

The logo for the University of Seville, consisting of the letters 'US' in a bold, red, serif font.

UNIVERSIDAD
DE SEVILLA

· 1505 ·

Statement of Work

Proyectos Integrados

Grupo 5

Carlos Sayago Rodríguez
Elena Zambrano López
Juan Bosco García-Donas Serrera
Julia Martina Soto Garrido
Óscar Ares Martínez
Pablo García Hernández
Paula Saucedo Rodríguez

Tutores:

Hipólito Guzmán Miranda
María del Mar Elena Pérez
Javier García Martín

A photograph of the facade of Seville Cathedral, featuring a central statue of an angel with wings and a trumpet, set against a dramatic, reddish-pink sky. The image is partially obscured by a white diagonal line.

Seville, April 3, 2024

Índice

1	Introducción	1
1.1	Descripción del problema	1
1.2	Estado del arte	1
1.3	Solución propuesta	2
2	Alcance	3
2.1	Objetivos y requisitos	3
2.2	Descripción de subsistemas	4
2.3	WBS	5
3	Periodo y Planificación	6
3.1	Periodo de trabajo	6
3.2	Diagrama de Gannt	7
3.3	Análisis de riesgos	7
4	Calendario de entregables	8
5	Criterios de aceptación	9
5.1	Criterios de aceptación	9
5.2	Matriz de verificación	9
5.3	Plan de pruebas	10
6	Material y presupuesto	12
6.1	Materiales necesarios	12
6.2	Presupuesto	13
6.3	Comercialización del producto	14
7	Referencias	15
8	Apéndice	16
8.1	Patentes	16

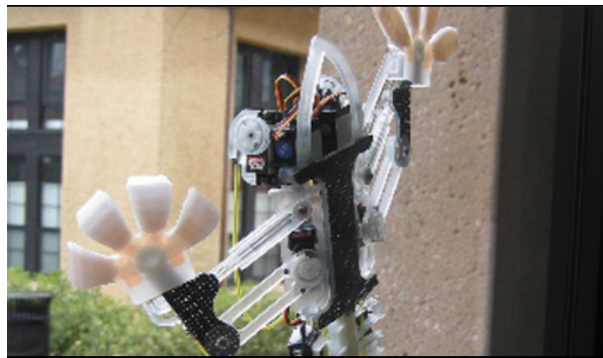
1 | Introducción

1.1 | Descripción del problema

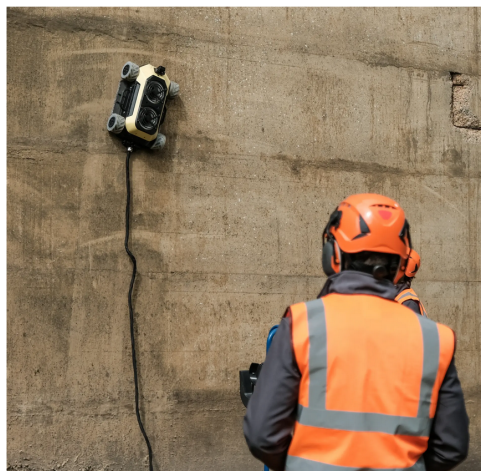
En el año 2023, 595 trabajadores fueron víctimas de siniestros laborales fatales (*"Listado de Accidentes Laborales Mortales en 2023"*, 13 de noviembre de 2023). Muchos de estos estuvieron relacionados con caídas desde gran altura, ya sea en el ámbito de la construcción, o a la hora de limpiar superficies muy altas. En muchas ocasiones, las empresas anteponen los resultados a la salud e integridad de sus trabajadores. Esto, sumado a la urbanización y aumento de la población, hace que este tipo de accidentes sea cada vez más frecuente, ya que se van construyendo edificios de mayor altura por todo el mundo. Se prevee que para 2050, cerca del 70% de la población total mundial vivirá en ciudades (Juan Arellanes, 11 de diciembre de 2023), por consiguiente, la mayoría lo hará en construcciones de considerable altura para el ser humano. Es entonces cuando surge la clara pregunta, ¿cómo podemos frenar estas incontables muertes cada año?

