



Diseño de un robot prototipo
limpiador de ventanas de vidrio en
rascacielos con Solidworks y Simulink.

Cristian Felipe Umbariba Avila

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá DC, Colombia

2022

Diseño de un robot prototipo limpiador de ventanas de vidrio en rascacielos con Solidworks y Simulink.

Cristian Felipe Umbariba Avila

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecatrónico

Director:

Ph.D. Sergio Andres Diaz Salas

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá DC, Colombia

2022

Resumen

En la actualidad, la limpieza de vidrios para los edificios es realizada por diferentes empleados, analizando este problema se observa que se tiene un déficit de inmersión de la tecnología en estas labores. En este texto se presentará un prototipo conceptual de robot limpiador para cristales, capaz de encargarse de esta tarea sin comprometer la vida humana.

En el presente documento encontrará el análisis y estudio del robot prototipo y las herramientas que se utilizaron para su diseño y análisis, basado en su mayoría de estudio gracias a las investigaciones realizadas por otras entidades en busca de mitigar este problema.

Para lograr llegar al diseño presentado en el documento, se tuvo una investigación en diversas plataformas y documentos realizados por estudiantes en carreras a fines sobre la misma temática, en donde algunos solo analizan ciertas estructuras y otros realizan un diseño. Analizando dichos diseños en los cuales los mismos realizadores dan opinión sobre las falencias del mismo, se propone en este trabajo las posibles mejoras para el diseño llegando a la obtención de un diseño optimo, menos invasivo a la vista y con una mejora significativa en el tiempo de proceso de la limpieza respecto al tiempo tomado por el personal humano para las ventanas de los rascacielos.

Al final del diseño se obtiene una mejora significativa en el tiempo de limpieza tradicional (Con personal humano), un diseño poco invasivo visualmente y con un estándar de seguridad más elevado al de diseños anteriores y existentes.

Palabras clave: Prototípo, robotico, diseño,limpiador de cristales.

Abstract

At present, the cleaning of glass for buildings is carried out by different employees, analyzing this problem it is observed that there is a lack of immersion of technology in these works. This text presents a conceptual prototype of a window cleaning robot, capable of taking on this task without compromising human life.

In this document you will find the analysis and study of the robot prototype and the tools that were used for its design and analysis, based mostly on study thanks to research carried out by other entities in search of reducing this problem.

In order to reach the design presented in the document, an investigation was carried out on various platforms and documents carried out by students in late careers on the same subject, where some only analyzed certain structures and others made a design. Analyzing these designs in which the same filmmakers give an opinion on the shortcomings of the same, in this work the possible improvements for the design are proposed, reaching the obtaining of an optimal design, less invasive to the eye and with a significant improvement over time. of the cleaning process with respect to the time taken by the human personnel for the windows of the skyscrapers.

At the end of the design, a significant improvement is obtained in the traditional cleaning time (with human personnel), a visually minimally invasive design and with a higher safety standard than previous and existing designs.

Keywords: Prototype, robotic, design, window cleaner.

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
1. Introducción	1
1.1. Justificación	2
1.2. Problemática	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General:	3
1.3.2. Objetivos específicos:	3
1.4. Alcance	4
2. Marco Teórico	5
2.1. Fundamentos de robótica.	5
2.1.0.1. Historia.	6
2.2. Sensores, actuadores y microcontroladores en robótica.	6
2.3. Robots limpiadores de ventanas.	8
2.3.1. Mecanismos de limpieza para los Robots.	9
2.3.1.1. Disco rotativo	10
2.3.1.2. Cobertura en MicroFibra	11
2.3.1.3. Cilindro rotatorio	11
2.3.2. Mecanismo de sujeción de los robots	12
2.3.2.1. Uso de ventosas	13
2.3.2.2. Metodo de Succión y Empuje.	14
2.3.2.3. Metodo de desplazamiento de los robots.	15
2.4. Métricas de desempeño de los robots.	17
3. Planteamiento de la Solución	18
3.1. Diseño del mecanismo de limpieza del robot para ventana en rascacielos.	20
3.2. Diseño del mecanismo de sujeción del robot en superficies verticales.	21
3.3. Diseño del mecanismo de desplazamiento del robot en superficies verticales.	22
3.4. Proceso evaluación del desempeño del prototipo robot limpiador de ventanas por medio del programa simulink.	24
4. Resultados	30
4.1. Análisis Grafico del comportamiento para el diseño robótico.	30
4.2. Análisis para la selección de la ventosa (Sistema de sujeción)	34

4.3. Análisis para la selección del motor encargado del movimiento.	38
5. Conclusiones y recomendaciones	40
5.1. Conclusiones	40
Referencias	42

Índice de figuras

2.3.1.Drones para la limpieza de ventanas. Fuente: [1]	9
2.3.2.Robots actuales con BMU. Fuente: [1]	9
2.3.3.Diseño de Robot con disco rotativo Fuente: [2]	10
2.3.4.Prototipo de cobertura total en microfibra con disco rotativo [3]	11
2.3.5.Diseño de robot para cilindro rotativo Fuente: [2]	12
2.3.6.Diseño de rueda con cobertura en ventosas. Fuente: [3]	13
2.3.7.Diseño de robot para cilindro rotativo Fuente: [2]	14
2.3.8.Diseño por metodo de empuje. Fuente: [2]	15
2.3.9.Diseño de robot Gekko por metodo de succión. Fuente: [2]	15
2.3.10Método con sistema BMU. Fuente: [2]	16
2.3.11Desplazamiento por brazo o cilindro Neumático. Fuente: [3]	17
3.0.1.Diseño Final del prototipo.	19
3.0.2.Diseño Final del prototipo.	19
3.1.1.Diseño mecanismo de limpieza para desplazamiento horizontal.	21
3.2.1.Sistemas de sujeción seleccionados	22
3.3.1.Mecanismo de desplazamiento vertical	23
3.3.2.Plano de detalle pieza	24
3.4.1.Diseño Final del prototipo.	25
3.4.2.Plano de detalle diseño.	26
3.4.3.Marcado del complemento en SolidWorks	26
3.4.4.Pasos de exportación	26
3.4.5.Vista del diseño en Simulink	27
3.4.6.Diseño de SolidWorks realizado por bloques	27
3.4.7.Visual de los bloques configurables	28
3.4.8.Visual dentro de los bloques configurables	28
3.4.9.Visual bloque Scope y convertidor ps-simulink	28
3.4.10Visual bloque Scope y convertidor ps-simulink	29
4.1.1.Grafica de Comportamiento Velocidad.	31
4.1.2.Grafica posición en el recorrido	32
4.1.3.Grafica de velocidad	33
4.1.4.Grafica de Aceleración	33
4.1.5.Comportamiento independiente de los eslabones.	34

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad el estudio de los movimientos de los animales y análisis para la implementación en la tecnología ha sido de gran importancia para los robots los cuales son basados en su estructura para así, obtener mejor acceso a lugares difíciles utilizando su fisiología que posibilita la habilidad de moverse en estos lugares.

En el caso del robot cuadrúpedo encargado del mantenimiento y limpieza de los edificios en su parte exterior se encontrará conformado por 4 patas de 4 eslabones que le ayudaran a tener un mejor movimiento y desplazamiento de este en todas las direcciones. Este Robot será monitoreado por medio de una comunicación serial entre una computadora principal y el robot; el robot cuenta con módulos de potencia y control, cada módulo de control gobierna el movimiento de una pata del robot el cual consta de tres microcontroladores dsPIC30F2010 encargados de controlar la posición y velocidad de los actuadores. Los microcontroladores tendrán una comunicación con el computador personal a través de un puerto paralelo utilizando un protocolo de comunicación propietario, de manera que el intercambio de información se lo realice por técnicas de multiplexación. [4]

La presentación del diseño para el robot será optima, de estructura poco invasiva, y con un diseño tipo subchasis de robot; con un mecanismo de desplazamiento sencillo y eficaz que cumpla con la tarea de desplazarse libremente he incluso poder permanecer sujeto al área de trabajo sin complicaciones. Para evaluar que el funcionamiento del robot sea el óptimo, se tendrán en cuenta las siguientes variables: La velocidad de desplazamiento para la barra lateral, que será la encargada de trazar el recorrido del mecanismo limpiador en

un movimiento vertical, siendo así que con un control en este desplazamiento el trabajo de limpieza tendrá un punto positivo a favor. El movimiento para el brazo robótico encargado de la limpieza del cristal es necesario para encontrar los análisis de posición y acciones de control los cuales, ayudaran a entender mejor desde el análisis cinemático, las características de su movimiento, el tiempo de respuesta y la ejecución del movimiento con una posición final he inicial. Dentro de la implementación , se tendrán en cuenta diferente puntos de medición como el carro transportador de movimiento vertical, el carro de movimiento horizontal y el eslabón 3 del brazo robótico el cual será el encargado de la limpieza; respecto al desplazamiento del mecanismo de limpieza, este estará en función con el uso del tornillo de bolas recirculantes que el cual fue escogido por preferencia, gracias a que nos ayuda a evitar el error de "Holgura" dando así un mejor desplazamiento para el movimiento vertical y horizontal necesarios en la limpieza ejecutada por el brazo de 3 eslabones. Para el desplazamiento de todo el robot sobre el resto de la superficie en la fachada, se plantea el uso del sistema BMU que permitirá llevar el robot a los lugares de altura e incluso a los desplazamientos en toda el área.

1.1. Justificación

1.2. Problemática

Con el aumento de altura de los rascacielos, el índice de accidentalidad de personal ha presentado también una de lleva números a su favor, al ser índices tan altos, las fuertes corrientes de viento para el personal de limpieza en exteriores se convierten en un peligro inminente. En la actualidad, existen ya distintos robots y prototipos para la limpieza de ventanas [3][2][5], pero para la industria de los rascacielos es aún un punto débil y por trabajar, los robots actuales para la industria de los rascacielos no han logrado satisfacer parte de varios aspectos necesarios para que estos puedan empezar con fuerza en el mundo actual como lo son los costos de operación, los gastos y consumos de productos utilizados como es el agua, jabón entre otros, así mismo como lo son los métodos de sujeción y movimiento para la operación del robot los cuales también son factores que ponen a los robots para esta industria en una pausa temporal.

En la actualidad, la limpieza de un edificio como lo es el Burj Khalifa, tiene varios aspectos

que pueden ser de complejidad para los trabajadores encargados de esta limpieza. En otro ámbito fuera de la adversidad y peligro que puede representar las fuertes corrientes de viento se tiene también el sol el cual se convierte en otro de los mayores desafíos y conflictos para los empleado encargados de esta área tanto así, que en las áreas en las que la luz del sol incide directamente no pueden ser trabajadas por la dificultad de poder mantener el contacto visual y de lo fuerte que puede ser el nivel de calor para los trabajadores cuando se encuentran trabajando dicha área. [6].

El tiempo que puede tardar la limpieza del Burj Khalifa oscila entre los 3 a 4 meses, según las condiciones climáticas las cuales nos da dos variables o que estén a favor o que se encuentre en contra para agilizar dicho trabajo. Al finalizar la limpieza de toda la fachada del Burj Khalifa, se inicia nuevamente el proceso de limpieza de la fachada ya que en el tiempo transcurrido el área ya limpia vuelve a estar en mal estado. Se espera que con el robot este sea uno de los aspectos a mejorar o incluso mantener con los robots prototipo existentes en la actualidad.

Como conclusión de proyecto se busca lograr mitigar y solucionar los factores que más destacan las deficiencias de los robots actuales en esta área. El proceso para lograr alcanzar dicha finalidad, es basado en un diseño prototípico del robot que será diseñado y modelado en programas como Solidworks y Simulink en donde, con el diseño se logre apreciar las mejoras pertinentes y plantear las diversas soluciones a los aspectos poco eficientes de un robot con la herramienta de Simulink.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General:

- Diseñar un robot prototipo limpiador de ventanas de vidrio en rascacielos con Solidworks y Simulink.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Diseñar el mecanismo de limpieza del robot para ventanas en rascacielos.
- Diseñar el mecanismo de sujeción del robot en superficies verticales.
- Diseñar el mecanismo de desplazamiento del robot en superficies verticales.

- Evaluar el desempeño del prototipo robot limpiador de ventanas estableciendo su velocidad de recorrido y tiempo de proceso por medio del programa simulink.

1.4. Alcance

Al finalizar el trabajo se espera como resultado tener los planos para un prototipo de máquina robótica limpiador de ventanas en rascacielos en 3D (Solidworks), donde se pueda apreciar su estructura, los componentes a utilizar, el sistema de sujeción seleccionado y la metodología de funcionamiento de este. Para lo anterior, se utilizarán los programas SolidWorks y Simulink en los cuales se realizará el diseño y los cálculos necesarios para el prototipo. Estas herramientas ayudaran a tener el concepto del proyecto mucho más claro he incluso a obtener algunos análisis en su funcionamiento cinemático. Al tratarse del diseño de un prototipo basado en un diseño 3D, los estudios a profundidad del funcionamiento real serán nulos las cuales nos dará una serie de limitaciones. En el trabajo no se incluirá una elaboración física del proyecto, no podrá ser puesto a pruebas reales que sometan el diseño a entrar en acción.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Fundamentos de robótica.

