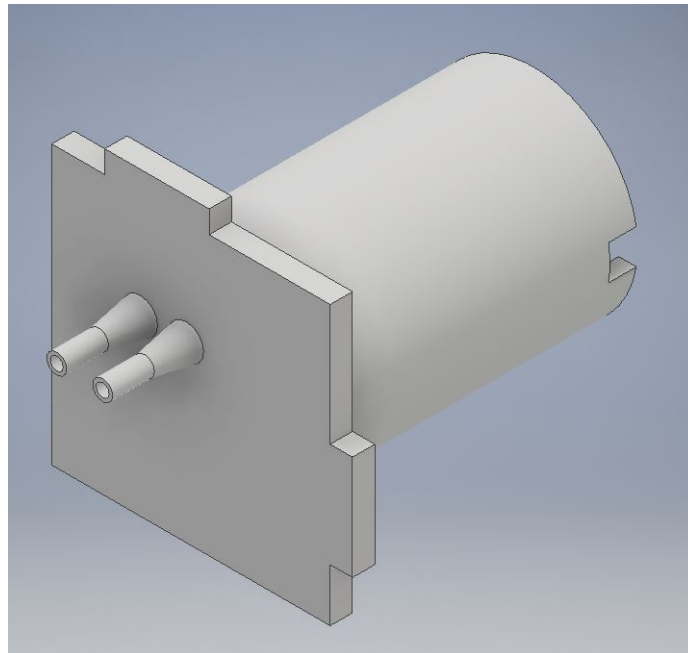


Figura 56: Vista inferior del tanque rellenable

acoplaron las mangueras, y el acople para dividir el caudal en una de estas. También se diseñó una tapadera para el tanque con una mínima holgura para proteger el líquido de su interior y se utilizó una pieza proveniente de la impresora para unir dos secciones de manguera y así transmitir el líquido hasta los cepillos de limpieza para el cobertor.

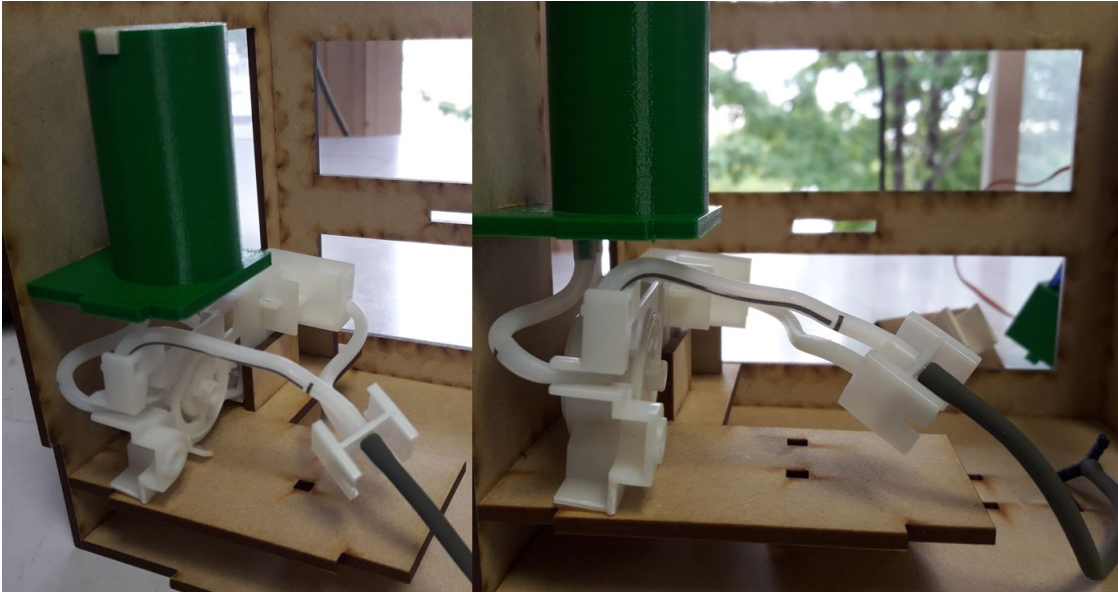


Figura 57: Sistema de aspersión, primera iteración

9.2. Segunda iteración

Posteriormente se realizaron algunas mejoras al sistema, y se adicionó el actuador para controlar la bomba hidráulica y los soportes necesarios para que las mangueras llegaran a los cepillos de limpieza. Una vez se seleccionó el motor DC de 24 V que accionaría la bomba, se siguió con el diseño del acople que permitiría la rotación conjunta del eje y el rotor de la bomba. Para idear este acople primero se obtuvieron las dimensiones de la pieza central del rotor y las dimensiones finales de toda la bomba hidráulica, para poder agregarla a la simulación realizada en Inventor. El resultado de esta simulación se puede observar en la siguiente figura, y fue utilizado para crear el acople que se encajaría a presión en el eje del motor DC.

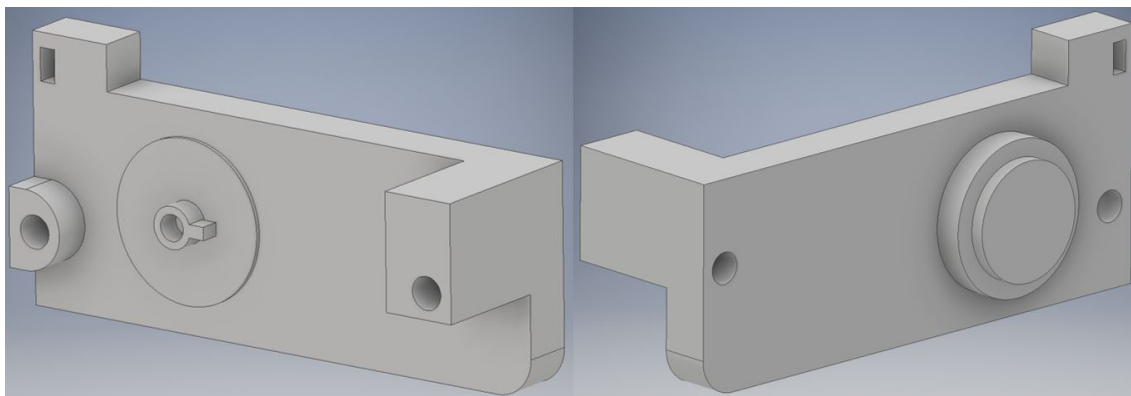


Figura 58: Simulación de bomba peristáltica en Inventor 2018

Se recreó la misma geometría presente en la pieza del rotor y se dimensionó el acople de tal manera que existieran 0.5 mm de holgura entre esta pieza y el interior de su base. Se extendió esta geometría en una extrusión para garantizar la resistencia del acople y se dimensionó un agujero que permitiría la inserción completa del eje del motor. Sin embargo, el diámetro del agujero debía de permitir un encaje a presión, más su ensamblaje en el eje no debía de causar algún deterioro hacia el motor. Al realizar un encaje a presión en uno de los motores iniciales del proyecto se había determinado que el eje podía llegar a desbalancearse y causar un corto circuito dentro del actuador, debido a la fuerza con la que se tuvo que insertar el acople en el eje. Por esta razón se elaboraron varias impresiones 3D del acople final con variaciones en el diámetro del agujero donde entraría el eje del motor, para determinar el diámetro mínimo requerido para un encaje a presión sobre este componente y así garantizar que la fuerza requerida para insertarlo fuera la menor posible. A continuación se expone la simulación final del acople elaborado y una figura que muestra la variedad de componentes impresos a diferentes diámetros para realizar pruebas de encaje sobre el eje del motor.

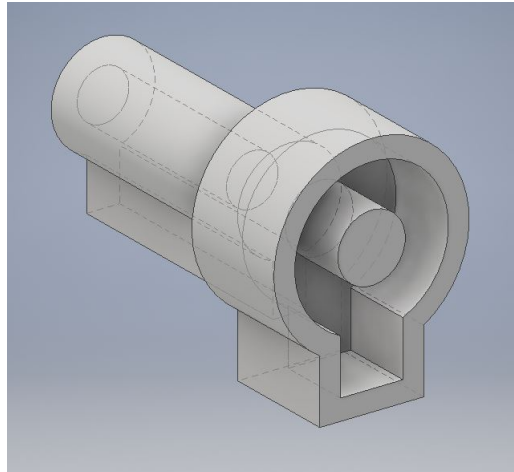


Figura 59: Acople diseñado para girar el rotor a partir del accionamiento del motor DC