1.2 | Estado del arte

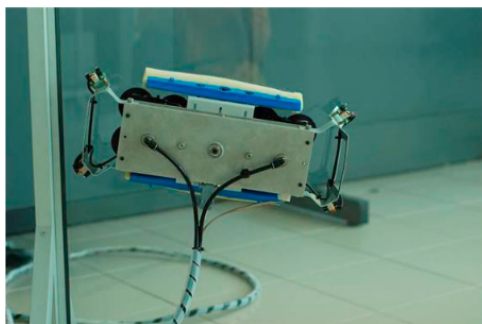
Lo primero que se viene a la mente, en un mundo tecnológico en el que vivimos, es la elaboración de una máquina o robot que cumpla la función del trabajador y que sea este el que acceda a sitios de gran altura, en vez de el humano. En la actualidad, existen diversas técnicas usadas en robots para que puedan trepar paredes y acceder a sitios demasiado altos. Por ejemplo, usando extremidades con ventosas que sean capaces de adherirse a las paredes. Algunas variantes avanzadas de esta técnica incluso usan robots que emulan la capacidad de geckos o dragones de agua para escalar paredes, como si del propio animal se tratase (*"Stickybot, el robot que trepa paredes y ventanas"*, 8 de marzo de 2011).



Otra alternativa que puede ser usada para escalar estructuras metálicas es incluir imanes en las ruedas del robot o vehículo, que sigue siendo de especial utilidad, a pesar de que solo sea capaz de escalar por superficies metálicas (wavegm, 2008). Una opción con un uso bastante extendido es la de crear un área de baja presión entre la pared y el robot o vehículo mediante el uso de una turbina o hélice. De esta forma, la diferencia de presión hace que se ejerza una fuerza que empuja el robot contra la pared y permite que se mueva verticalmente sin caerse (Ben Coxworth, 14 de diciembre de 2021).



Aparte de todos estos inventos que permiten desafiar la gravedad y ascender por superficies verticales, hay también algunos ejemplos más aplicables y con un mayor grado de utilidad, con funcionalidades adicionales a parte de poder moverse en vertical. Por ejemplo, robots capaces de limpiar cristales de forma autónoma, permitiendo así la limpieza de ventanas exteriores a gran altura (Nazim Mir-Nasiri, Hudyjaya Siswoyo J . and Md. Hazrat Ali, 2018), incluso hay alguna variante patentada de este tipo de robot (Cui Chenyu, Ge Dingxin, Tang Yongchen, Liu Zhanjuan, Wang Qiang, 2016). Otros tipos de robots de este tipo son capaces de transportar cargas muy superiores a su propio peso, pudiendo así cargar herramientas o utensilios a ser usados por los trabajadores en puntos altos (Elliot W. Hawkes, David L. Christensen, and Mark R. Cutkosky, Junio de 2015). Todos estos ejemplos tienen aplicaciones bastante interesantes, pero cuentan con un pequeño problema, y es su elevado coste. Muchos de estos proyectos que se encuentran en el mercado tienen un precio superior a los 100€, ¿realmente es rentable para una persona de clase media/baja gastarse tanto dinero en un dispositivo de este tipo pudiendo realizar la tarea uno mismo? Este es un claro *"gap in the market"* (oportunidad de mercado) que se podría explotar lanzando una versión similar y más económica de este tipo de proyectos.