Actualmente, la robótica se ha convertido hoy en día más que una alternativa y se ha convertido en una necesidad, puesto que la robótica ha sido destinada muchas veces para diferentes objetivos como ha sido evitar que el ser humano haga trabajos aburridos, desagradables y precisos, con esto observamos que la idea de reemplazar el trabajo humano en situaciones peligrosas ha sido nula. Como bien se sabe los robots y su tecnología aún no están ni cerca de la inteligencia humana, por lo tanto, tener en cuenta un robot sin comprender su real beneficio se convierte en una desastrosa y no recomendable elección.

Los robots en su mayoría no logran ser tan rápidos como el ser humano, pero su ritmo de trabajo pueden mantenerlo por horas lo cual nos aumenta la productividad en el trabajo que este realiza, este podría de ser uno de los mayores puntos positivos para la robotización en la industria y demás lugares en los que estos tienen inmersión.

Un robot según la Norma Internacional de Organización (ISO) se puede definir como un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos. Existen múltiples definiciones dadas por varias naciones en la industria robótica, pero todas las definiciones tienen puntos en común como la Re programabilidad y multifuncionalidad. [7]

2.1.0.1. Historia.

El uso de la idea de los robots figura de aproximada más de 3.000 años, en donde un escritor checo Karel Cepek (1890-1938) utilizó esta palabra por las obras de un fabricante ficticio de criaturas mecánicas llamada RUR"(Rossum 's Universal Robots).

Aunque en una de sus historias se pensaba que los robots serían más para una ayuda hacia los humanos, puesto que dichas máquinas definidas sin emociones serían capaces de obedecer una orden, sin pensarlo resultaron volviéndose contra la humanidad exterminando a la raza humana y solo dejando un hombre vivo para continuar con sus elaboraciones de ellos; después de dicha historia muchas personas generaron odio hacia los robots incluso algunos odios perduran al día de hoy, con esto Isaac Asimov decidió en sus historias de ciencia ficción imaginar un robot como ayudante de la humanidad dando una propuesta de 3 reglas básicas para los robots y que son conocidas generalmente como las leyes de la robótica las cuales definimos como: [7]

- Un robot no debe dañar a un ser humano, ni por inacción permitir que uno sufra daño.
- Un robot siempre debe de obedecer a los seres humanos, a menos que esté en conflicto con la primera ley.
- Un robot debe proteger del daño, a menos que este en conflicto con las dos primeras leyes.

Joseph F.Engelberge intentó diseñar un robot en la década de 1950 pero no fue sino hasta en 1958 cuando se juntó con Geroge C.Devol y crearon UNIMATION robotics Company en EE.UU, logrando instalar el primer robot en la fábrica de automóviles de General Motor en Nueva Jersey, EE.UU. Se trataba de un molde robotizado a presión automatizado que arrojaba manijas para las puertas al rojo vivo a otras secciones con líquido refrigerante para luego ser recibidos por trabajadores que tenían que recortarlos y pulirlos.

2.2. Sensores, actuadores y microcontroladores en robótica.

Los sensores en la robótica pueden representarse como nuestros sentidos para los humanos los cuales son importantes para cada aspecto como en el humano lo son el olfato, el tacto, la visión la audición, el gusto, entre otros. Los robots necesitarían de recolectar una gran

cantidad de datos para poder desempeñarse de la manera más óptimo en su área de trabajo, puesto que en su labor podrán tener objetos calientes, objetos pesados o frágiles, entre otros, en los cuales todos estos sensores trabajaran de manera coordinada con el controlador del robot (Microprocesador o una computadora o microcontrolador según sea el caso).

Existen varias clasificaciones para los sensores como lo son:

- Sensor de toque simple.
- Sensor de toque complejo.
- Sensor de fuerza simple.
- Sensor de fuerza compleja.
- Sensor de detección de proximidad.
- Sensor de detección de visión simple.
- Sensor de detección de visión compleja.

Ahora bien, ya que se dan a entender que los sensores con los microcontroladores y que son representados como los sentidos del ser humano en la robótica se realiza la pregunta ¿Qué pasa con el movimiento? pues precisamente ahora llega el turno de poder saber y entender la importancia de los llamados Actuadores, un simple motor junto con una transmisión y otros accesorios pueden denominarse actuadores.

Los actuadores pueden definirse como los músculos del robot lo que conforma cada parte de él y los que se comprenden en lo siguiente.

- Fuente de alimentación.
- Amplificador de potencia.
- Servomotor.
- Sistema de transmisión.

Dentro de los actuadores existe una clasificación dada en 3 grupos: [7]

Actuadores Neumáticos: Utilizan energía neumática proporcionada por un compresor y la transforma en energía mecánica por medio de pistones o turbinas.

Actuadores Hidráulicos: Transforma la energía hidráulica almacenada en un reservorio en energía mecánica por medio de bombas adecuadas.

Actuadores Eléctricos: La fuente de alimentación primaria de entrada es la energía eléctrica del sistema de distribución eléctrica.

2.3. Robots limpiadores de ventanas.

Para la actualidad, los robots limpiadores de ventanas han sido de amplia demanda para el sector empresarial encargado de las fachadas de los edificios, debido a la oferta presentada por el aumento en la tendencia de rascacielos con fachadas de cristal que deben de mantenerse en perfecto estado y limpieza. Con el paso del tiempo se han elaborado varios prototipos que puedan suplir dicha necesidad para el sector de fachadas en edificios, pero hasta el momento al área de limpieza para ventanas y cristales del hogar y oficinas se lleva la gran parte en la participación con robots disponibles en el mercado para dicha labor.

Para la limpieza de las ventanas en pequeña escala como lo son las casa y oficinas, existen varios tipos de robot he incluso con distintos tipos de tecnologías en cuanto a su manejo, desplazamiento y funcionalidad; existen robots para limpieza en seco y otros para limpieza con líquido, una consta de ventosas para sujetarse y otros de hélices para adherirse a la superficie, pero todo ello se ira encontrando en los párrafos siguientes.

El sector en el que menos se ha logrado tener éxito con los métodos de limpieza autónomos y de bajo riesgo para el personal humano ha sido el de los rascacielos, pues en la actualidad solo existen de manera comercial entre 1 a 3 dispositivos para dichas labores (Ver figura 2.3.2:), es tanto así que para el año 2022 el rascacielos más grande del mundo como lo es el Burj Khalifa, es limpiado en la actualidad con el método tradicional de personas colgando de cuerdas o andamios elevados para dicha tarea, se han presentado varios prototipos y propuestas para hacer la limpieza en estas fachadas incluso hasta el uso de drones con brazo robótico no ha escapado de poder ser útil en dicha labor (Ver figura 2.3.1:) pero hasta el momento no han logrado tener buenos resultados.

De los mecanismos actualmente usados, en su mayoría suelen usar un mecanismo que de naturaleza y tradición pertenece al actual método y es el sistema BMU (Building maintenance units), el cual es el encargado de transportar dichos dispositivos sobre toda la fachada de los

edificios sin problemas logrando así evitar el riesgo del personal humano en las alturas.



Figura 2.3.1: Drones para la limpieza de ventanas. Fuente: [1]

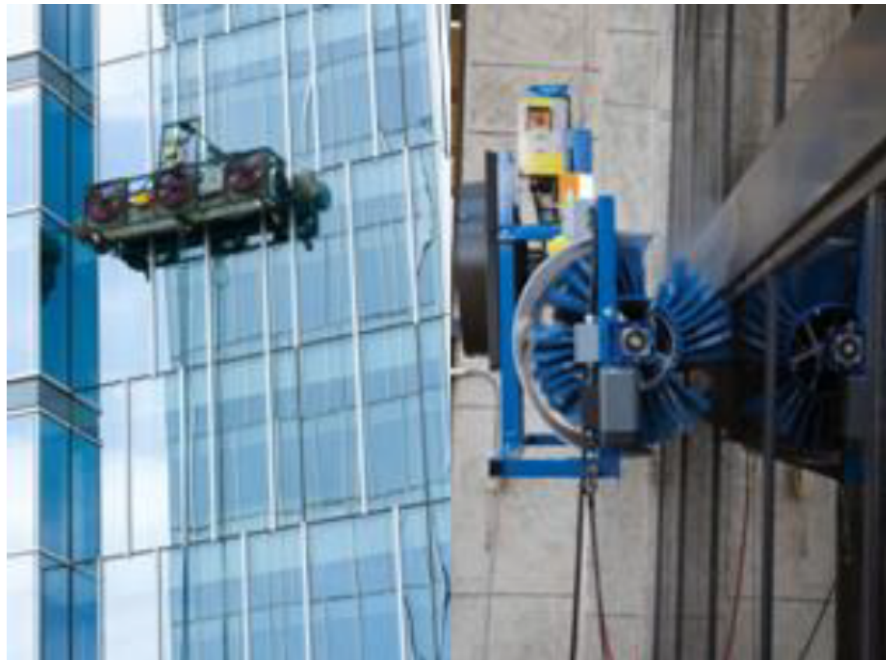


Figura 2.3.2: Robots actuales con BMU. Fuente: [1]

2.3.1. Mecanismos de limpieza para los Robots.

La mayoría de los robots usan un material en específico para realizar la limpieza, aunque no todos lo utilizan de la misma manera, se ven en distintas presentaciones y en diferentes medios de uso incluso con distintos materiales los robots realizan dichas limpiezas como lo son:

2.3.1.1. Disco rotativo

La mayoría de los robots existentes para la limpieza de cristales a pequeña escala y de capacidades mínimas son para el hogar, suelen usar en su diseño un disco rotativo en microfibra para así poder realizar la limpieza de la superficie.

estos robots que usan este tipo de método no usan ningún tipo de líquido en su mayoría, la limpieza es realizada en seco sobre la superficie deseada, los robots de disco rotativo recubierto de microfibra suelen tener tamaños pequeños y de fácil transporte, razón por la cual estos no poseen sistemas más complejos como lo es un mecanismo de aspersion de líquidos como lo puede ser el agua y jabón para la limpieza.

la variedad de robots con este método es amplia en donde se pueden encontrar robots con un solo disco e incluso 2 o más discos rotativos todos listos para realizar dicha labor (Ver Figura 2.2.3:), además cuentan con la facilidad de que al ser un proceso que se realiza en seco, En estos se puede realizar el cambio de la microfibra después de cada limpieza si es necesario para obtener un trabajo de limpieza lo más óptimo posible.

En el caso de los robots que usan algún método de aspersion de líquido incluyen en su diseño un labio de Goma para así obtener los resultados más óptimos posibles en donde los discos cumplirán la función de dar un secado adicional a la superficie y a su vez eliminar los posibles errores en el paso del labio en goma.