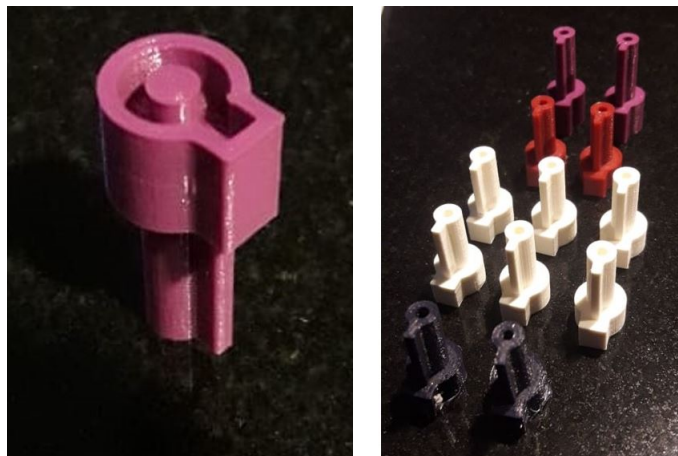


Figura 60: Implementación de acoples a distintas dimensiones para pruebas de encaje

Mediante estas impresiones se llegó a tres conclusiones de relevancia para el accionamiento del rotor: primero, se validó la holgura de 0.5 mm con la que se diseñó la pieza (se realizaron pruebas a 0.6 y 0.7 mm de holgura y el encaje con el rotor poseía un juego innecesario con el acople). La segunda conclusión fue que el encaje a presión en un acople con un agujero de 2.5 mm era el más efectivo para el eje del motor QK1-4639 (su selección se detalla en el próximo capítulo), cuyo diámetro es de 2.3 mm. Se determinó que una diferencia menor a 0.2 mm en el diámetro del agujero sería problemático para unir la pieza al eje, y si esta era igual o mayor a 0.3 mm se tendría un encaje a presión que no garantizaba que la fricción entre la pieza y el interior del agujero fuera la adecuada para mantenerla en su lugar. Por último, la profundidad óptima para el acople fue de 18 mm; esta medida era de importancia para que no se generara una presión sobre el rotor que pudiera dañarlo a la hora de colocar el motor, más sí debía de haber contacto entre el acople y la superficie de este. En el siguiente cuadro se detallan las pruebas realizadas para esta pieza, variando las tres dimensiones que tendrían un impacto en su desempeño.

Prueba No.	Diámetro de agujero para eje	Holgura entre rotor y acople	Profundidad total acople
1	2.3 mm	0.5 mm	18 mm
2	2.4 mm	0.5 mm	18 mm
3	2.4 mm	0.6 mm	20 mm
4	2.5 mm	0.5 mm	18 mm
5	2.5 mm	0.6 mm	19 mm
6	2.5 mm	0.7 mm	20 mm
7	2.6 mm	0.5 mm	18 mm
8	2.6 mm	0.6 mm	19 mm
9	2.7 mm	0.7 mm	19 mm
10	2.7 mm	0.7 mm	20 mm

Cuadro 3: Iteraciones para dimensionamiento exacto del acople entre el eje y el rotor de la bomba. Fuente: Elaboración propia.

Se verificó que la distancia a la que este se colocaría fuera exacta para que el acople y el rotor giraran efectivamente, lo cuál requirió una última modificación a las dimensiones de la pieza antes de elaborar la versión final. Realizando un encaje a presión se unieron ambos elementos, y se procedió a colocar el motor en el soporte elaborado en el marco estructural, para poder realizar pruebas sobre el funcionamiento dirigido de la bomba hidráulica.

El último paso para la implementación final de este submódulo del proyecto sería la colocación de las mangueras para suministrar el agente de limpieza hacia los cepillos, y para esto se realizaron las modificaciones finales al marco estructural. Los cambios en el soporte principal se elaboraron para albergar un conjunto de piezas que protegerían al motor de limpieza de la varilla de cualquier posible salpicadura, y también tendrían las piezas para colocar las mangueras de la bomba. Para el protector del motor DC se dejó una holgura de 0.25 mm entre el diámetro del acople para los cepillos de limpieza

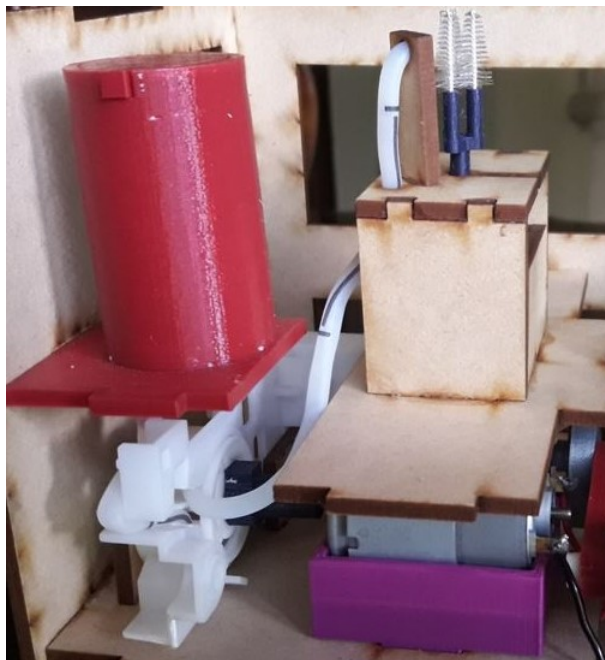


Figura 61: Sistema de aspersión, segunda iteración, implementado en marco estructural final

y el agujero central del protector para permitir la rotación producida para el eje del motor. Se colocó sobre este un soporte para colocar la manguera de los cepillos para la varilla principal, y se introdujo la manguera restante en el nuevo soporte, para implementar la división diseñada y suministrar el líquido de limpieza hacia ambos cepillos del cobertor. El resultado de este conjunto de piezas se puede observar en la siguiente figura, así como la implementación final del sistema de aspersión, que se elaboró en la última iteración del marco estructural.

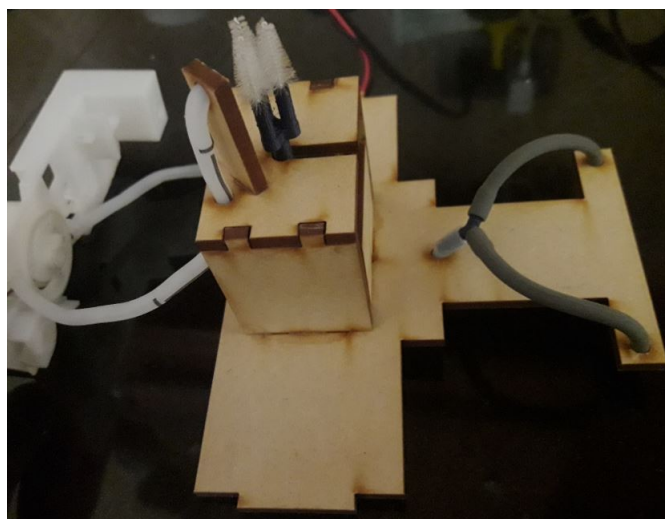


Figura 62: Colocación de soportes para mangueras hidráulicas



Figura 63: Sistema de aspersión ensamblado en la versión final del dispositivo de limpieza

9.3. Resultados de implementación

El resultado final del sistema de aspersión fue el único que se considera que debería de trabajarse de manera distinta si se buscara llevar el proyecto a una nueva fase de diseño. Se considera que los elementos que se diseñaron en 3D (el acople entre el motor y la bomba, el tanque rellenable y los soportes para las mangueras) fueron totalmente adecuados para el control de los actuadores seleccionados, pues el dimensionamiento al que se llegó permitió una implementación eficaz del submódulo previo a su ensamblaje, como se detallará en el capítulo de pruebas de funcionamiento. Sin embargo, si se considera la eficiencia en la transmisión de potencia a lo largo del sistema se verá que podría mejorarse sustancialmente. Esto se debe a que el torque requerido para accionar el rotor de la bomba es muy elevado, y por esto se requirió un motor de 24 V para realizar el trabajo. La corriente que este componente demanda para accionar la bomba es de superior a los 1200 mA, y se requirió un voltaje de 13.5 V para garantizar que el accionamiento se llevara a cabo. Este consumo de potencia podría ser optimizado si se seleccionaran distintos componentes (uno de estos se detallará en las recomendaciones para el proyecto), o bien implementando un tren de engranajes para llegar al torque requerido por el rotor. En conclusión, el diseño del sistema fue adecuado y su implementación sí pudo llegar a ser exitosa, pero los componentes empleados se pueden modificar para tener un mejor resultado. Si se cambiara la selección de la bomba hidráulica se podría tener un accionamiento menos demandante en términos de potencia, y solo habría que modificar los soportes del marco estructural para albergar estos nuevos componentes.

Selección e implementación de los actuadores y elementos de limpieza

Desde el inicio del diseño (cuando el enfoque del proyecto recaía en la limpieza de las piezas de los tres modelos de IQOS existentes en el mercado) se buscó establecer un consumo de potencia inicial para todo el proyecto, así como los voltajes necesarios para los actuadores y la corriente que estos consumirían. Se estableció qué motores podrían ser utilizados en el proceso de limpieza, y se realizó un conteo de los actuadores necesarios para cada una de las piezas a limpiar, llegando al siguiente listado de componentes:

- Un servo 9g SG90 para cada uno de los mecanismos de posicionamiento horizontal para la limpieza de los cobertores del calentador.
- Dos motores DC para cada uno de los mecanismos antes mencionados
- Un motor DC para cada uno de los calentadores que se debe limpiar
- Una bomba hidráulica para el control del sistema de aspersión

La selección inicial de componentes tendría 13 actuadores involucrados en la limpieza de las seis piezas existentes para los tres modelos de IQOS (2 piezas por modelo), y se podría requerir otros tres servos SG90 si se necesitara un movimiento para posicionar el motor de limpieza de las varillas principales. Además se debía considerar que si el torque proveído por estos no es suficiente para realizar un movimiento vertical, se podría implementar servos MG995, que ofrecen ocho veces el torque que los SG90 y también operan con el mismo voltaje.