1.3 | Solución propuesta

Después de haber debatido las distintas opciones reales, para este proyecto se ha decidido realizar un dispositivo basado en el uso de ventosas (Yu Yoshida y Shugen Ma, 14-18 de diciembre de 2010), que se desplaza por superficies de cristal mediante ruedas y es controlado mediante Bluetooth, al que se ha decidido apodar *"WallWiper"*. La principal razón por la cual se ha elegido esta alternativa es el hecho de que es un método pasivo, es decir, a parte de la alimentación para que el robot se desplace, no hace falta ninguna otra fuente de energía para que este se mantenga adherido a la pared, debido a que el propio diseño y funcionalidad de las ventosas es suficiente. De esta manera, se consigue ahorrar en costes, ya que no harían falta fuentes de alimentación adicionales, y además, se respeta la situación de crisis económica de los últimos años gracias a este método pasivo que no consume energía extra.

Como funcionalidad añadida, *"WallWiper"* será capaz de limpiar la superficie por la que escala, facilitando así tareas de limpieza para trabajadores que tengan que acceder a sitios de gran altura. Esto se puede aplicar en el ámbito de la arquitectura y construcción, a la hora de realizar la puesta a punto de algún edificio que se haya construido en gran parte de cristal (muy frecuente en centros económicos de las ciudades), paso previo a la finalización de la construcción del edificio muy importante de cara a la comercialización del mismo, para que este tenga un aspecto profesional y atractivo. También simplemente para realizar una limpieza periódica de este tipo de edificios. Otra alternativa algo más doméstica es la limpieza de ventanas de gran altura, ya sean de interior o exterior. Para poder limpiar las zonas más altas, normalmente haríamos uso de alguna escalera o plataforma elevadora, opciones de alto riesgo y alto coste respectivamente. Con *WallWiper*, seríamos capaces de limpiar estas zonas de manera segura y económica. En definitiva, *"WallWiper"* reduce notablemente el riesgo a la hora de llegar a puntos demasiado altos, garantizando primordialmente la seguridad de las personas.

2 | Alcance

2.1 | Objetivos y requisitos

En esta sección se pasa a detallar los requisitos que guiarán el diseño, desarrollo y construcción de Wall-Wiper. Estos requisitos se han establecido en base a las necesidades identificadas así como considerando también los estándares de seguridad pertinentes en el diseño y desarrollo.

Los objetivos presentados a continuación describen las metas específicas que se esperan alcanzar a lo largo del desarrollo del proyecto. Estos objetivos representan los resultados (mínimos, evaluables y factibles) esperados y las áreas clave de enfoque para garantizar el éxito del proyecto; y con ello la entrega de un proyecto funcional y completo. Se pasa a detallar lo expuesto partiendo de los objetivos:

- O.1: Diseñar, desarrollar y construir un prototipo funcional de un robot limpiador.
- O.2: Programar un movimiento eficiente y cómodo que facilite el uso del robot y la versatilidad de este.
- O.3: Desarrollar un sistema que se adhiera al cristal y vidrio.
- O.4: Asegurar la estabilidad y seguridad del sistema durante su uso.
- O.5: Desarrollar un sistema que se controle de manera remota.

- F.1: El sistema debe estar diseñado de tal forma que no suponga un peligro su uso para el usuario final.
- F.2: El sistema debe poder moverse en los 2 ejes principales, para ambos sentidos.
- F.3: El sistema debe ser capaz de adherirse firmemente a las superficies cristalinas y vidrieras.
- F.4: El sistema debe ser capaz de limpiar superficies de vidrio de diferentes tamaños con un nivel de suciedad genérico.
- F.5: El sistema debe poder ser controlado de manera remota.

- P.1.1: El sistema contará con un diseño que dificulte al usuario ser dañado por el mismo y en su uso.
- P.1.2: El sistema tendrá limitaciones programadas en casos de posible peligro.
- P.2.1: El sistema contará con los motores necesarios que le permitan el avance y retroceso.
- P.2.2: El sistema constará de un sistema de giro para poder efectuar rotaciones sobre el cristal.
- P.3.1: El sistema debe asegurar un agarre estable y firme durante la limpieza.
- P.3.2: El sistema debe asegurar un agarre estable y firme durante el movimiento en ambos ejes.
- P.3.3: El sistema de ventosas proporcionará una fuerza suficiente para mantener el robot y para poder despegarlo de manera segura.
- P.4.1: El sistema será eficiente en el proceso de limpieza del polvo y suciedad superficial.
- P.5.1: El sistema se controlará por medio de tecnología Bluetooth.
- P.5.2: Las ordenes serán enviadas mediante una aplicación, en directo.