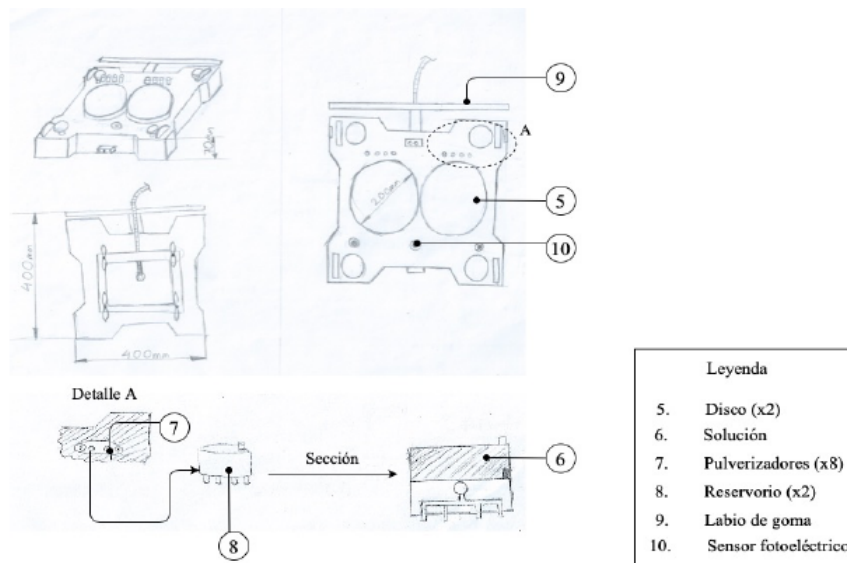


Figura 2.3.3: Diseño de Robot con disco rotativo Fuente: [2]

2.3.1.2. Cobertura en MicroFibra

Existe la posibilidad que algunos de los robots que se encargan de la limpieza para el hogar y las oficinas, usen una cobertura de la mayor parte posible en su área de contacto para así no perder parte de las secciones en las que no se logra tener alcance con los discos rotativos, la estructura del robot podrá ir recubierta en su mayoría por la microfibras omitiendo los componentes que se encargaran de mantener el mecanismo sujeto a la supervisión (Ver Figura 2.3.4:), dicha cobertura como en el mismo caso de los discos rotativos, estas pueden ser intercambiadas por nuevas piezas de microfibras para así lograr obtener una buena limpieza en la superficie. [7] [8]

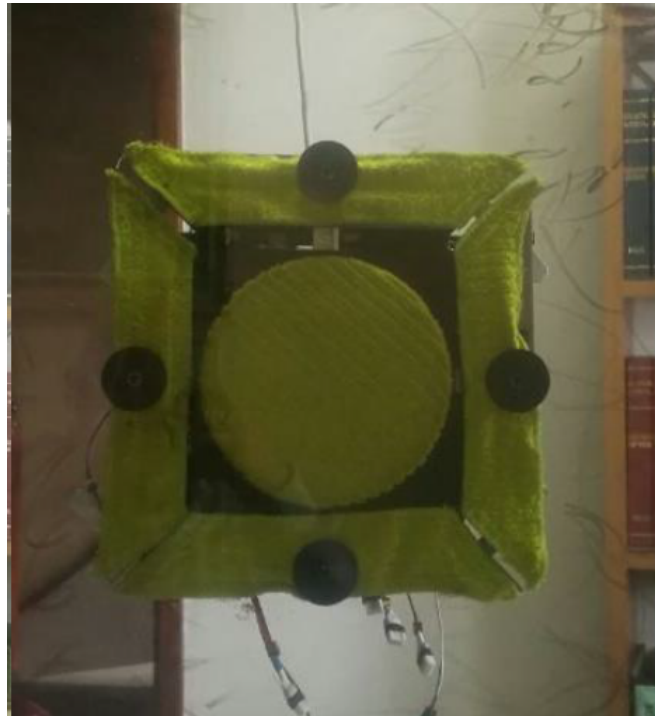


Figura 2.3.4: Prototipo de cobertura total en microfibras con disco rotativo [3]

2.3.1.3. Cilindro rotatorio

Como se ha podido notar anteriormente en los métodos que se han implementado, se resalta que uno de los materiales más utilizados para la limpieza de cristales en los robots que utilizan líquido limpiador e implementan también el método de limpieza en seco es la microfibras, este tipo de material se puede adaptar a diferentes formas según la situación en la que se requiera tanto por la necesidad o por el diseño del robot que la utilizará. [4] [9] En el caso del robot

con diseño de cilindro rotativo basado en la idea de limpieza del autolavado CarWash (Ver Figura 2.3.5:), este utiliza unas tiras en Microfibra las cuales son adheridas al cilindro el cual, al girar a ciertas revoluciones, estas realizaran el proceso de limpieza sobre el cristal.

El método mencionado anteriormente es usado por un prototipo robotizado para la limpieza de ventanas en los edificios, este al ser de gran alcance y necesidad cuenta con un mecanismo de aspersión de agua y jabón especial para la limpieza de las ventanas y puede ser usado y desplazado gracias a la implementación del sistema BMU (Building maintenance units). [10] [11]



Figura 2.3.5: Diseño de robot para cilindro rotativo Fuente: [2]

2.3.2. Mecanismo de sujeción de los robots

Para facilitar la limpieza de las superficies de cristal usualmente en posición vertical, los robots y mecanismos deben de mantenerse adheridos y sujetos a ellas mientras se ejecuta la limpieza. La posibilidad de mantener estos mecanismos adheridos a las superficies o en contacto con ellas son pocas y los elementos que lo permiten igualmente limitados, pero se mencionan a continuación los más usados en esta industria de la limpieza de cristales a pequeña y grande

escala desde ventanas de oficinas a fachadas en cristal para edificios. [6] [12]

2.3.2.1. Uso de ventosas

En la actualidad el uso de las ventosas para el manejo y manipulación de los cristales en instalaciones de fachadas para edificios es el método más usado, efectivamente las ventosas es uno elementos que aplicados en los mecanismos robotizados para desempeñar las labores de limpieza y mantenimiento en las fachadas de los edificios, estas tienen la mayor aplicación en esta industria por su confiabilidad y configuración ya que algunas ventosas de tipo industrial pueden ser manipuladas y controladas por computadora o manual mente ajustando su nivel de adhesión a la superficie. [13] [5]

Una de las maneras más comunes de utilizar las ventosas para este tipo de prototipos es que sean ubicadas en su estructura (Ver Figura 2.3.7:), ubicándolos así en lugares estratégicos de acuerdo con el diseño que estos posean y así mismo, ser activadas. Este tipo de uso se da a implementar en el caso de las ventosas neumáticas o también conocidas como ventosas industriales, lo cual nos permite coordinar el lugar de trabajo y permanecer allí o incluso facilitar el desplazamiento. [14] [15]

También, en las formas más comunes y vistas en este tipo de robots limpiadores de ventanas más comúnmente en los de trabajo sencillo y de exigencia menor es en la presentación de ventosas tradicionales en toda la estructura de la llanta (Ver Figura 2.3.6:), permitiendo así un desplazamiento y a su vez que genere una adherencia a la superficie de manera exitosa. [16] [1]

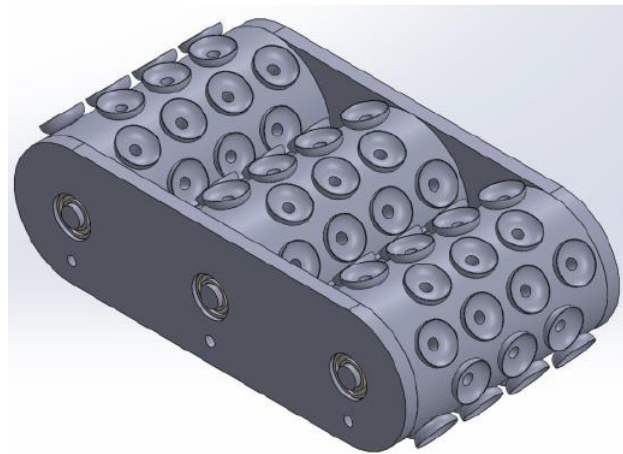


Figura 2.3.6: Diseño de rueda con cobertura en ventosas. Fuente: [3]

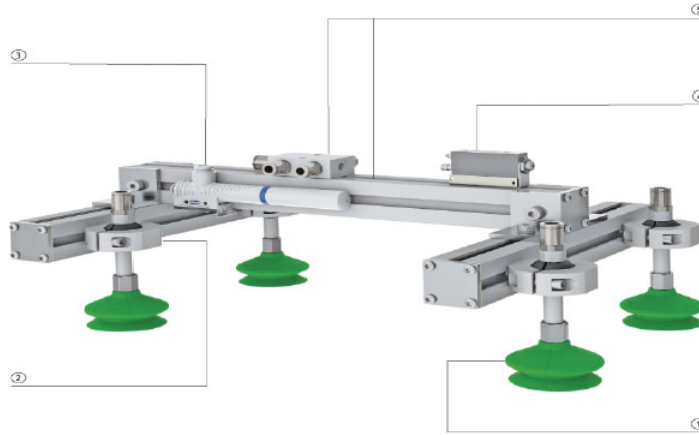


Figura 2.3.7: Diseño de robot para cilindro rotativo Fuente: [2]

2.3.2.2. Metodo de Succión y Empuje.

Uno de los otros métodos de adhesión a las superficies de manera vertical encontrados en los dispositivos robóticos de limpieza, pero poco comunes es la succión o empuje, pues son poco comúnmente usados en este tipo de artefactos ya que puede llegar a ser algo ineficiente para los dispositivos de gran tamaño y robustes principalmente por su peso, específicamente este método es usado por los robots de limpieza de escala pequeña y de trabajo poco exigente. [2] [3]

En los robots que actualmente se encuentran con estos dos tipos de métodos para la adhesión como la succión y Empuje, en el método de succión los robots suelen usar una bomba generadora de vacío la cual se encargara de hacer el proceso de mantener una succión constante hacia la superficie evitando así que el dispositivo se desprenda de la superficie mientras este hace la limpieza debida (Ver Figura 2.3.9:). [17] [7]

mientras que por otro lado se tienen los robots que usan el método del empuje para mantenerse adheridos a la superficie, este método es de funcionamiento con hélices o aspas (Ver Figura 2.3.8:), las cuales permanecerán girando a gran velocidad empujadas por unos motores encargados de que estas giren y así lograr un empuje de aire en la dirección opuesta a la que el robot desea estar adherido ocasionando así una fuerza de empuje que podrá mantener al dispositivo adherido durante el trabajo; claramente estos métodos de succión mencionados anteriormente son solamente usados en dispositivos de tamaño pequeño ya que la eficiencia de adherencia es baja y requiere de mucho potencial para lograrlo.

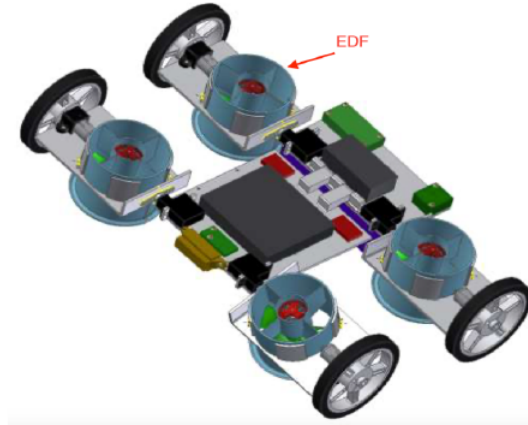


Figura 2.3.8: Diseño por metodo de empuje. Fuente: [2]



Figura 2.3.9: Diseño de robot Gekko por metodo de succión. Fuente: [2]

2.3.2.3. Metodo de desplazamiento de los robots.

En el método de desplazamiento que usan los robots para cubrir en totalidad el área de la limpieza, estos usan a su vez con ellos los mecanismos de sujeción que a su vez también son los que permitirán el desplazamiento en toda la superficie de manera segura. En el caso de los robots que usan las vetosas en su estructura, estos manejaran una coordinación programada para poder desplazaren ayudados de una estructura con movimiento por brazos neumáticos controlados por computador (Ver Figura 2.3.11:) los cuales en el caso de un robot que cuente con 4 ventosas podrá deshabilitar dos de ellas para así lograr desplazarlas a otro punto en el espacio mientras las restantes mantendrán su posición y asegurando el prototipo a la superficie de esta manera con coordinación en los movimientos se podrá logra el desplazamiento del

mismo en la dirección deseada.

ahora bien, para los robots que usan ruedas con ventosas en ellas no es una acción complicada más que el manejo de la dirección de las ruedas y coordinación de sus movimientos para así lograr desplazarse sobre la superficie y de igual manera para los robots que usan el método de empuje o succión, pues estos deberán de mantener una coordinación en el manejo de las bombas de vacío continuo y los motores que mantendrán girando las hélices por cierto tiempo para así lograr desplazarse.

existe un método más robusto y es en la actualidad el más usado para la limpieza de fachada en edificios con el método tradicional, este mecanismo es el llamado sistema BMU (Building maintenance units) (Ver Figura 2.3.10:), dicho sistema consta de una pequeña grúa en la parte superior del edificio que por medio de unos motores y cuerdas o guayas, podrá mantener el artículo o artefacto elevado sin ningún problema, dicho mecanismo BMU podrá ayudar a desplazarlo de manera tanto vertical como horizontal sobre toda la fachada o lugar que se desee y así poder completar la tarea conjuntamente con el mecanismo de limpieza o en su defecto de mantenimiento para las fachadas, este mecanismo pueda usarse en los prototipos y robots de gran escala y para tareas de más exigencia con un peso más elevado ayudando a su vez a mantener seguro el mismo ante posibles problemas por corrientes de viento que puedan presentarse.