Cuando el enfoque del proyecto se tornó a la limpieza del IQOS 2.4 solamente se dividió esta selección, manteniendo la idea original pero teniendo en mente solamente

uno de los cigarrillos electrónicos. A medida que se diseñó el mecanismo tipo tenaza y se iniciaron las consideraciones respecto a la bomba hidráulica se realizó un pedido inicial de motores para poder hacer pruebas con las piezas diseñadas. Debido a que se trataba de una fase temprana de diseño, solamente se consideraron las dimensiones de los motores DC que podrían ser utilizadas, y se adquirieron cuatro motores DC MT-01 de electrónica Tettsa. En un inicio parecían adecuados para todos los propósitos que se requerían, y se consideró que la implementación de motores idénticos para los distintos submódulos sería conveniente en el diseño de los acoples que se incorporarían a estos. Se carecía la información del torque máximo que estos motores podían proveer, y cuando se accionaron estos por primera vez se observaron varias deficiencias que tendría su implementación:

- El consumo de corriente de los motores sin carga era cercano a 1 amperio, lo cual impactaría el diseño del módulo eléctrico del prototipo. De implementarlos, se optaría por programar una secuencia en la cuál la mínima cantidad de motores se activaran a la vez, pero para que el diseño fuera eficiente debería de haber al menos 3 motores encendidos al mismo tiempo (uno para la varilla del IQOS, dos para el cobertor) y quizá tendría que accionarse el servo de igual manera, lo que causaría un consumo de más de 3 amperios sobre la fuente del proyecto.
- Los motores estaban diseñados para funcionar a altas revoluciones por minuto, pero con un torque mínimo. Las rpm elevadas serían útiles para los cepillos, pero la existencia mínima de fricción, por ejemplo dentro de la varilla del IQOS, causarían que el consumo de corriente incrementara y probablemente que los motores se detuvieran por exceso de torque sobre el eje.
- Las dimensiones de los motores quedaban justas para el mecanismo de posicionamiento, y se determinó que no quedaría espacio para los cepillos de limpieza para el cobertor. Esto llevó a cambios en el marco estructural y en el riel y eslabones del mecanismo, y también se determinó que motores de menor tamaño y menor consumo energético sería mejores para el proyecto.
- En el sistema de aspersión se requería un torque bastante elevado para accionar el rotor de la bomba, y sería imposible que un MT-01 pudiera proveerlo.

Con todos estos requerimientos funcionales en mente se procedió a seleccionar actuadores en base a la disponibilidad en las electrónicas nacionales y a elaborar un listado de componentes actualizado. Se tomaron ciertas consideraciones para la selección de motores, detalladas para cada uno de los procesos que se llevarían a cabo en la limpieza. Para la varilla del IQOS se sabe que existiría fricción considerable que se opondría al movimiento de los cepillos, producida por la lámina de calentamiento y por la superficie interior. Para la limpieza del cobertor se consideró que la carga sobre el eje de los motores sería solamente el peso del acople y los cepillos, y que se esperaba tener baja fricción entre estos y el interior del cobertor. Para el accionamiento del rotor se requeriría un torque bastante elevado y bajas revoluciones por minuto en el eje, ya que la bomba suministraría suficiente líquido para realizar una limpieza con escasas vueltas completas del rotor. También se tomó en cuenta que el diseño

del módulo electrónico del proyecto estaba provisto para suministrar un máximo de 15 V mediante su transformador. Una última consideración recayó en la falta de disponibilidad para obtener micro motores DC a nivel nacional, pues se buscó en varias de las electrónicas de la capital y solamente estaban disponibles motores de dimensiones similares a las del MT-01. Se planteó la siguiente selección de actuadores, que se podrían obtener con facilidad para el proyecto:

- Se mantuvo la selección del servo 9g, ya que las pruebas iniciales con el mecanismo demostraron que este era adecuado para el propósito.
- Se seleccionó un motor QK1-4639 para el accionamiento del rotor de la bomba persitáltica. Este es un motor DC de 24 V de alto torque utilizado en electrónicos Canon y se obtuvo de una impresora Canon iP2700. Se realizaron pruebas para verificar su funcionamiento adecuado y se optó por su implementación en el sistema de aspersión.
- Se seleccionó un motor RS-385SA-12200 para realizar la limpieza de la varilla principal del IQOS. Este motor tiene un voltaje nominal de 12 V, y funciona a 2700 rpm a máxima eficiencia, proveyendo un torque de 3.9 N*mm a través de su eje. Este se había adquirido previamente para elaborar otro proyecto, por lo que su uso estaba disponible para realizar las pruebas con los acoples y cepillos de limpieza.
- Se optó por implementar los micro motores DC que utilizan los servos 9g SG-90 para la limpieza de ambos lados del cobertor, ya que a nivel nacional no se encontraron micro motores DC con los que se pudiera realizar pruebas. Estos resultaron ser motores NFP-110-003, que tienen una espiga de 1 mm de diámetro y un largo total de aproximadamente 17 mm. Sus especificaciones serán incluidas en los anexos.

Para poder elaborar la limpieza de la varilla y el cobertor se requería una forma de acoplar cepillos de limpieza a los micro motores y al motor principal. Primero se seleccionaron los cepillos a utilizar, y para esto se visitó varios supermercados, en búsqueda de artículos de limpieza con dimensiones milimétricas que pudiera ingresar en los componentes del IQOS 2.4. Finalmente se optó por implementar cepillos de limpieza Oral-B, que se muestran en la figura a continuación. Estos son repuestos para dispositivos de higiene bucal, por lo que las cerdas que contienen podrían ser capaces de remover los restos de tabaco en las piezas sin causar cualquier daño superficial a la lámina o al cobertor.

Para poder realizar la implementación se diseñaron una variedad de acoples para los motores RS-385SA y NFP-110, de manera que se pudiera realizar encajes a presión entre sus ejes y el acople. Siguiendo los resultados del diseño del acople para el motor QK1-4639 (que se detalló en el capítulo del sistema de aspersión) se dimensionaron los acoples con un agujero de diámetro 0.2 mm mayor que el del eje. Para ambos casos, esta resultó ser la medida óptima para realizar el encaje, pues se elaboraron piezas



Figura 64: Cepillos de limpieza Oral-B implementados en el proyecto

con variaciones de agujeros de diámetros desde 0.1 hasta 0.3 mm mayores que el eje donde se insertarían, y los resultados no fueron efectivos. Se realizaron las mismas pruebas para obtener la medida que permitiría un encaje a presión con los cepillos de limpieza, y se llegó a un resultado idóneo si se tenía un diámetro de 1 mm en el agujero para el cepillo. Después de obtener estas dos dimensiones solamente restaba encontrar la longitud que el acople se extendería longitudinalmente respecto al eje del motor. Se dejaron las profundidades de los agujeros de manera que el eje del motor y los cepillos se pudieran introducir por completo en sus respectivas cavidades, y se midió el espacio disponible en el que se realizaría la limpieza. Para el motor principal, esta medida sería la distancia entre el borde del eje y la superficie interior de la varilla, donde brota la lámina de calentamiento. Era de importancia que los cepillos pudieran limpiar esta superficie, ya que es donde se acumula mayor cantidad de restos de tabaco y por esto se dejó la longitud del acople de manera que los cepillos pudieran tener un ligero contacto con esta. Para el mecanismo de posicionamiento, se colocó el cobertor del IQOS en su posición y se midió la distancia que restaba desde los bordes del cobertor hasta la superficie del eje de los micro motores. Con estas medidas se tuvo los siguientes resultados para los tres acoples diseñados, cuyo funcionamiento sería validado en las pruebas con los actuadores.