- D.1: El sistema deberá tener unas dimensiones no mayores de 80cm de largo y 50cm de ancho para ampliar el rango de superficies posibles a limpiar.
- D.2: El sistema deberá contar con el peso mínimo para permitir la adherencia para poder prescindir del uso de motores con mayor potencia.
- D.3: El sistema de adherencia partirá del uso de ventosas como pilar.
- D.4: Para seguir con nuestros valores, se hará uso de impresión 3D para el sistema de cadena y engranaje.

- C.1: El presupuesto máximo con el que se contará es de 80€.
- C.2: El sistema debe contener un controlador.
- C.3: Se contará únicamente con una hora y media a la semana para poder probar presencialmente con todo el equipo el conjunto de componentes del sistema.
- C.4: Determinados componentes (como el módulo Bluetooth y el módulo de placa de control) tardarán de 20 a 35 días en llegar.
- C.5: Sólo se podrá cortar y construir en el laboratorio en el horario de trabajo de una de las integrantes del equipo.
- C.6: El plazo de entrega del proyecto es a finales de Mayo.

2.2 | Descripción de subsistemas

En esta parte se van a detallar todos los subsistemas involucrados en nuestro prototipo necesarios para cumplir con los requisitos y objetivos descritos anteriormente.

El objetivo de este apartado es dividir el proyecto en retos más pequeño y fáciles de manejar, permitiendo un mejor seguimiento de los avances y la distribución de las tareas entre los miembros del equipo.

Por todo ello, el proyecto se encuentra dividido en 4 grandes bloques:

1. **Sistema tractor** : En este subsistema se describe todo lo necesario para realizar el movimiento vertical. Se opta por un sistema tipo oruga basado en una cinta con ventosas.

Se utilizan motores DC Smart Car de entre 6V a 7,2V con un torque de 1,1 Nm. Los motores se conectan a un engranaje, para el movimiento de la correa del sistema en la que se montan las ventosas.

La estructura y la distribución de pesos se diseñan de forma de poder cancelar el momento generado por la gravedad en el movimiento vertical y aplicar la suficiente fuerza en las ventosas para su adhesión a la superficie. Además, se ejercerá una fuerza de compensación mediante el sistema de limpieza trasero que se mencionará más adelante en el subsistema 3, el cual además de limpiar, ayudará con la adherencia y a evitar que el robot se desprege de la pared a causa de la gravedad.

2. **Subsistema electrónico** : En este subsistema se contempla toda la electrónica del prototipo necesaria para el control, la comunicación y la programación. Dicha electrónica se ve condensada en una única PCB, que permite menos cables y un sistema compacto.

El microcontrolador empleado es un ATmega328P, ya que cumple con todos los requisitos necesarios para el control de todos los módulos. En este caso empleamos un Arduino nano, que debido a su reducido tamaño es una clara ventaja.

El controlador de motores es un módulo L298N, este cuenta con un integrado de mismo nombre y un regulador de tensión de 5V, que permite la alimentación del microcontrolador. La tensión de alimentación del driver es de 6V a 48V. El módulo permite conectar dos motores simultáneamente, cada uno se ve controlado por una señal PWM para su velocidad y dos pines digitales para su sentido de giro.

Finalmente, para la comunicación y el control del prototipo se usa un módulo bluetooth HC-05, idóneo para la comunicación con la app móvil y una alimentación directa desde el procesador con 3,3V.

3. **Subsistema de alimentación** : Este subsistema trata todo lo relacionado con la alimentación de la electrónica del prototipo.