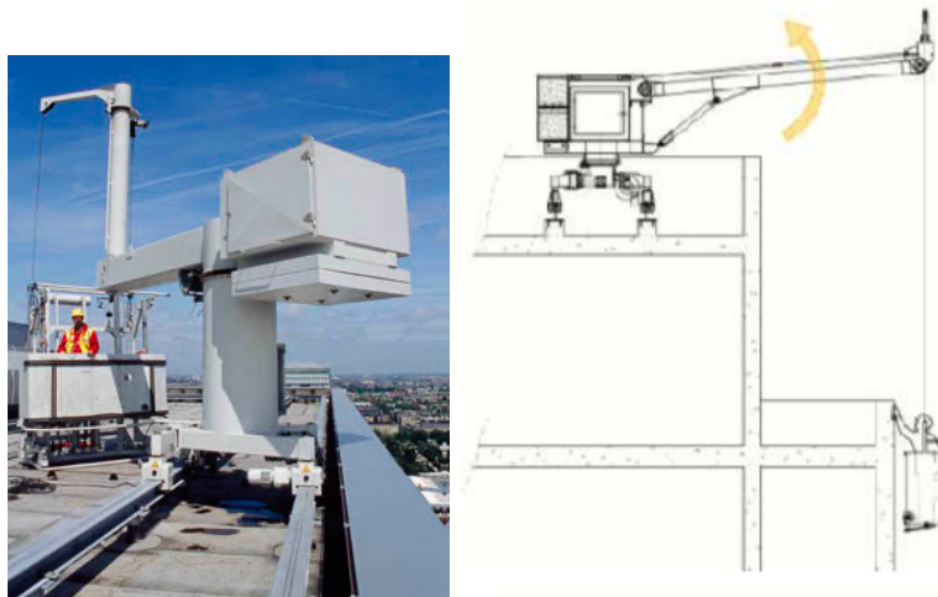


Figura 2.3.10: Método con sistema BMU. Fuente: [2]

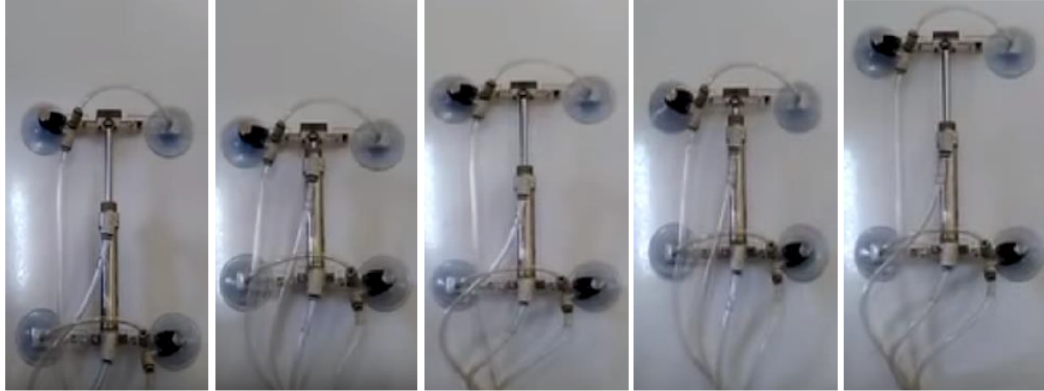


Figura 2.3.11: Desplazamiento por brazo o cilindro Neumático. Fuente: [3]

2.4. Métricas de desempeño de los robots.

Los evaluadores de desempeño para dichos robots se destacan en ciertas variables medidas como lo es el tiempo que tarda dicho robot en realizar una limpieza, el consumo de energía y el funcionamiento de cada una de las partes respecto a los motores eléctricos que estos manejan.

Puesto que la finalidad para la implementación de los robots en esta sección es disminuir el riesgo para personal humano el cual cuelga de cuerdas o labora en plataformas colgantes, la iniciativa de los robots disminuye en su totalidad los riesgos que habitualmente pueden presentarse durante dicha labor.

Ahora bien, para lograr justificar por otra parte el uso de robots para la limpieza de los rascacielos con fachadas de cristal, si imponen como meta lograr hacer la limpieza de un cristal en menos tiempo respecto al tiempo que habitualmente puede gastarse una persona en realizarlo a mano y de manera no automatizada, en el tiempo actual la limpieza de una sola ventana de Burj Khalifa en Dubái por personal humano es de un aproximado de 3 a 4 minutos por su grandes dimensiones, mientras que para el diseño actual dicha limpieza solo tarda 30Seg una vez este ya esté en posición para realizar la limpieza de la superficie.

Capítulo 3

Planteamiento de la Solución

Para lograr que el diseño sea lo menos invasivo posible y que tenga una eficacia superior a los diseños actuales en la industria, se plantea un prototipo de estructura tipo H el cual permitirá mantener visualmente la presentación de la ventana. Dicho prototipo a su vez tendrá incorporado un brazo robótico el cual permitirá dar un alcance más amplio a los lugares que prototipos actuales no han logrado llegar por cuestiones de diseño.

En el diseño se puede observar que en sus partes laterales se encuentra un motor en cada costado el cual es el encargado de hacer girar un tornillo sin fin acoplado a ellos, logrando así obtener un desplazamiento en toda su trayectoria vertical. Dicho tornillo sin fin está diseñado para funcionar específicamente con tuercas de bolas recirculantes, ya que en la actualidad es el mecanismo más elegido por su eficiencia en el recorrido, su suavidad y su disminución en el error más común "Holgura". Las secciones laterales también cuentan con dos tubos metálicos a los costados de los tornillos sin fin, los cuales ayudarán a que el carro pueda mantenerse en una sola posición en todo su recorrido evitando posibles movimientos involuntarios a causa del brazo robótico encargado de la limpieza.

Este prototipo está diseñado para cumplir con la limpieza de cristales de Burj Khalifa, ya que las dimensiones del robot fueron tomadas en base a el tamaño de cada ventana de dicho rascacielos, ventanas las cuales cuentan con una altura de 3.23 metros y 1.35 metros de ancho, medidas que fueron tenidas en cuenta, en este capítulo se encontrarán 4 secciones del proceso para selección del diseño.



Figura 3.0.1: Diseño Final del prototipo.

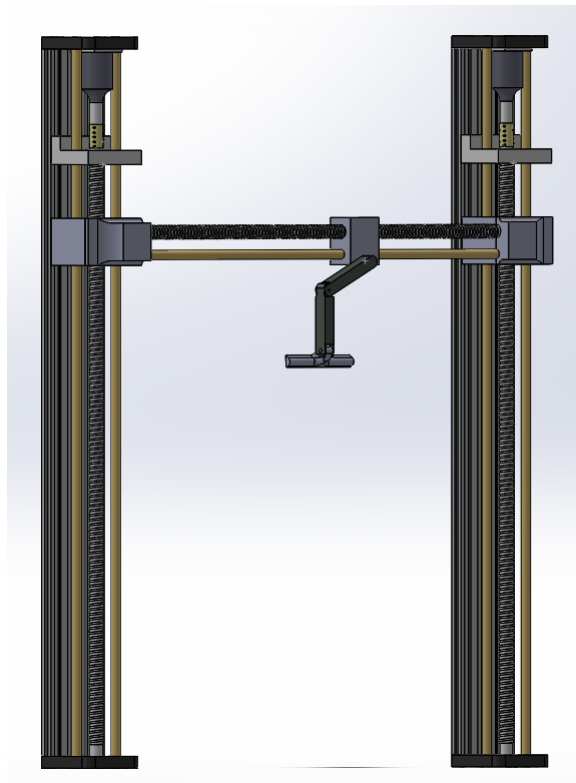


Figura 3.0.2: Diseño Final del prototipo.

3.1. Diseño del mecanismo de limpieza del robot para ventana en rascacielos.

El mecanismo de limpieza fue seleccionado de manera tal que pudiese de mantenerse el tipo de interacción que tienen las personas encargadas de esta labor con la superficie del cristal, para esto se ha optado por usar un brazo robótico de 20cm en cada eslabón, el cual en uno de los extremos tendría a su disposición una espátula de limpieza para cristales con una dimensión de 31cm de largo, la cual estaría en constante contacto con la superficie hasta terminar dicha labor.

Para poder lograr que este mecanismo de limpieza pudiese de desplazarse sobre la superficie de la ventana, este está sujeto a un carro eléctrico con tuerca de bolas recirculantes el cual se desplaza sobre un tornillo sin fin hasta el extremo deseado, logrando así una limpieza en todo lo ancho y largo de la ventana, todo este mecanismo está de igual manera reforzado con un tubo metálico el cual ayudará a mantener el carro estable durante el movimiento del brazo limpiador.

Para facilitar la limpieza y logra un acabado más limpio, el prototipo está diseñado para trabajar en conjunto con un mecanismo de aspersion de agua y liquido limpiavidrios de secado rápido usado actualmente por los limpiadores de fachadas en rascacielos, dicho mecanismo va conjuntamente incorporado en el carro transportador para así lograr una aspersion uniforme del líquido y a su vez un movimiento de limpieza en conjunto con el brazo robótico.

- 1). Tornillo sin Fin para tuerca de bolas recirculantes
- 2). Tubo estabilizador para carro de desplazamiento
- 3). Eslabones del brazo robótico
- 4). carro de desplazamiento horizontal
- 5). carro de desplazamiento vertical

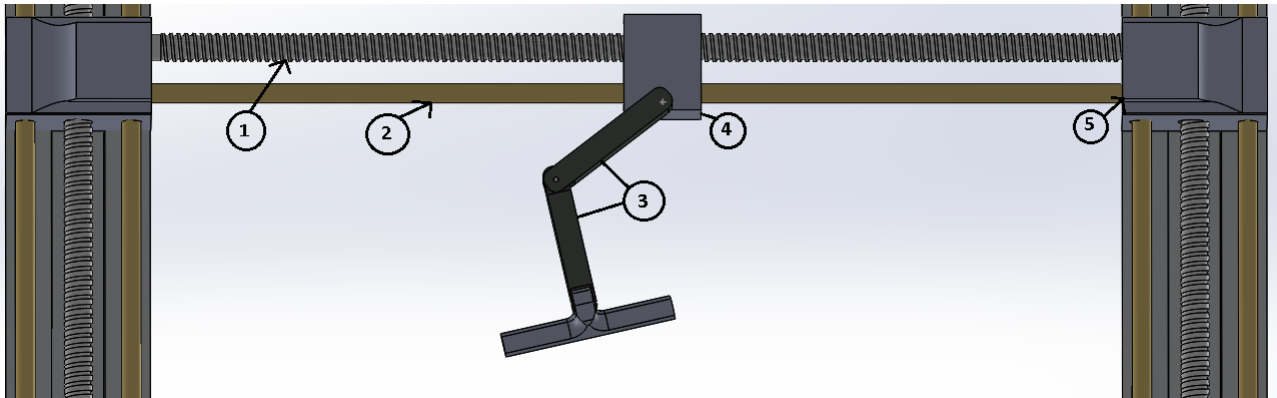


Figura 3.1.1: Diseño mecanismo de limpieza para desplazamiento horizontal.

3.2. Diseño del mecanismo de sujeción del robot en superficies verticales.

Para sujetar el prototipo robótico de limpieza a la superficie del rascacielos mientras este desempeña dicha labor, se ha diseñado un mecanismo de sujeción completo, el cual no solo servirá de sujeción, sino de desplazamiento total y mecanismo de seguridad. En conjunto este mecanismo consta de la unión de dos sistemas en específico como lo es el sistema BMU (Unidad de mantenimiento en edificios) y sistema de ventosas neumáticas industriales.

la Unión de estos elementos brindaran una sujeción a la superficie como lo son las ventosas, y todo el robot podrá ser desplazado a la ubicación deseada con el sistema BMU que a su vez brindara la opción como anclaje de seguridad al edificio en el caso de que en una fuerte corriente de viento las ventosas puedan fallar, evitando así que el robot pueda causar daños a terceros en el área.

El sistema BMU es actualmente usado en la industria, no solo para el descenso del personal de limpieza para edificios sino también para el mantenimiento de los mismos, hasta el momento es uno de los sistemas más usados por su facilidad de manejo y capacidad de carga, ya que pueden cargar hasta 1800kg de peso y controlar su movimiento mientras esta elevado.

Este sistema BMU es también conocido como Góndola y puede ser incluso fabricado a petición del cliente y necesidad del edificio, ya que de esta manera se permiten tener mejor manejo y control respecto a las dimensiones del edificio y los requerimientos que el cliente desee darle al producto al momento de adquirirlo, el material en que son construidas la mayoría de

dichas Góndolas es de acero galvanizado en caliente junto con metales capaces de soportar estar expuestas a la intemperie siendo inoxidable y manteniendo su funcionalidad en todo momento.