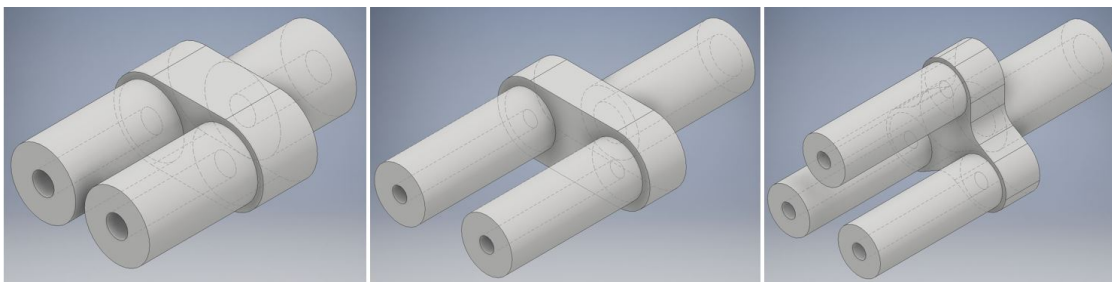


Figura 65: Acoples diseñados en 3D para cepillos de limpieza

Se realizaron las impresiones 3D de los acoples, y cabe destacar que se requirió repetirlas varias veces debido a que las impresoras no siempre lograban manufactu-

rar los agujeros de 1 mm y de 1.2 mm de diámetro. Cuando se tuvo un resultado satisfactorio en el acabado del acople y en su encaje con los cepillos, se procedió a encajarlos en los motores y así poder iniciar las pruebas de limpieza. Se elaboró un acople para albergar dos cepillos Oral-B tanto para el motor principal como para los motores del cobertor, y además se elaboró un acople con capacidad para tres cepillos para la varilla principal, pues se consideró que sería útil verificar si con esta cantidad se llegaba a una mejor limpieza.

Dimensión	Acople doble cobertor	Acople doble varilla	Acople triple varilla
Profundidad agujero cepillo	5 mm	9 mm	9 mm
Diámetro agujero cepillo	1 mm	1 mm	1 mm
Profundidad agujero eje	3.5 mm	8 mm	8 mm
Diámetro agujero eje	1.2 mm	2.25 mm	2.25 mm
Largo total acople	11 mm	19.5 mm	19.5 mm
Ancho máximo	6.9 mm	10.5 mm	8.5 mm

Cuadro 4: Dimensionamiento final establecido en los tres acoples diseñados para los cepillos.
Fuente: Elaboración propia.

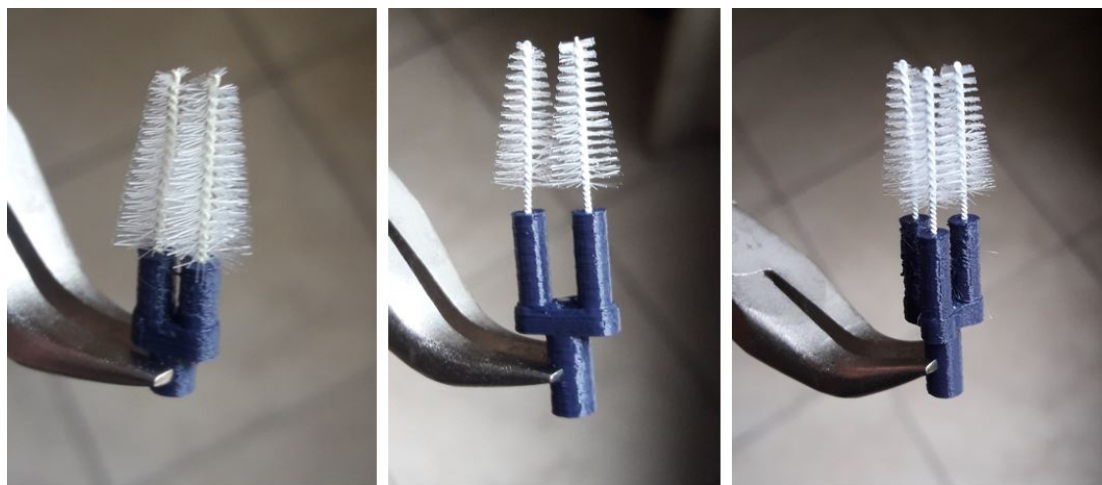


Figura 66: Implementación de acoples con cepillos de limpieza incorporados

Para poder colocar apropiadamente los cepillos se diseñaron los acoples de manera que estos pudieran ser insertados 9 mm dentro de la pieza en el caso de la varilla, y 5 mm en el caso del cobertor. Debido a que el agujero se dimensionó para encajar el filamento de los cepillos a presión, se requirió una pinza para ejercer fuerza sobre este para ingresarlo en el acople. Sin embargo, con cierta fuerza se pudo remover los cepillos de igual forma, por lo que confirmó que los cepillos podrían ser intercambiados fácilmente cuando su vida útil finalizara. En la siguiente figura se puede observar el posicionamiento de los acoples con sus cepillos en el cobertor, para la posición extendida del mecanismo.



Figura 67: Colocación de cobertor con los cepillos de limpieza incorporados al mecanismo

11.1. Pruebas con el mecanismo de posicionamiento

Para iniciar las pruebas con el mecanismo de posicionamiento antes expuesto se realizaron modificaciones para producir las piezas mediante corte láser y verificar el principio de funcionamiento previo a realizar una impresión 3D para todas las partes del mecanismo. Se unió el acople para el servo y se buscó unir los eslabones a los deslizadores, pero el resultado fue ineficaz.

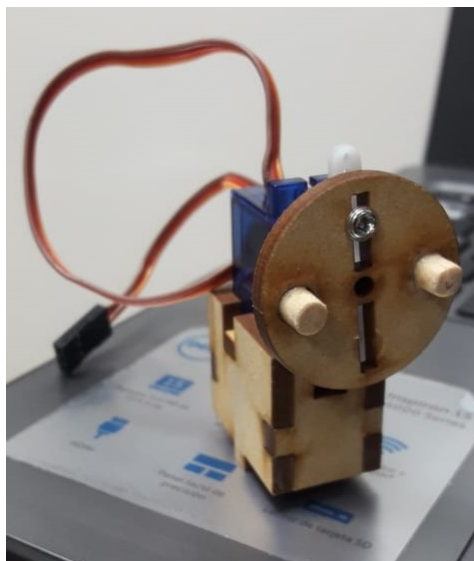


Figura 68: Acople para servo elaborado con corte láser

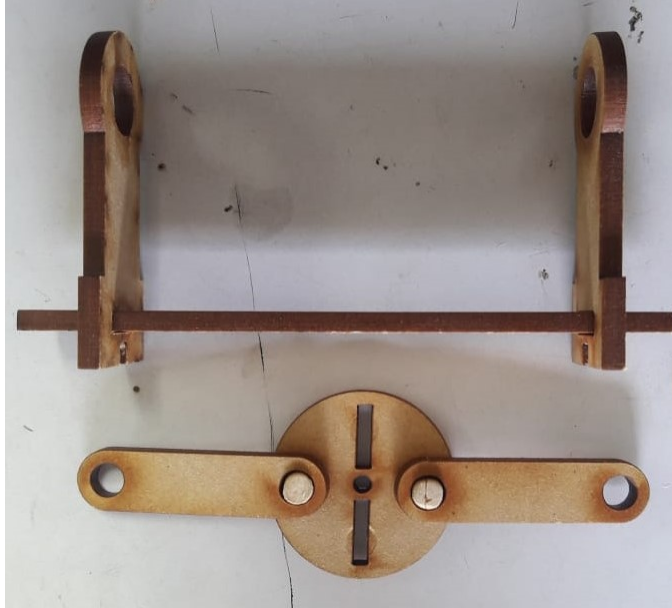


Figura 69: Piezas de mecanismo de posicionamiento elaboradas con corte láser

Debido a las propiedades del corte láser, no se había considerado adecuadamente el método para unir los eslabones al acople del servo y a los deslizadores, por lo que se realizaron cambios en el diseño original. Además, se eliminó uno de los eslabones debido a que se podía llegar al mismo resultado simplificando el mecanismo, como se describió anteriormente. Realizar el mecanismo mediante corte láser permitió mejorar el diseño y llegar a una versión más adecuada, que se presentó en su primera iteración.

Una vez rediseñado se realizó la impresión 3D del mecanismo, utilizando PLA a un alto de capa de 0.15 mm, para determinar si el movimiento lineal producido por el servo sería efectivo para acercar dos motores DC para realizar la limpieza del cobertor del IQOS 2.4. Se diseñaron un conjunto de sujetadores para unir los eslabones y permitir el grado de libertad deseado y fueron fabricados varias veces para determinar la dimensión adecuada para realizar un encaje a presión entre piezas y poder unirlos permanentemente. Se determinó que un diseño con diferencia de 0.5 mm entre el eje del sujetador y el agujero donde se inserta funcionaría para realizar el encaje deseado.

Para poder realizar las pruebas se diseñó una base para el servo y una base para el riel, de manera que se pudieran acoplar al marco estructural a una distancia variable. Esto se hizo para determinar cuál sería el mejor posicionamiento para el mecanismo usando el marco construido, y así obtener las medidas concretas de su elaboración física fabricada con corte láser e impresión 3D. Una vez se posicionó este dentro del marco, se le añadió goma blanca a los soportes para adherirlos y que se pudiese realizar las pruebas con el servo. La colocación inicial del mecanismo en la estructura se puede observar en la siguiente figura, en donde los deslizadores se encuentran a una mínima separación de la pieza frontal del marco, simulando el espacio en donde estos se ubicarían para limpiar el cobertor.