La tensión de la batería se define por la tensión de trabajo del módulo L298N, el cual alimenta su drive con una tensión es de 6V y 48V. Debido a que la tensión máxima de los motores es de 7,2V es necesario añadir un DC-DC para mantenerla estable a dicho voltaje.

La corriente de descarga máxima permitida por el integrado L293N es de 2A, aunque la máxima consumida por motor es de 250mA y la corriente por pin del Arduino es de 40mA. A causa de esto y al tipo de celdas y de química usada, la corriente máxima no resulta un problema.

La capacidad viene definida por el consumo, principalmente de los motores y la autonomía. Se plantea una autonomía de 4 horas suficiente para cumplir todas las pruebas necesarias.

Por todo esto y con la idea de conseguir un peso reducido hemos decidido utilizar celdas de tipo Lipo. Otorga una autonomía de hasta 5 horas, con una tensión nominal de 11,1V y una corriente de descarga máxima de 36A que supera con creces lo necesario.

4. **Subsistema de limpieza**: En este último subsistema se incluyen todos los elementos y técnicas usadas para realizar una limpieza eficiente de las superficies de vidrio. Con el fin de mantener el peso

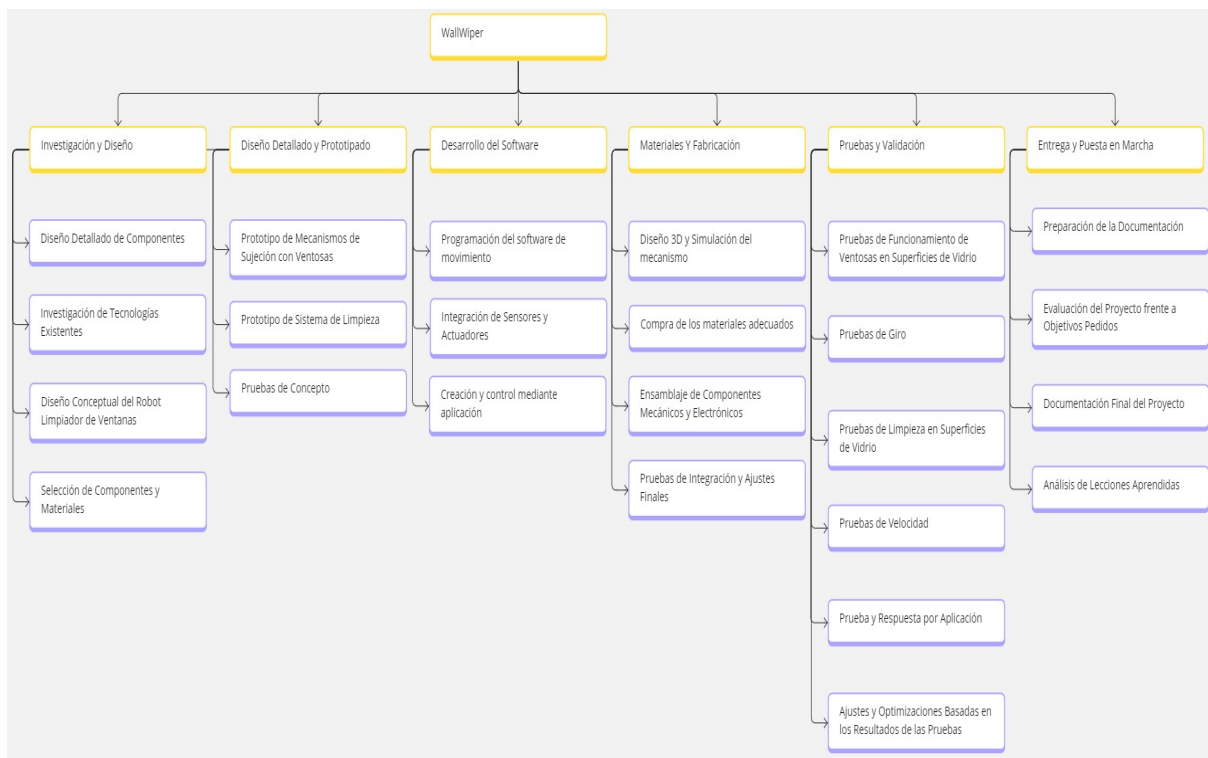
del dispositivo completo por debajo del peso que las ventosas son capaces de soportar, se ha decidido incluir elementos de limpieza muy básicos y que sean capaces de integrarse de alguna manera en el cuerpo o estructura del robot. Por un lado, una esponja o estropajo en la parte delantera del vehículo, que se encargará de humedecer la superficie. Una vez la superficie este húmeda y sea más fácil la eliminación de suciedad, una rasqueta (limpiacristales) enganchada a la parte trasera ejecutará un barrido que eliminará la suciedad de la superficie.