- 1). Sistema BMU para edificios
- 2). Guaya de seguridad y desplazamiento
- 3). ventosa neumática industrial para cristales
- 4) Acople para generador de vacío electroneumático

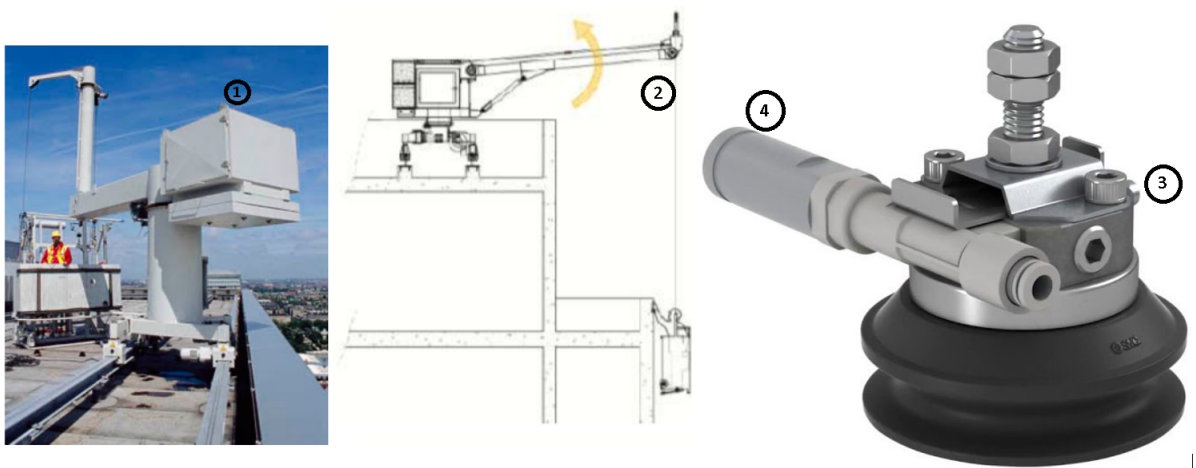


Figura 3.2.1: Sistemas de sujeción seleccionados

3.3. Diseño del mecanismo de desplazamiento del robot en superficies verticales.

Para lograr que el robot limpiador pueda desplazarse sobre una superficie vertical (ventana) mientras está realizando la limpieza, se opta por implementar un mecanismo de recorrido vertical, el cual se encuentra compuesto por un tornillo sin fin para tuerca de bolas recirculantes, tubos metálicos a los costados del tornillo sin fin para lograr una estabilidad del carro en todo el recorrido y finalmente un motor eléctrico el cual se encargará de generar la rotación del tornillo para lograr el desplazamiento vertical del mecanismo (brazo robótico) en todo el largo de la ventana.

El diseño se desea de una estructura liviana pero a la vez que cumpla con una característica especial es su resistencia a la corrosión, y que cuente con una resistencia mecánica alta, por

lo tanto el aluminio será el material más usado para toda la estructura del prototipo variando entre el aluminio serie 1000 por su pureza, serie 2000 por la aleación de cobre la cual lo hace altamente resistente a la corrosión y la serie 6000 con una alta soldabilidad, todas las referencias anteriormente mencionadas con una alta resistencia mecánica. Para la selección del motor es necesario hacer unos análisis y poder determinar cuál es el motor adecuado para el diseño, el cual pueda encargarse de soportar la carga encargada de la limpieza del cristal sin que afecte en el diseño del prototipo, este proceso de la selección del motor tomara puesto en la sección de resultados y análisis para la selección del motor.

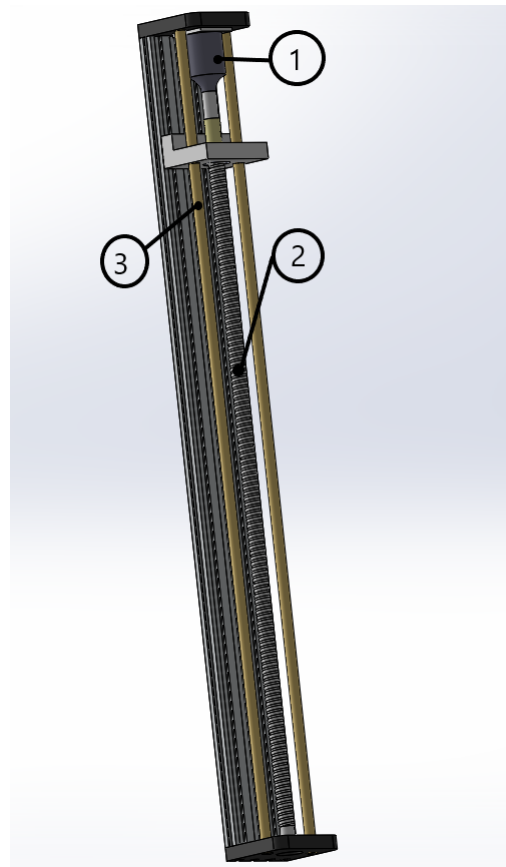


Figura 3.3.1: Mecanismo de desplazamiento vertical

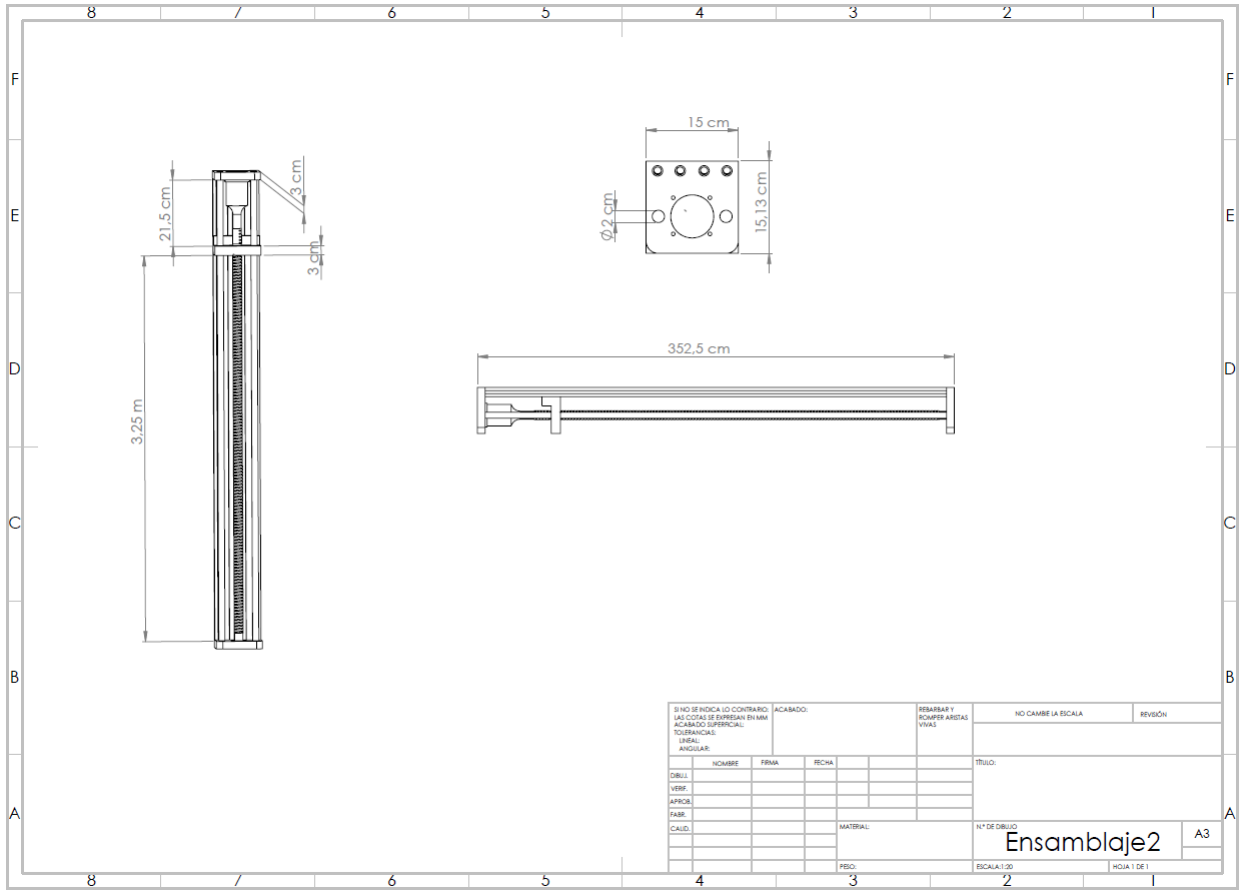


Figura 3.3.2: Plano de detalle pieza

3.4. Proceso evaluación del desempeño del prototipo robot limpiador de ventanas por medio del programa simulink.

Para lograr tener un análisis del prototipo, el mismo ha sido diseñado en la plataforma de SolidWorks con cada una de las partes propuestas en todo el proceso de desarrollo. Una vez el diseño ha sido terminado en SolidWorks (Ver Figura 3.4.1) se procede a hacer la exportación de la herramienta de diseño a la herramienta de análisis como lo es Simulink, para esto es necesario instalar una extensión a SolidWorks llamada (Simscape Multibody Link), una vez instalada dicha extensión se procede a marcarla en los complementos de SolidWorks (Ver Figura 3.4.2), una vez realizado podemos hacer la exportación del archivo de diseño en la opción de Herramientas, simscape multibody link y exportar (Ver Figura 3.4.3).

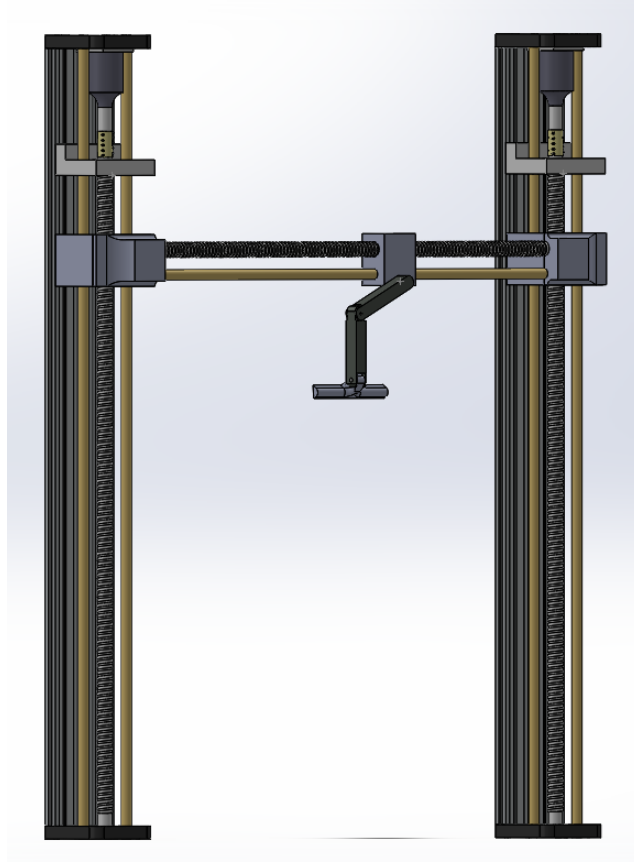


Figura 3.4.1: Diseño Final del prototipo.

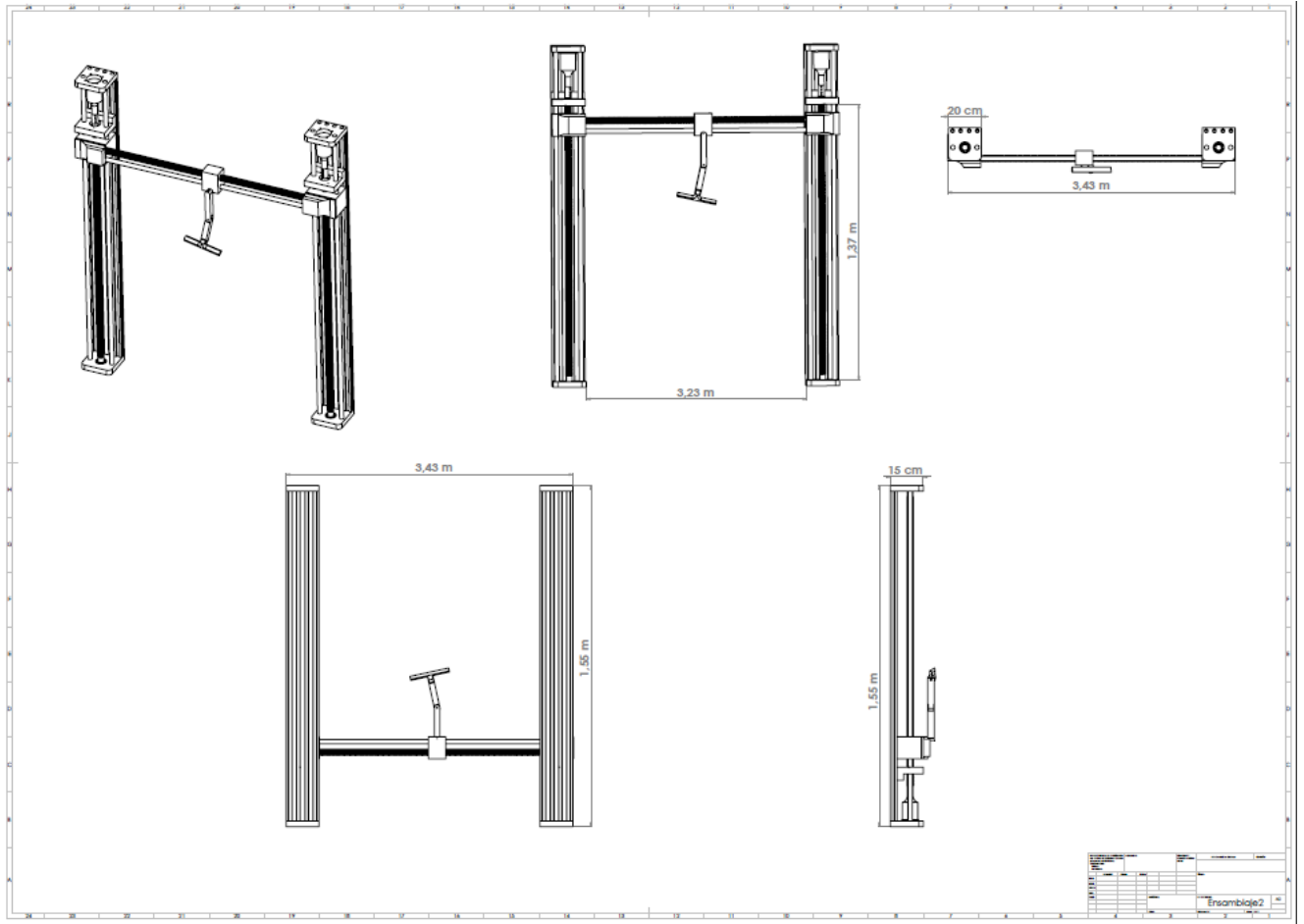


Figura 3.4.2: Plano de detalle diseño.