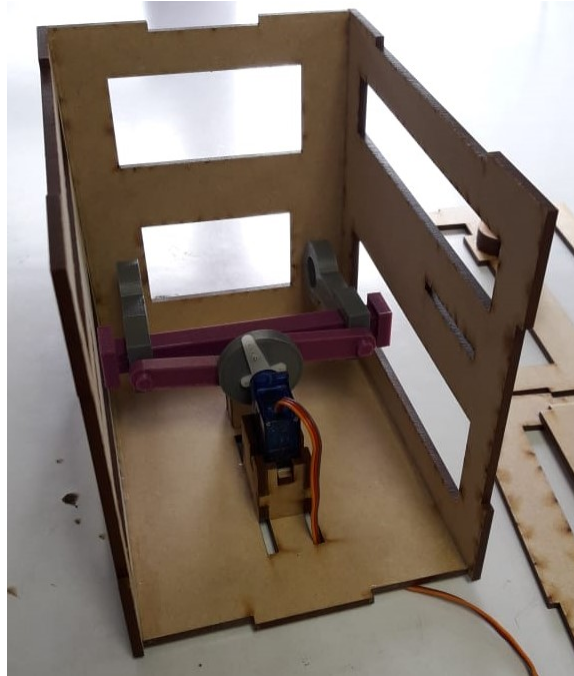


Figura 70: Colocación del mecanismo de posicionamiento para realizar pruebas de movimiento

Para validar el mecanismo se elaboró un programa en Arduino para rotar el servo a distintas velocidades y se configuró un barrido de posición angular y un movimiento directo de una posición a otra. Para el barrido de posiciones se empleó una serie de retrasos temporales entre cada movimiento del servo, de manera que se efectuara el ciclo de traslación desde una extensión completa de los eslabones hasta una retracción máxima de los mismos en períodos desde 1 hasta 4 segundos. Esto simularía tanto un movimiento acelerado en la inserción de los cepillos de limpieza, como un movimiento controlado y de baja velocidad. En el caso del movimiento directo entre posiciones solamente se fijaron los ángulos entre los cuáles se desplazaría el acople diseñado, con mínimos retrasos temporales programados entre los movimientos, para ver la reacción del mecanismo con ciclos de traslación menores a 1 segundo. Para ambos casos el movimiento lineal fue satisfactorio para todas las pruebas realizadas, y se confirmó que el diseño sería capaz de ubicar los dos motores de limpieza a los lados del cobertor de manera segura. Se observó que el ciclo mínimo de retracción y expansión podría ser de 0.75 segundos, ya que para tiempos menores la respuesta del mecanismo no era suficiente para realizar el movimiento efectivamente. Sin embargo, se consideró que los rangos en los que este fue eficaz eran totalmente adecuados para la finalidad planteada. A continuación se muestra una tabla con todas las pruebas realizadas para validar el mecanismo.

Posterior a las pruebas de movimiento realizadas, las verificaciones restantes para el mecanismo de posicionamiento fueron mínimas. Después de realizar las modificaciones mencionadas anteriormente se volvió a verificar el movimiento fluido de los deslizadores, empleando las nuevas piezas fabricadas. Utilizando la versión final del mecanismo, se añadieron los micro motores DC, encajándolos a presión en los deslizadores y después de colocar el cableado de estos en su respectivo lugar se verificó

Prueba	Tiempo de retracción	Tiempo de expansión	Tiempo del ciclo total
Barrido de Posición	2 s	2 s	4 s
	0.75 s	3.25 s	4 s
	1 s	1 s	2 s
	1.5 s	0.5 s	2 s
	0.5 s	1.5 s	2 s
	0.5 s	0.5 s	1 s
Traslación directa	-	-	1 s
	-	-	0.75 s
	-	-	0.5 s

Cuadro 5: Pruebas realizadas para el movimiento del mecanismo de posicionamiento diseñado.
Fuente: Elaboración propia.

que no existiera una restricción al movimiento debido a la tensión en los cables. Con este ensamblaje final se procedió a colocar el cobertor en su sujetador, y a accionar el mecanismo utilizando el programa de barrido en el Arduino. Debido a que se alinearon los ejes de cada motor con el sujetador, no hubo problema con que los cepillos ingresaran en cada uno de los lados del cobertor. En la figura inferior se puede observar el mecanismo final con el cobertor puesto en su lugar, en las posiciones extremas a las que se colocarían los eslabones.

Para el accionamiento de los motores NFP-110 se utilizaron 2.5 V, ya que el rango de operación de estos es entre 1.5 y 3.0 V. Se procedió a activar el mecanismo de posicionamiento para retraer los deslizadores hacia el interior del cobertor y accionar los micro motores en el interior de este. Se llegó a la conclusión de que 2.5 V eran suficientes para que los motores funcionaran de manera continua dentro del cobertor, y el movimiento del mecanismo no se vio afectado por el accionamiento de estos.



Figura 71: Posicionamiento del cobertor IQOS 2.4 en el prototipo final

11.2. Pruebas con el sistema de aspersión

Se realizaron las primeras pruebas mediante accionamiento manual de la bomba, previo al diseño del acople para el motor DC, para verificar que su implementación sería adecuada. Se conectaron las mangueras que poseía la bomba y se giró su rotor manualmente para transportar agua desde el tanque diseñado hacia otro recipiente, pues este sería el principio de funcionamiento del sistema. Al introducir un motor DC para activar el rotor se tendría una expulsión a alta velocidad del líquido, dependiendo del voltaje que se le proveyera a este. Cabe destacar que la fuerza manual requerida para girar el rotor era considerable, y este aspecto no se tomó en cuenta inicialmente al adquirir los motores MT-01. Posterior al diseño del acople que transmitiría la rotación de este actuador hacia el rotor de la bomba se iniciaron las pruebas para el funcionamiento controlado del sistema de aspersión. Ya que los motores MT-01 funcionan solamente a alta velocidad con un torque de transmisión mínimo, no se logró accionar el rotor con este actuador. Sin embargo, al realizar las pruebas con el motor QK1-4639 de 24 V se observó que el torque transmitido a un voltaje alto de 15 V fácilmente giraba el rotor a una velocidad considerable. Por esto, se procedió a buscar el mínimo voltaje que se podría proveer al motor para que se tuviera un accionamiento por un corto período de tiempo. Debido a que los resultados variaban ligeramente en cada corrida, se decidió promediar el resultado de diez accionamientos de la bomba, en donde se incrementaba el voltaje progresivamente hasta que el rotor empezaba a girar. Se obtendría el promedio de estos valores para tener un valor nominal para el accionamiento del rotor, y así establecer la señal con la que se controlaría, incrementando ligeramente este valor nominal. Se llegó a un valor promedio de 12.45 V para accionar la bomba sin ningún líquido en su interior (por la teoría investigada, se sabía que las bombas peristálticas sí funcionan en seco). A la hora de ingresar agua en el tanque, este valor incrementó a un promedio de 13.41 V para accionar la bomba, lo cuál resultaba óptimo al considerar que la etapa de potencia en el sistema eléctrico sería capaz de proveer 15 V a los circuitos. Los resultados de estas pruebas se muestran en el siguiente cuadro.

Prueba No.	Voltaje de accionamiento en seco	Voltaje de accionamiento con líquido
1	12.3 V	13.3 V
2	12.4 V	13.7 V
3	12.7 V	13.5 V
4	12.6 V	13.4 V
5	12.3 V	13.4 V
6	12.3 V	13.2 V
7	12.4 V	13.6 V
8	12.6 V	13.5 V
9	12.5 V	13.3 V
10	12.4 V	13.2 V
Promedio	12.45 V	13.41 V

Cuadro 6: Pruebas del voltaje de accionamiento para el rotor de la bomba peristáltica utilizada. Fuente: Elaboración propia.

11.3. Pruebas con el motor de limpieza principal

Posterior al diseño de los acoples y a la selección de cepillos de limpieza que se expuso en capítulo anterior se iniciaron las pruebas para la limpieza de la varilla del IQOS 2.4. Debido a que se consideró que el acople con capacidad para tres cepillos de limpieza podría cubrir un mayor área en el interior de la varilla, y además se podría tener una mayor duración de los cepillos si la limpieza recaía en tres elementos, se realizaron las primeras pruebas con este. Según las pruebas que se hicieron con los motores MT-01, se teorizó que la fricción generada por los cepillos con el interior del IQOS y con la lámina de calentamiento vencería el reducido torque que estos podían proveer. Sin embargo, se realizó el encaje a presión del acople mencionado con un MT-01 y se le adicionaron los cepillos para verificar esta conjetura. Se acertó parcialmente, ya que el motor sí lograba cumplir la tarea bajo ciertas condiciones: si se accionaba el motor con los cepillos dentro de la varilla no se tenía una rotación del acople, más si se iniciaba la rotación y se ingresaba en la varilla activado el motor sí podía mantener el giro con los cepillos. Se llegó a la conclusión de que este principio de funcionamiento no sería adecuado para el prototipo, ya que la colocación del IQOS con el motor de limpieza activado causaba vibraciones no deseadas sobre el primero.