Figura 3.4.3: Marcado del complemento en SolidWorks

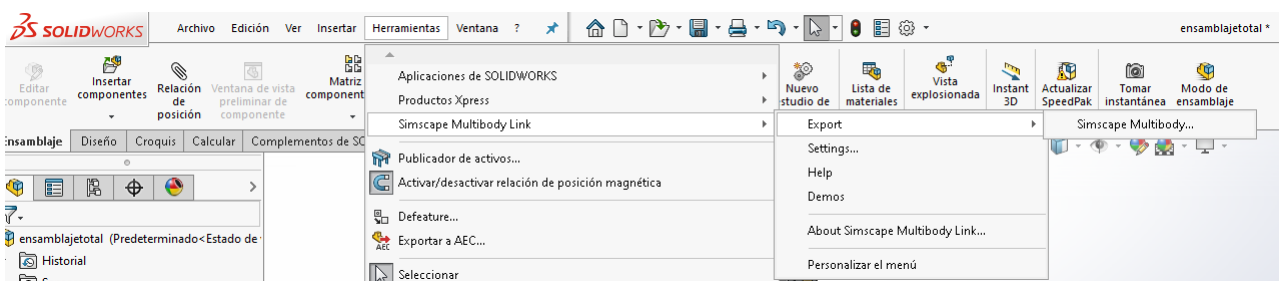


Figura 3.4.4: Pasos de exportación

Una vez con el diseño en la herramienta de simlulink (Ver Figura 3.4.4), se observa que dicha herramienta nos proporcionara distintos tipos de juntas y bloques que representan cada pieza del diseño y con la posibilidad de configurarla si es posible y/o necesario para lo que se

desea ejecutar (Ver Figura 3.4.5). Una vez se optimiza lo máximo posible la estructura de bloques del diseño se inicia la configuración de cada una de las piezas que deseamos analizar en su movimiento y recorrido (Ver Figura 3.4.6), en cada uno de estos bloques encontramos cuadros de dialogo los cuales pueden ser configurados según sean requeridos a nuestro deseo (Ver Figura 3.4.7).

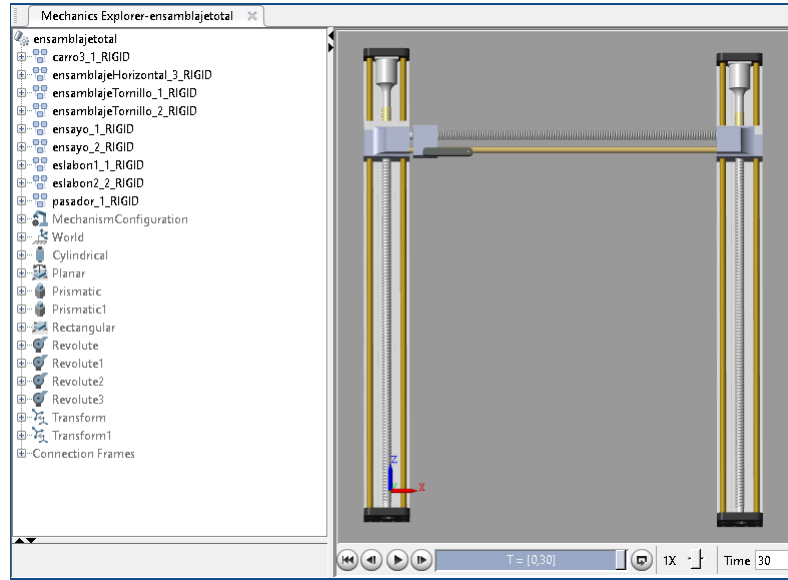


Figura 3.4.5: Vista del diseño en Simulink

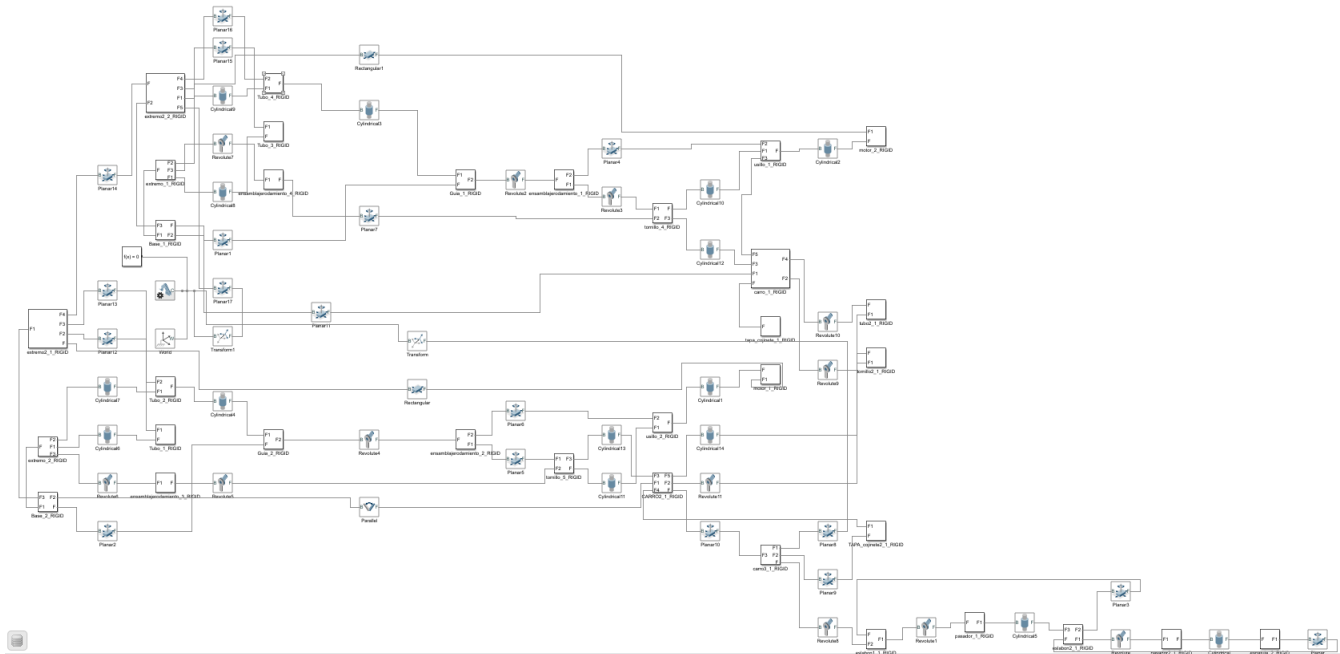


Figura 3.4.6: Diseño de SolidWorks realizado por bloques

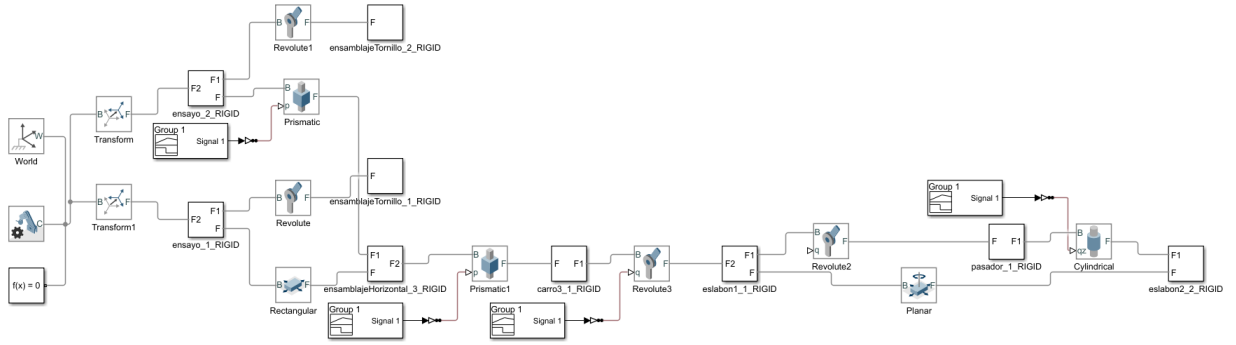


Figura 3.4.7: Visual de los bloques configurables

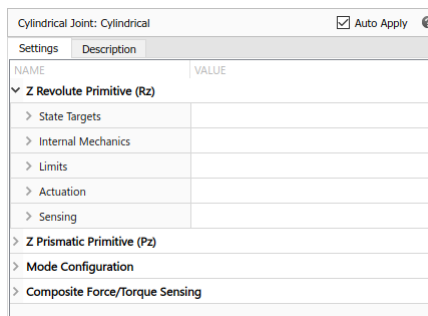


Figura 3.4.8: Visual dentro de los bloques configurables

una vez configurados los bloques con los parámetros de movimiento para cada una de las piezas que deseamos mover, para poder analizar dichos movimientos, analizar la velocidad de respuesta de cada movimiento y demás es necesario usar una herramienta de Simulink llamada (Scope), la cual nos permitirá ver las señales de movimiento y analizar los distintos parámetros que pueden presentarse en el mecanismo, Scope funciona con un convertidor de señal Física a señal de Simulink la cual nos permitirá procesar la información.

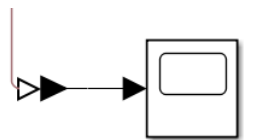


Figura 3.4.9: Visual bloque Scope y convertidor ps-simulink

Cada bloque del diseño fue configurado para un movimiento prismático, en la opción de actuación se seleccionó que la fuerza fuese calculada automáticamente y que el movimiento sería proporcionado por la entrada, la cual sería la señal que nosotros quisiésemos darle para el

movimiento pasando por un convertidor de simulink-ps entre la señal de entrada y la conexión al bloque para luego poder censar cada movimiento del diseño actual.

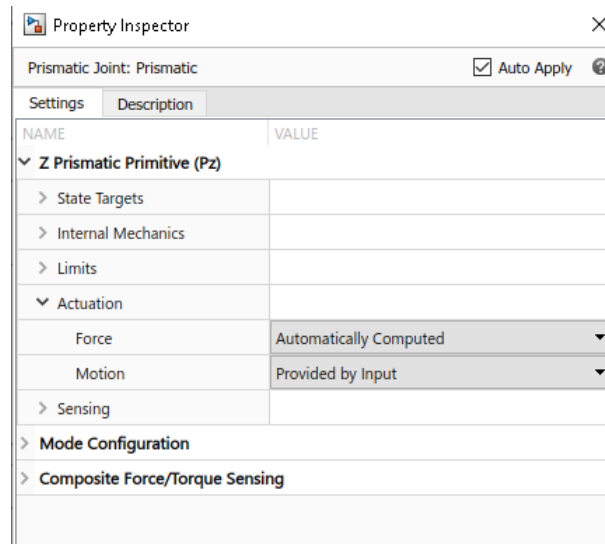


Figura 3.4.10: Visual bloque Scope y convertidor ps-simulink

Capítulo 4

Resultados

En el actual apartado se encontraran los resultados gráficos suministrados por la herramienta Simulink de Matlab la cual en la actualidad es una herramienta de análisis para los diseños y estudios de distintos prototipos tanto mecánicos como cinemáticos, actualmente este cuenta una licencia pagada Gracias a la universidad y por ello se ha optado por dar uso a esta herramienta junto con el programa de diseño de SolidWorks, en otro apartado podremos ver el análisis para la selección de la ventosa adecuada para el prototipo y como ultimo un análisis para la selección del motor el cual es el encargado de mover el mecanismo de limpieza sobre toda la superficie de la ventana.

4.1. Análisis Grafico del comportamiento para el diseño robótico.

Una vez con el diseño ya implementado en la herramienta de Simulink podremos de manera experimental, obtener los análisis gráficos del comportamiento y funcionamiento del mecanismo robótico, cabe mencionar que el diseño está planeado para trabajar en juntamente con un sistema (BMU) ya anteriormente mencionado.

En la Grafica de velocidad (Ver Figura 4.1.1) para los tornillos sin fin de desplazamiento vertical, se puede observar el comportamiento lineal de la velocidad constante que estos mantienen para dar un movimiento uniforme a todo el recorrido del mecanismo, como se puede observar el comportamiento de la velocidad en los tornillos se mantiene constante y

a un determinado ritmo hasta el segundo 29 donde allí se presenta un cambio repentino de velocidad el cual es usado para regresar el mecanismo horizontal a su inicio de recorrido.

Es de importancia entender que la velocidad para el motor que hace girar el tornillo sin fin sea constante y que este no presente alguna alteración durante el recorrido, si se llegase a presentar variaciones en la velocidad esto llevaría a que en el momento de la limpieza ciertas zonas puedan llegar a no obtener una limpieza completa y el brazo robótico no podría completar su desplazamiento en la superficie de manera satisfactoria. Por ello para este punto es importante y de gran ayuda que la señal que se muestre en la simulación sea de un comportamiento lineal mostrándonos un comportamiento de desplazamiento sin alteraciones dando como resultado una limpieza más optima.

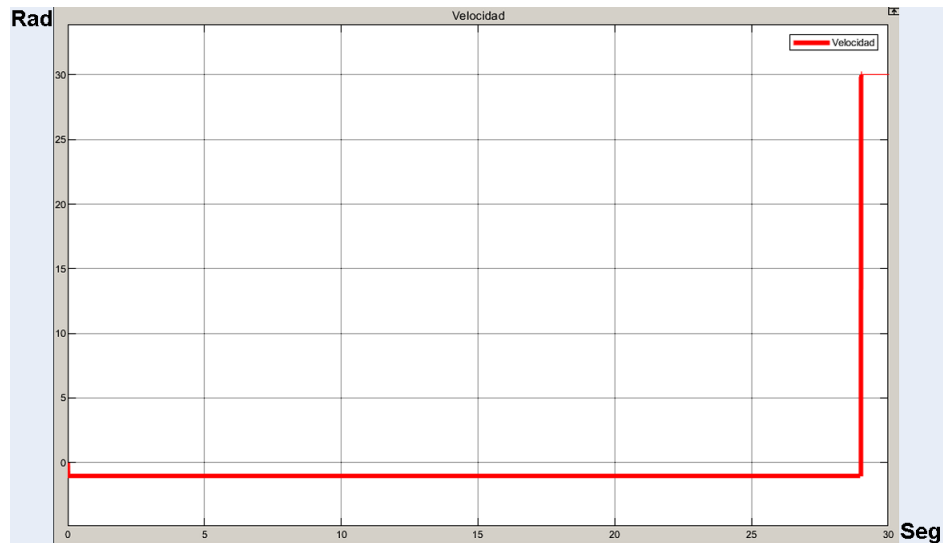


Figura 4.1.1: Grafica de Comportamiento Velocidad.

Para poder determinar en qué punto del espacio se encuentra el mecanismo horizontal, la gráfica generada por la herramienta de Simulink (Ver Figura 4.1.2) nos muestra la posición del recorrido realizado por el mecanismo horizontal en relación con el tiempo total de todo el funcionamiento. se puede observar tanto el desplazamiento de manera descendente como el instante en el que termina y regresa a su punto de origen para iniciar el nuevo recorrido.

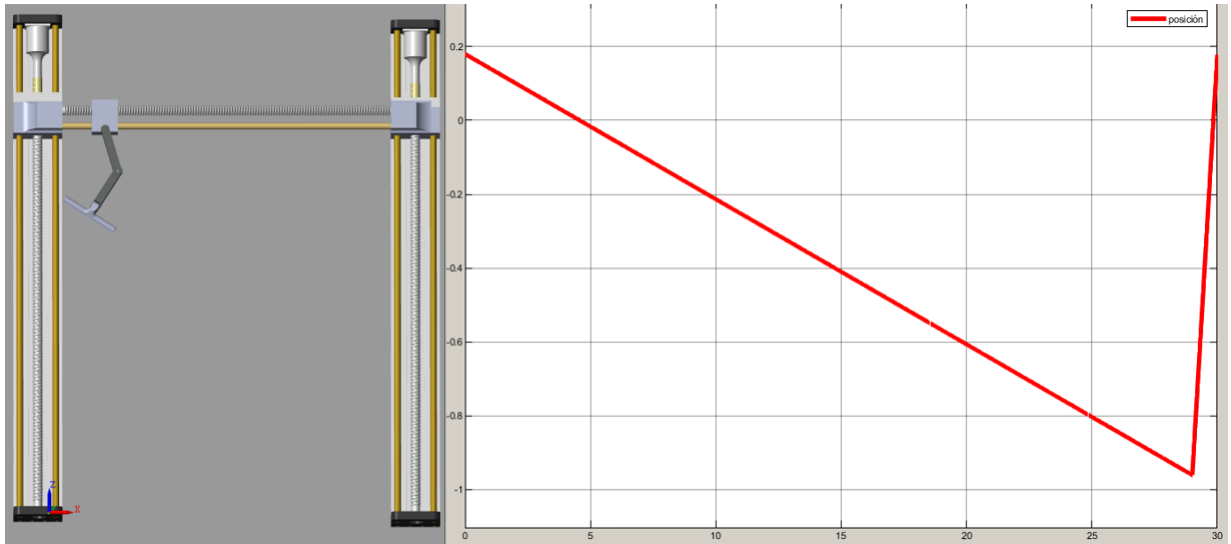


Figura 4.1.2: Grafica posición en el recorrido

En el segmento de análisis para el carro 3 (Carro encargado de transportar el brazo robótico) se encuentran los siguientes apartados, en donde se obtiene la gráfica de velocidad (Ver Figura 4.1.3) la cual muestra un comportamiento de una velocidad constante sobre el eje X con variaciones en los niveles del eje "Y". En el segundo 28.5 se observa una variación amplia en la velocidad puesto que en este momento el carro regresa a su posición inicial permitiendo al brazo robótico hacer la limpieza de los sobrantes en el borde de inicio.

En el comportamiento de la aceleración para el carro 3, se observan variaciones instantáneas en la señal por el cambio de dirección que el carro obtiene al finalizar un recorrido de limpieza en un sentido, al tener una velocidad constante mientras se realiza la limpieza, la aceleración en este segmento es nula (Ver Figura 4.1.4), por lo tanto, nuestra señal de aceleración muestra valores de cero en estos segmentos de tiempos.

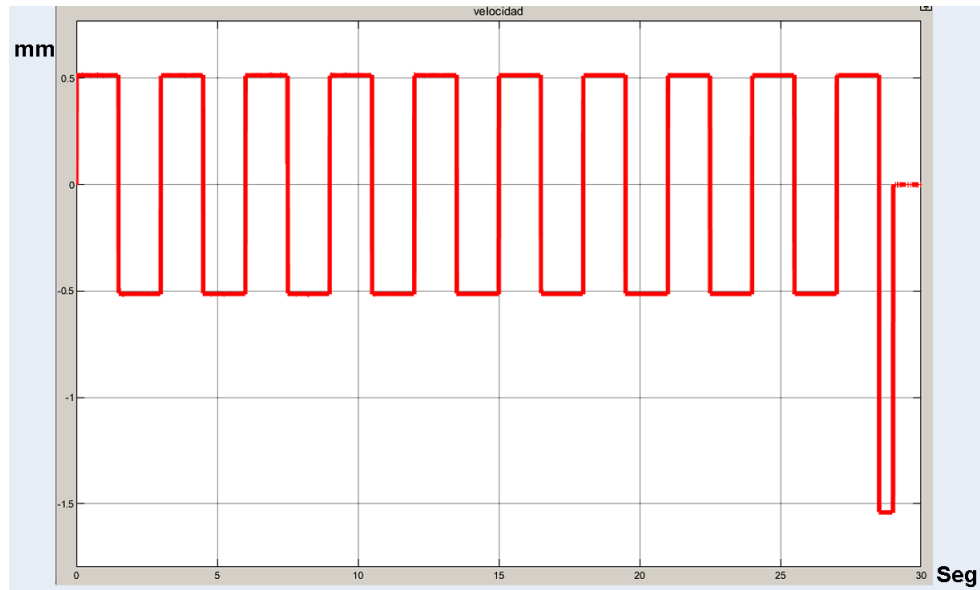


Figura 4.1.3: Grafica de velocidad

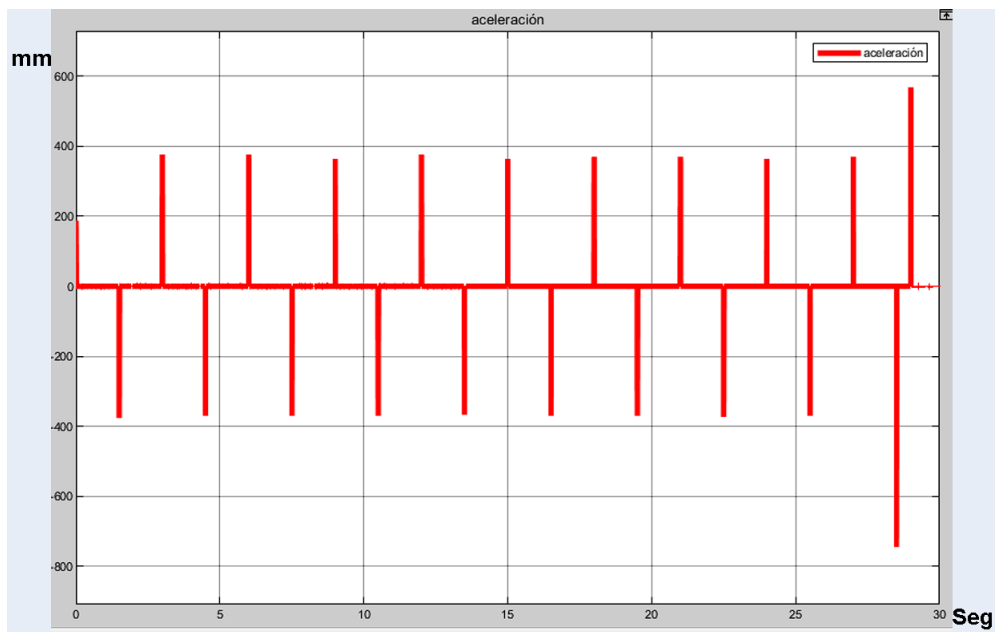


Figura 4.1.4: Grafica de Aceleración

En el análisis grafico final el cual consta del comportamiento del brazo robótico por eslabones, se puede observar como de manera independiente cada eslabón tiene un comportamiento según sea la necesidad, en la Grafica de Velocidad (Ver Figura 4.1.5) se puede observar como el eslabón 1 Grafica izquierda tiene un comportamiento de la velocidad más controlado con variaciones menos cortas como es el caso contrario del segundo eslabón el cual, tiene

comportamientos de velocidad más cortos y rápidamente variables cada cierta cantidad de segundos.

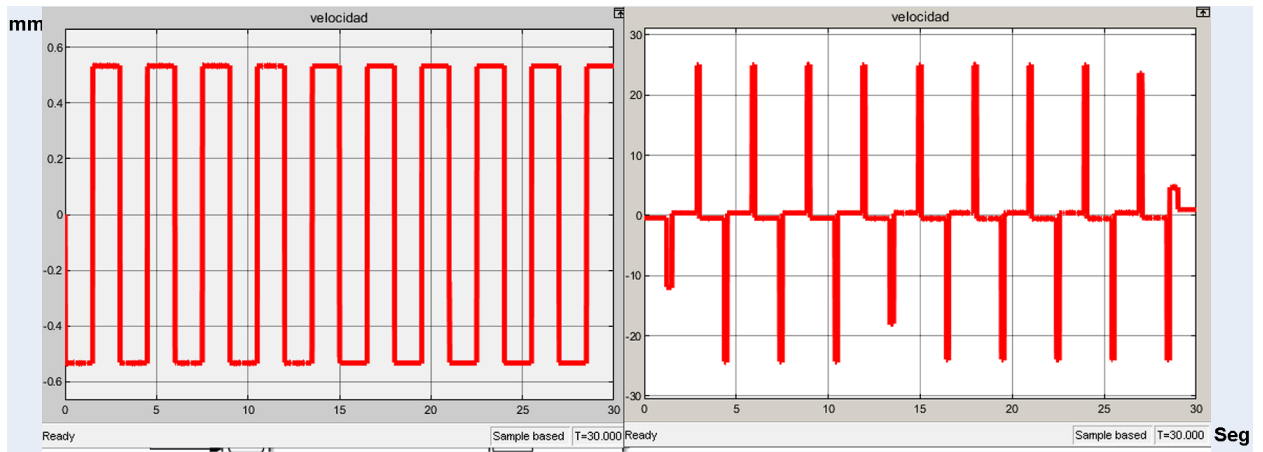


Figura 4.1.5: Comportamiento independiente de los eslabones.