Posterior a la selección de actuadores adecuados, se hicieron pruebas con el motor RS-385SA-12200, utilizando el acople de tres cepillos de limpieza. Se encajó en el eje del motor, que afortunadamente poseía el mismo diámetro que el del MT-01, y se colocó en el marco estructural en su posición establecida. Se colocó la varilla del IQOS en su respectivo lugar, y se accionó el motor estableciendo un voltaje de 5 V. Sorpresivamente, incluso a este bajo nivel de voltaje el torque del motor fue capaz de vencer la fricción generada por los cepillos dentro del IQOS. Se elevó el voltaje hasta 7.5 V, lo cuál generó ciertas vibraciones sobre la varilla que podrían tener repercusiones no provistas sobre el dispositivo. Por esto, se consideró que una entrada de entre 5 y 6 V sería adecuada para el motor RS-385SA, para minimizar la posibilidad de que ocurriera algún error no provisto durante la limpieza de la varilla. Cabe destacar que al finalizar la prueba de limpieza los cepillos egresaron de la varilla con un color café, característico de los residuos de tabaco. Esto indicó que el prototipo cumplió su funcionalidad, incluso antes de incluir el agente de limpieza en el proceso.

11.4. Pruebas conjuntas con los submódulos del proyecto

Una vez se validó el funcionamiento de todos los componentes mencionados, se procedió a establecer una simulación del proceso de limpieza que el dispositivo seguiría al ser activado por un operador. Con esto se buscaría verificar el funcionamiento independiente del módulo mecánico del proyecto, elaborando la secuencia que todos los actuadores seguirían, en base al diseño propuesto. Se estableció el siguiente procedimiento, que se consideraría un 'ciclo de trabajo' del prototipo:

- Para el funcionamiento del dispositivo se debería tener activado el interruptor principal, que activaría la fase de potencia del módulo eléctrico que controlará todos los actuadores implementados. Después de cierto tiempo de arranque, si fuera necesario, se desplegaría un mensaje en la pantalla LCD para informar que el dispositivo está listo para su uso.
- Debido a la colocación de los cepillos de limpieza de la varilla, se debe de accionar primero el sistema de aspersión para rociar el agente de limpieza sobre estos, con los motores girando a mínimas revoluciones por minuto para evitar salpicaduras hacia el resto de componentes. El operario debería presionar un botón para indicar que se quiere iniciar un ciclo de limpieza, y en este momento se accionaría la secuencia mencionada y se desplegaría un mensaje en la pantalla para indicar que el dispositivo está listo para que se coloquen las piezas del IQOS 2.4.
- Una vez estén listos los cepillos, el operario colocaría en su posición la varilla y el cobertor del producto, tomando en cuenta que a este se le haya demostrado previamente la colocación adecuada de cada una de las piezas del IQOS. Todos los motores se encontrarían detenidos, y el mecanismo de posicionamiento en su posición extendida para que se pueda colocar el cobertor.
- Con las piezas a limpiar conectadas, se iniciaría por activar el servo para retraer los deslizadores hacia adentro del cobertor. Una vez en posición, se accionarían los motores del mecanismo, en conjunto con el motor de la varilla para elaborar la limpieza de ambas piezas al mismo tiempo. Se mantendría este accionamiento por un período de tiempo específico, que sería establecido después de realizar las pruebas (por ejemplo, 15 segundos).
- Luego se detendría el motor principal, y se activaría de nuevo el servo para retraer los cepillos del cobertor. Este movimiento se realizaría a muy reducida velocidad y con los motores aún encendidos, para aprovechar el movimiento y extraer cualquier los restos que se podrían mantener en el interior del cobertor.
- El último paso sería detener los motores del cobertor, cuando el mecanismo se ubique en su posición de máxima extensión. Para indicar al operador que el proceso ha finalizado se desplegaría un mensaje en la pantalla LCD, para que se retiren las piezas del IQOS.

Utilizando los principios de esta secuencia se procedió a simular el funcionamiento del prototipo, conectando los actuadores a un protoboard que estuviera alimentado por los distintos niveles de voltaje que proveería el módulo eléctrico del proyecto. Como se estableció en las pruebas de funcionamiento, se utilizaró una fuente de voltaje para generar señales de 2.5, 6.0, y 13.5 V para el accionamiento de los micro motores DC, el motor principal y el motor del sistema de aspersión, respectivamente. También se incluyó la simulación de una señal PWM para controlar el servo, empleando un generador de funciones, y variando su frecuencia para modificar su posición. Se activaron los componentes en el orden mencionado mediante estas señales para simular el comportamiento del dispositivo. Primero, se activó la señal del sistema de aspersión para rociar el agente de limpieza a los cepillos, que se encontraban estáticos. Luego se

colocaron las partes del IQOS 2.4 en sus respectivos lugares en el marco estructural y se activaron los motores utilizando la secuencia descrita anteriormente.

Los resultados de esta simulación de limpieza fueron apropiados para la secuencia que se elaboró manualmente. Los motores se habían utilizado por separado previamente, por lo que el proceso de limpieza solamente requería la emulación del trabajo que ejercerá el microcontrolador para activar la etapa de potencia de cada motor. Debido a que las consideraciones de voltaje y corriente fueron supervisadas durante las pruebas preliminares con los submódulos, solamente se requería la verificación del consumo total de corriente al elaborar el procedimiento, para que este no excediera la corriente máxima de 3 amperios que el transformador puede proveer. Utilizando la secuencia descrita el consumo máximo ocurre cuando se activa el motor del sistema de aspersión, que consume un máximo de 1.6 A para impulsar el rotor. Además, cuando se activó el motor de la varilla principal y los dos motores del cobertor se tuvo un consumo máximo de 350 mA por el primero y 270 mA por los dos restantes. Incluso si se activara el servo con estos motores encendidos, la corriente consumida no superaría los 0.85 A.

El único inconveniente que se enfrentó durante la realización de las pruebas fue el accionamiento del sistema de aspersión, ya que durante las pruebas se desensambló el rotor de la bomba peristáltica involuntariamente durante la recolocación de las mangueras. Cuando se volvieron a unir las piezas de la bomba, se observó que el giro del rotor resultaba ligeramente más complicado que en las pruebas anteriores. Se concluyó que se debe haber introducido cierto tipo de resistencia a las mangueras de la bomba cuando se rearmaron sus piezas, o existió alguna deformación en estas que complicó la transmisión del líquido. Esto causó que el voltaje necesario para activar el rotor incrementara, y su comportamiento se volvió errático. Se realizaron pruebas posteriores para determinar si se podía obtener el control con 13.5 V como se tenía inicialmente, pero los resultados fueron variados. Para el primer intento se requirió una señal de 18 V para accionar el sistema de aspersión, lo cual está fuera de los límites proveídos por el la fuente de poder. Se decidió desensamblar el rotor de la bomba para intentar reducir la resistencia adicional que se impuso sobre las mangueras. Se buscó liberar la presión intrínseca que la bomba ejercía sobre estas, ya que para mantenerlas en su lugar se requiere posicionarlas con cierto esfuerzo sobre su superficie. Se buscó reconfigurarlas de forma que la presión ejercida por los rodillos dentro del rotor fuera mínima, y se recortaron ciertas partes de este en donde se ejercía mayor esfuerzo sobre las mangueras. De esta manera se logró reducir el voltaje requerido para accionar el rotor, y en pruebas posteriores este voltaje varió desde 14 hasta 16 V. En la mayoría de las experimentaciones sí se logró accionar la bomba de la misma manera en la que lo realizaría la etapa de potencia para realizar las pruebas de limpieza requeridas, por lo que se considera que, para el propósito de validación del prototipo, la bomba peristáltica cumplió su objetivo. Para proseguir con el proyecto en una fase futura, se requeriría una bomba hidráulica diseñada o adquirida para cumplir los requerimientos del proyecto de manera eficiente.

1. El diseño 3D y la selección de actuadores se llevó a cabo exitosamente para el marco estructural, el mecanismo de posicionamiento y el sistema de aspersion. Se logró implementar las piezas de forma adecuada debido al amplio uso de ensamblajes en Inventor que permitían visualizar la unión de todos los submódulos desarrollados, y se pudo elaborar un prototipo final del módulo mecánico que efectuó la limpieza de las piezas del IQOS 2.4 sin dañar su integridad.

2. El marco estructural proveyó el soporte necesario para mantener todas las piezas diseñadas y los actuadores en su respectiva posición durante el proceso de limpieza, y presentó un diseño adaptable a cualquier modificación que se buscara realizar para optimizar el prototipo.

3. Los 4 motores DC y el servomotor seleccionados, así como el mecanismo diseñado, cumplieron sus funciones exitosamente, por lo que si se realizara una extensión de este proyecto se podría continuar implementando estos componentes. La única selección que produjo dificultades de implementación fue la bomba hidráulica, pues aunque cumplió su función, se determinó que no es la solución más eficiente a la que se podría llegar.