4.2. Análisis para la selección de la ventosa (Sistema de sujeción)

En este punto es importante tener en cuenta muchos aspectos, ya que las ventosas pueden de cambiar según sea el ambiente en el que se encuentran o incluso las condiciones como lo pueden ser: Material de la superficie a la que se desea adherir, estado de la superficie y tipo de superficie si es rugosa, lisa o porosa y si esta esta seca o húmeda. Al elegir la ventosa adecuada para dicha labor es necesario tener en cuenta la deformación de la ventosa, Fuerza ejercida, su forma y material.

Teniendo en cuenta estas características se ha tomado en cuenta para la selección de la ventosa, los productos Festo y su ficha técnica respecto a la ventosa más adecuada para el proyecto y los cálculos de esta. Como primera parte se ha elegido que la ventosa sea de un material en específico llamado (Caucho Fluorado), el cual gracias a su condición de Fluorado es el preferido para la parte industrial automotriz en el trabajo de los cristales y para la industria de instalación en paneles de vidrio, pues dicha condición evita las marcaciones de la ventosa sobre el cristal, marcaciones las cuales una ventosa tradicional dejaría sobre la superficie una vez se adhiere a la misma.

Cabe tener en cuenta que, para los cálculos realizados a continuación, se han tomado los datos

en los que el prototipo estaría en condiciones de un ambiente seco, un material como el vidrio totalmente liso y con un movimiento en toda su trayectoria de limpieza.

En la investigación por usar los cálculos que los fabricantes tuvieron en cuenta para sus productos, FESTO [13] nos muestra los cálculos necesarios para elegir la ventosa más adecuada para la situación requerida, de esta manera se podrá calcular la fuerza que necesita cada ventosa para adherirse a la superficie teniendo en cuenta todos los aspectos anteriormente mencionados, para ello se usará la siguiente ecuación.

$$F_H = \left(\frac{m}{\mu} \right) * (g + a) * S(\text{Ecuación 1}) \quad (4.2.1)$$

Dónde:

Fuerza de Sujeción F_H

Masa del prototipo es de $m = 70\text{Kg}$

Coefficiente de fricción entre una superficie seca y nitrilo (μ) = 0,5

Aceleración Terrestre (g) = 9.81 m/s^2

Puesto que las limitantes del prototipo no se permiten exceder ciertas dimensiones, se estableció que su distancia máxima en la parte vertical es de 3.24m y el tiempo transcurrido en un ciclo de limpieza es de 30seg, por lo tanto, para hallar la velocidad promedio del prototipo se realizara de la siguiente manera.

Desplazamiento maximo (d) = 3.24m

Tiempo de desplazamiento de un ciclo (t) = 30Seg

Velocidad de un ciclo del prototipo (V) = d/t (Ecuación 2)

Velocidad de un ciclo del prototipo (V) = 0.108 m/s

Para poder calcular la aceleración máxima se debe de tener en cuenta el cambio de velocidad máximo el cual se efectúa en toda la transición de desplazamiento.

Velocidad maxima del prototipo (V) = 3.24 m/s

Aceleración maxima (a) = $\Delta V / \Delta t$

$$\text{Aceleración máxima (a)} = 3.24\text{m/s}^2$$

Según FESTO [13] nos indica que un el valor del factor de seguridad que debería de tomarse para ventosas las cuales realizan trabajos en superficies verticales es de:

$$\text{Factor de seguridad (S)}=2$$

Ahora con todos los datos ya recolectados, se procede a hallar la fuerza necesaria para poder levantar el prototipo de la superficie según la ecuación 1 de FESTO.

$$F_H = \left(\frac{70}{0,5}\right) * (9,81 + 3,24) * 2 \quad (4.2.2)$$

$$F_H = 3654N \quad (4.2.3)$$

Una vez hallada la fuerza total que necesitan las ventosas para sostener el mecanismo a la superficie, se necesita saber cuál es la fuerza que cada una de las ventosas debe ejercer para sostener al prototipo y así mantener un nivel adecuado en cada una de ellas.

$$F_s = \frac{F_H}{\text{Cantidaddeventosas} = 4} \quad (4.2.4)$$

$$F_s = 913,5N \quad (4.2.5)$$

Fuerza individual de ventosas Fs

Ya que se conoce la fuerza mínima necesaria ejercida por cada ventosa y que cada ventosa trabajara de manera independiente con su generador de vacío, es necesario saber cuál es el diámetro mínimo requerido para trabajar bajo estos estándares de peso y fuerza [11], cabe mencionar que los valores para los siguientes cálculos fueron hallados en la ficha técnica del fabricante FESTO [13] existen dos tipos de generación de vacío, vacío de caudal y vacío máximo.

El vacío de caudal es usado para los trabajos en los cuales las ventosas no logran tener una completa hermeticidad entre la ventosa y el material, ya que el material en este caso suele ser poroso, los generadores de vacío máximo o vacío son usados especialmente para los trabajos de contacto hermético como lo son las láminas de metal liso, cristal entre otros, para esta ocasión se usará un generador de vacío.

$$D_{ventosa} = 1,12 * \sqrt{\frac{(m * s)}{(p_u * \eta * \mu)}} \quad (4.2.6)$$

Dónde:

Dventosa = Diametro de la ventosa

m = masa del prototipo (Kg)

P_u = Depresión por bar (vacío generado por la bomba de vacío)

n = numero de ventosas

S = Factor de seguridad

u = Coeficiente de fricción entre el vidrio y la ventosa

Según los datos suministrados por la ficha técnica del fabricante para la bomba tenemos una depresión por bar de 4.5bar como máximo y para la ventosa un factor de seguridad de S=2 y un coeficiente de fricción de 0.5.

$$D_{ventosa} = 1,12 * \sqrt{\frac{(70 * 2)}{(4,5 * 4 * 0,5)}} \quad (4.2.7)$$

$$D_{ventosa} = 4,42cm \quad (4.2.8)$$

Ahora teniendo la cantidad de fuerza que debe ejercer cada ventosa y conociendo el diámetro mínimo requerido, se procede a calcular el área de cada ventosa en funcionamiento y la presión que debe ejercer cada una de ellas sobre la superficie para así saber la depresión necesaria por la bomba de vacío.

$$A_{surp} = \pi * r^2 \quad (4.2.9)$$

$$A_{surp} = \pi * 2,21^2 \quad (4.2.10)$$

$$A_{surp} = 0,001534m^2 \quad (4.2.11)$$

$$P_{vc} = \frac{F_s}{A_{surp}} = \frac{913,5N}{0,001534m^2} = 595,5KPa \quad (4.2.12)$$

Dónde:

Asurp = Area en funcionamiento de la ventosa

Pvc = Presión por cada ventosa

4.3. Análisis para la selección del motor encargado del movimiento.

Para la selección del motor se tuvo en cuenta los siguientes factores del diseño.

Peso de carga P = 40Kg

Desplazamiento motor tornillo sin fin h = 3.24m

Aceleración gravitacional Ag = 9.81 m/s²

Con los datos anteriormente conocidos se procede a hacer el cálculo de la fuerza que debería de hacer el motor para mover el prototipo.

$$f = P * A_g \quad (4.3.1)$$

$$f = 40Kg * 9,81m/s^2 \quad (4.3.2)$$

$$f = 392,4N \quad (4.3.3)$$

Una vez obtenida la fuerza se procede a calcular el trabajo que debe realizar el motor.

$$W = f * h \quad (4.3.4)$$

$$W = 1271,376J \quad (4.3.5)$$

Para poder hallar el torque que necesita tener el motor para hacer girar el tornillo sin fin, es necesario realizar el siguiente cálculo en donde necesitaremos la fuerza ya calculada y el radio del tornillo, en este caso el diámetro del tornillo es de 2.9cm.

$$T = f * R_{torn} \quad (4.3.6)$$

$$T = 392,4N * 0,0145m = 5,6898N * m \quad (4.3.7)$$

$$T = 58,0198 \quad (4.3.8)$$

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Al tratarse de un diseño nuevo, se permitió durante el proceso dar posibles mejoras al diseño con base a los prototipos que actualmente se encuentran en el mercado, dando así la posibilidad de tener mayor eficacia y permitiendo que el robot sea menos invasivo al momento de realizar su trabajo.

Con el estudio realizado para la selección de las ventosas, se es claro el nivel de importancia al momento de elegir el material y elemento adecuado para poner el robot en uso, dando como resultado un diseño óptimo, acertado y eficaz en la tarea a desempeñar.

De acuerdo al estudio realizado, decimos que se tiene la posibilidad de unir las herramientas de SolidWorks y Simulink de matlab para un mejor estudio y análisis de los diseños, siendo así un trabajo arduo para lograr llegar a obtener la cinemática del movimiento y generando un análisis gráfico en base a su comportamiento.

Cabe mencionar que el diseño puede considerarse como uno de los proyectos con su estándar de seguridad más elevado a diferencia de los de su competencia, ya que fuera de contar con un sistema de sujeción confiable a la superficie como lo es el uso de ventosas neumáticas industriales para cristal, también es usado conjuntamente con el sistema BMU (Unidad de mantenimiento para edificios).

En promedio la limpieza de un solo cristal para el Burj Khalifa con personal humano una

vez esté listo para realizar dicha labor, el tiempo promedio de limpieza es de 4 a 5 minutos y para el prototipo se tiene un tiempo estimado una vez ya instalado en posición de entre 30 y 35 segundos la limpieza total. Esto es una mejora significativa en el tiempo de limpieza para cada cristal con respecto a la limpieza tradicional.

Con el uso adecuado de las ventosas correctas se observa que la fuerza por la bomba generadora de vacío será menor siempre y cuando se cumple con el diámetro mínimo para soportar dicha carga, puesto que para cada bomba generadora de vacío se usara un valor aproximado de 1.3bar de una capacidad de 4.5 bar que puede usar la bomba generadora de vacío.

Bibliografía

- [1] A. M. Mykh and O. E. G. Guerrero, “Limpieza de ventanas de rascacielos y alternativas tecnológicas emergentes,” *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, vol. 2, no. 30, pp. 1–10, 2019.
- [2] S. E. Rubio Amoretti, “Diseño conceptual de un sistema automático para limpieza de ventanas en edificios de altura.”
- [3] S. Sierra Dueñas, J. S. Jiménez Ramírez, D. F. Gómez Rodríguez *et al.*, “Cleanbotrobot limpiador de superficies verticales”,” 2017.
- [4] E. Calle, I. Ávila, and J. Zambrano, “Robot escalador para mantenimiento y limpieza de edificios,” 2008.
- [5] N. Mir-Nasiri, H. Siswoyo, and M. H. Ali, “Portable autonomous window cleaning robot,” *Procedia computer science*, vol. 133, pp. 197–204, 2018.
- [6] W. VEGA, “Los lavavidrios del edificio más alto del mundo, de 828 metros de altura, en dubái,” 2010.
- [7] S. K. SAHA, “Introduction to robotics,” 2008.
- [8] J. E. Carrasco Delgado and M. G. Ramirez Vilchez, “Diseño de un prototipo limpiador automatizado para paneles solares de dimensiones 160 x 90 x 4 cm,” 2020.
- [9] A. Casquero, R. L. Hecker, D. Vicente, and G. M. Flores, “Sintonización de un controlador para un posicionador lineal usando la dinámica de alta frecuencia del sistema,” 2013.
- [10] CCS, “¿cómo ha estado la siniestralidad laboral en el sector de la construcción?” 2021.
- [11] SCHAMALZ, “Dimensionamiento de las ventosas,” 2022.
- [12] M. Farsi, K. Ratcliff, J. Johnson, C. Allen, K. Karam, and R. Pawson, “Robot control system for window cleaning,” in *Proceedings of 1994 American Control Conference-ACC’94*, vol. 1. IEEE, 1994, pp. 994–995.
- [13] FESTO, “Técnica de vacío,” 2022.
- [14] T. Miyake and H. Ishihara, “Mechanisms and basic properties of window cleaning robot,” in *Proceedings 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003)*, vol. 2. IEEE, 2003, pp. 1372–1377.
- [15] O. L. Molina Rivera, “Diseño, construcción e implementación de un robot escalador para la limpieza de ventanas interiores utilizando visión artificial y comunicación inalámbrica, para la empresa soft teratronic,” B.S. thesis, 2012.

- [16] S. M. Moon, C. Y. Shin, J. Huh, K. W. Oh, and D. Hong, “Window cleaning system with water circulation for building façade maintenance robot and its efficiency analysis,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 65–72, 2015.
- [17] J. Gabel, “The global tall building picture: Impact of 2016,” 2016.