4. Los prototipos elaborados mediante corte láser de MDF a 3.2 mm de espesor e impresión 3D en PLA fueron totalmente ilustrativos de los principios mecánicos y estructurales que se plantearon en los diseños. La rigidez y facilidad de adhesión del MDF permitió elaborar la estructura, y la aplicación de los encajes a presión entre dos piezas de PLA y entre PLA y otros materiales permitió añadir el grado de precisión necesario para la seguridad del dispositivo de limpieza.

5. Las pruebas de operación individuales y en conjunto validaron el principio de funcionamiento del dispositivo de limpieza, permitieron el análisis de las dificultades que se enfrentaron en el proyecto y brindaron ideas para amplias recomendaciones de cómo expandir y optimizar el proyecto.

Recomendaciones

1. Para el marco estructural se podría optimizar el espacio total si se redujera la altura en los soportes del mecanismo de posicionamiento y en los soportes de la bomba (se podría incluso trasladar el soporte de la bomba hacia el soporte que divide los módulos del proyecto, reubicando los componentes del sistema de aspersión). Esto llevaría a una reducción en la altura total del dispositivo, y solamente se requeriría una modificación de las piezas que contribuyen a este espaciado. Se estima que la altura total podría reducirse por mínimo una pulgada con estos cambios, y también se podrían eliminar ciertas piezas del ensamblaje.

2. El único aspecto optimizable del mecanismo de posicionamiento sería la adición de un lubricante entre la superficie del riel y de los deslizadores para prolongar su vida útil ante cualquier desperfecto que se pueda tener en el PLA después de repetidos ciclos de limpieza. Otra opción podría ser implementar una barra de acero inoxidable para el riel de deslizamiento, lo cual reduciría la fricción en los deslizadores y brindaría un mejor acabado para el mecanismo. También se podría adicionar una protección contra las salpicaduras a los deslizadores, para garantizar la integridad de los micro motores NFP-110-003.

3. La bomba hidráulica que se implementaría para el sistema de aspersión presenta dos alternativas: Se podría elaborar el diseño de una bomba peristáltica, que utilice piezas impresas con PLA y un conjunto de cojinetes para ejercer esfuerzo sobre una manguera de silicona, o bien se podría adquirir una bomba de diafragma RS-365, que contiene un motor DC para su accionamiento. Para la primera alternativa se tiene el beneficio de poder diseñar la bomba para ajustarse a las condiciones específicas del proyecto, y se podría dimensionar la vida útil de la bomba mediante el tiempo de vida de los cojinetes implementados. En el segundo caso, se debería realizar pruebas para determinar que las especificaciones de la bomba RS-365 sean apropiadas para suministrar el agente de limpieza. En el anexo 3 se proveen los datos obtenidos para esta bomba de diafragma.

4. La colocación de las mangueras a través de sus soportes resultó complicada por la fricción que la silicona ejerce sobre el MDF a la hora de tratar de introducir las por los agujeros elaborados. Con el afán de preservar las medidas de los agujeros para producir el soporte sobre las mangueras, se considera que la opción más sencilla es implementar la ranura que se utilizó para encajar el acople en el protector del motor principal. Para esto solamente se debe crear una ranura desde el borde de la pieza de MDF hacia el agujero, y verificar que esta esté centrada respecto al mismo. Una medida de 0.75 veces el diámetro del agujero produciría un buen acabado en la pieza, permitiendo introducir la manguera flexible a través de la ranura hacia el agujero donde permanecerá. Para mangueras de silicona, una implementación adecuada se puede llevar a cabo con un diámetro de agujero 0.25 mm menor que el diámetro exterior de la manguera.

5. El prototipado utilizando MDF de 3.2 mm fue efectivo a lo largo del proyecto, pero para lograr un acabado final de mayor calidad se puede implementar el diseño con planchas de metacrilato del mismo espesor, y se optimizaría el prototipo respecto a la susceptibilidad a las salpicaduras del agente de limpieza.

6. El diseño de un tanque de mayor capacidad para el agente de limpieza del sistema de aspersión ya fue elaborado, y el marco está adaptado para su implementación. Se tiene una manipulación más cómoda para que un operario pueda rellenarlo con facilidad, y se calculó que el espacio interior podría albergar cerca de 63.25 cc de líquido (aprox. 63 ml). La impresión de este llevaría un tiempo estimado de 6 horas y 15 minutos a un alto de capa de 0.2 mm.

7. Para optimizar la limpieza de la varilla del IQOS se podría seleccionar cepillos con geometrías que contengan cerdas paralelas al filamento en los extremos de este. Esto permitiría un mayor alcance de la base de la lámina, que es donde se acumulan restos de tabaco con mayor frecuencia.

-
- [1] O. Smoking y C. O. Health, “Smoking and Tobacco Use; Electronic Cigarettes. 2019”, *Centers for Disease Control and Prevention*, [En línea] Accesado el 23 de mayo de 2019. dirección: https://www.cdc.gov/tobacco/basic_information/e-cigarettes/spanish/acerca-de-los-cigarrillos-electronicos.html.
 - [2] C. Segura, “Un mes fumando sin miedo. 2017”, [En línea] Accesado el 15 de marzo de 2019. dirección: <https://www.soho.co/entretenimiento/articulo/iqos-un-mes-fumando-sin-miedo/49492>.
 - [3] M. de Salud Pública y Asistencia Social. 2016, “Encuesta Mundial de Tabaquismo en Jóvenes”, [En línea] Accesado el 15 de marzo de 2019. dirección: <http://epidemiologia.mspas.gob.gt/files/Publicaciones%202018/Enfermedades%20No%20Transmisibles/Encuesta%20Mundial%20de%20Tabaquismo%20Resumen.pdf>.
 - [4] *IQOS, nuestra experiencia con el nuevo producto de PMI. 2017*, [En línea] Accesado el 15 de marzo de 2019. dirección: <https://www.gizlogic.com/iqos-experiencia-opiniones-salud>.
 - [5] *Four-Bar Mechanisms. 2012*, [En línea] Accesado el 8 de marzo de 2019. dirección: https://ocw.metu.edu.tr/pluginfile.php/6885/mod_resource/content/1/ch7/7-1.htm.
 - [6] *Grashof's Law. 2018*, [En línea] Accesado el 8 de marzo de 2019. dirección: <https://raja-dknmu.blogspot.com/2017/11/grashofs-law-grashofs-law-states-that.html>.
 - [7] *Chapter 5. Planar Linkages. 2018*, [En línea] Accesado el 10 de marzo de 2019. dirección: <https://www.cs.cmu.edu/~rapidproto/mechanisms/chpt5.html#HDR70>.
 - [8] *Slider-Crank Mechanisms. 2012*, [En línea] Accesado el 10 de marzo de 2019. dirección: https://ocw.metu.edu.tr/pluginfile.php/6885/mod_resource/content/1/ch7/7-2.htm.
 - [9] R. G. Budynas, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, 9na ed.* McGraw-Hill Publisher, 2008.

- [10] *Useful information on Gear Pumps. 2019*, [En línea] Accesado el 15 de Marzo de 2019. dirección: <https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/gear-pumps>.
- [11] *Screw Pumps in Oil and Gas Applications. 2008*, [En línea] Accesado el 22 de mayo de 2019. dirección: <https://www.pumpsandsystems.com/topics/pumps/rotary-pumps/screw-pumps-oil-and-gas-applications>.
- [12] *What is a Screw Pump? | Types of Screw Pumps | PowerZone. 2018*, [En línea] Accesado el 22 de mayo de 2019. dirección: <https://www.powerzone.com/resources/glossary/screwpump>.
- [13] *Rotary Lobe Pumps. 2016*, [En línea] Accesado el 22 de mayo de 2019. dirección: <https://www.verderliquids.com/int/en/pumps-by-principle/how-do-rotary-lobe-pumps-work>.
- [14] *Rotary Lobe Pumps: How they Work and Where they're Used - Empowering Pumps and Equipment. 2018*, [En línea] Accesado el 22 de mayo de 2019. dirección: <https://empoweringpumps.com/borger-how-do-rotary-lobe-pumps-work-where-rotary-lobe-pumps-used-wastewater-water>.
- [15] *Advantages Peristaltic Pumps. 2017*, [En línea] Accesado el 23 de mayo de 2019. dirección: <https://www.verderliquids.com/int/en/pumps-by-principle/how-do-peristaltic-pumps-work/working-principle-peristaltic-pumps>.
- [16] *RS385 Electric 24V 12V Brushed DC Motor. 2019*, [En línea] Accesado el 6 de agosto de 2019. dirección: <https://leisonmotor.en.made-in-china.com/product/UbymFzioXvpE/China-RS385-Electric-24V-12V-Brushed-DC-Motor.html>.
- [17] *10mm Micro DC Motor - 15mm type |. 2019*, [En línea] Accesado el 6 de agosto de 2019. dirección: <https://nfpshop.com/product/10mm-vibration-motor-15mm-type-model-nfp-110-003>.
- [18] *Bomba de agua 12v motor 385. 2019*, [En línea] Accesado el 9 de septiembre de 2019. dirección: <https://www.electronicadiy.com/product-page/bomba-de-agua-12v>.

15.1. Anexo 1: Tabla de propiedades para motor RS-385SA

Electrical Specification												
Model	Voltage		No Load		At Maximum Efficiency					Stall		
	Operating Range	Nominal	Speed	Current	Speed	Current	Torque		Output	Torque		Current
			r/min	mA	r/min	mA	mN·m	g·cm	w	mN·m	g·cm	mA
RS385SH-17100	DC 9-18V	DC 12V	7000	0.12	5580	0.436	6.74	68.8	3.94	33.3	340	1.8
RS-385SH-2160	DC 9-18V	DC 12V	10000	0.22	8190	1.00	8.5	86.8	7.31	47.04	480	4.5
RS-385SH-2175	DC 12-24V	DC 24V	20000	0.23	17000	1.38	12.7	130	22.8	87.8	896	8.1
RS-385SA-2546	DC 6-15V	DC 12V	16000	0.34	13800	1.5	9.3	95	13.4	68	693	8.8
RS-385SA-12200	DC 6-12V	DC 12V	3400	0.09	2700	0.21	3.9	40	1.13	20.8	212	0.8

Figura 72: Propiedades del actuador RS-385SA [16]

15.2. Anexo 2: Tabla de propiedades para motor NFP-110-003

MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		AT MAXIMUM EFFICIENCY					STALL		
	OPERATING	NOMINAL	SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE		OUTPUT	TORQUE		CURRENT
	RANGE	V	r/min	A	r/min	A	mNm	g·cm	W	mNm	g·cm	A
110-003	08130	2.0-3.0	3	15200	0.045	11800	0.16	1.6	0.19	0.89	7	0.55
	07170	1.5-3.0	2	8000	0.025	6000	0.075	0.9	0.06	0.35	3.6	0.23
	10100	1.5-4.0	2.8	18000	0.05	14800	0.19	2	0.3	1.1	11	0.88

Figura 73: Propiedades del actuador NFP-110-003 [17]

15.3. Anexo 3: Bomba hidráulica de diafragma con motor RS-385



Figura 74: Bomba de diafragma con motor RS-385 [18]

ESPECIFICACIONES

Tamaño de la bomba	40 mm x 90 mm x 35 mm
Diámetro de salida	6 mm, diámetro exterior 9 mm
Voltaje de funcionamiento	DC6-12 v 9 v1a 12 v1a (recomendado)
Corriente de trabajo	0.5-0.7 - A
Caudal	1.5 a 2 litros / Min (aproximadamente)
Mayor succión	2 m
Altura máxima de bombeo	el máximo es de 3 metros
Vida de la bomba	Hasta 2500 horas
Color	Blanco y plata
Temperatura del agua	Hasta 40 grados centígrados
Potencia	Cuando el voltaje es de 6V la potencia es de 6 W/Hora

Figura 75: Especificaciones de bomba de diafragma [18]

15.4. Anexo 4: Tanque expandido de 63 ml para sistema de aspersión

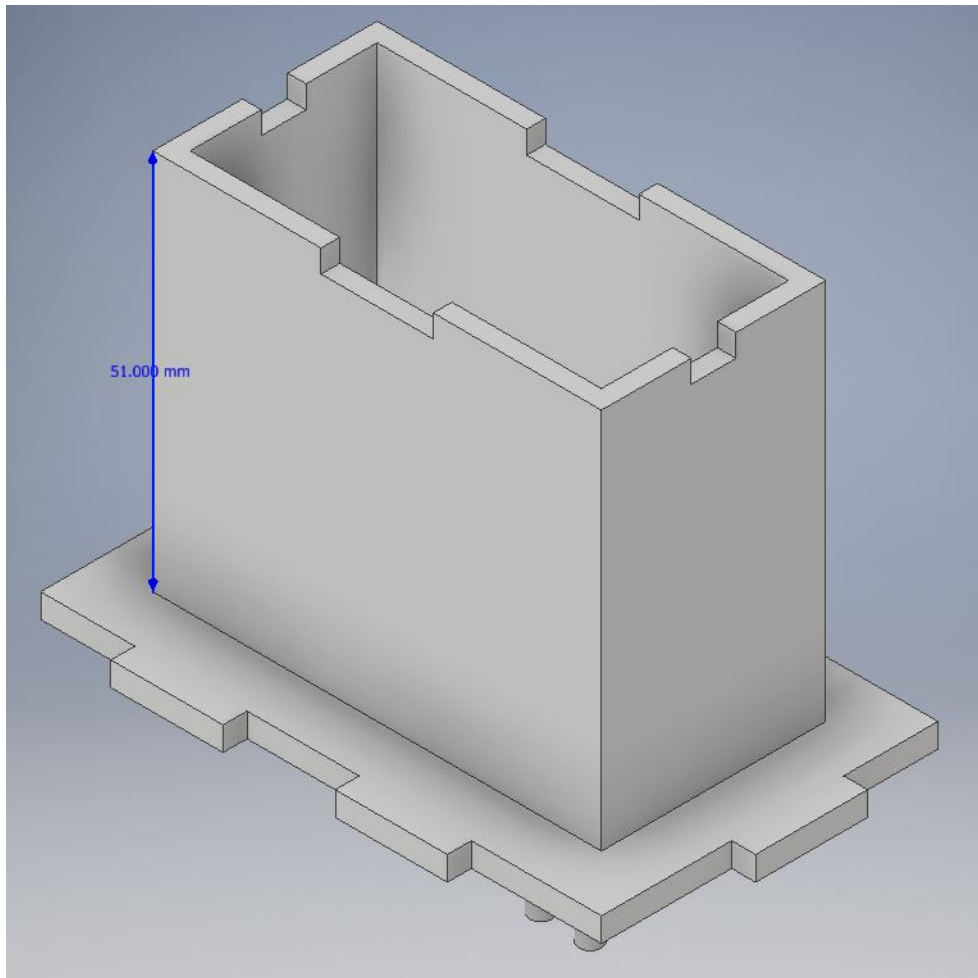


Figura 76: Dimensionamiento de tanque expandido

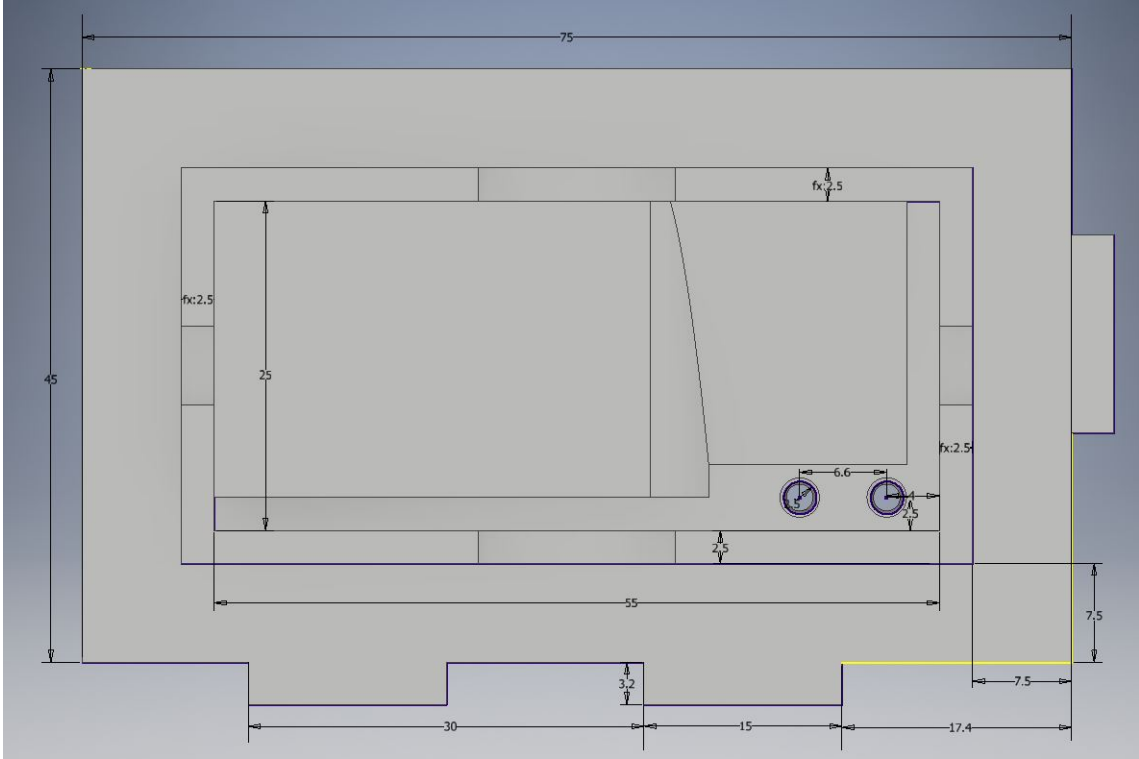


Figura 77: Dimensionamiento de tanque expandido