2.3 | WBS

Para la elaboración y gestión de proyectos, el Work Breakdown Structure (WBS), o Estructura de Desglose del Trabajo, es una herramienta fundamental que ayuda a descomponer un proyecto en tareas más manejables y comprensibles. Esta técnica de desglose jerárquico nos permite visualizar y organizar todas las actividades necesarias para completar con éxito el proyecto en cuestión. Por tanto, se muestra evidente el uso de la misma para el diseño de nuestro robot.

Mediante el uso del WBS buscamos proporcionar una visión general, clara y detallada del proyecto, la comprensión de su alcance y permitir una mejor planificación y asignación de tareas. Al descomponer el proyecto en tareas más pequeñas y manejables, hemos logrado identificar de manera más precisa las actividades específicas que deben llevarse a cabo.

A continuación se muestra un desglose del trabajo (WBS, por sus siglas en inglés) para un proyecto de un robot limpiador de ventanas:



3 | Periodo y Planificación

3.1 | Periodo de trabajo

El proyecto se llevará a cabo desde febrero hasta mayo de 2024. Se irá desarrollando poco a poco durante estos cuatro meses. El mes de febrero estará enfocado en formar el equipo de trabajo y seleccionar correctamente el proyecto que llevaremos a cabo. Se realizará una lluvia o "*brainstorming*" de ideas cuyos resultados serán tratados con los tutores con el objetivo de valorar cuál es la mejor opción. Las sesiones con los tutores servirán como guía para el proyecto, pues al principio se proporcionan ideas para fomentar la creatividad, así como herramientas para trabajar en grupo con el código y explicaciones sobre la documentación necesaria. Esto nos ayudará a empezar el trabajo.

Al tratarse del comienzo se ha optado por dedicar mucho tiempo a la organización para saber qué tiene que hacer cada miembro del equipo, cómo y cuándo, evitando perder demasiado tiempo después. Con el fin de tener un seguimiento continuo, se ha fijado un día para tener reuniones semanales en las que enlazar el trabajo, completarlo entre todos y tratar los distintos problemas que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto.

Las primeras reuniones se centrarán en decidir el proyecto con más detalle, pensar qué material que ya tengamos podemos aprovechar y qué necesitamos comprar, calcular el tiempo que vamos a emplear en cada parte del trabajo de manera aproximada y repartir la documentación. Además, parte del grupo se dedicará a desarrollar en 3D el proyecto, para verificar la viabilidad del mismo y después imprimirlas directamente. Tendremos que hacernos con el material necesario una vez hayamos distribuido el presupuesto teniendo en cuenta cierto margen de error por si se da alguna situación inesperada en la que necesitemos dinero para nuevas compras.

Una vez tengamos buena parte del material, se podrá comenzar con el montaje, y con el tiempo irán surgiendo conflictos que iremos tratando en equipo hasta que finalmente podamos comenzar con la parte de la programación. Estas dos partes del proyecto requieren bastante tiempo, por lo que, siendo conscientes de ello debemos reservar un periodo final centrado por una parte en la realización de pruebas y por otra en resolver posibles errores que imposibiliten entregar el trabajo a tiempo.

Si las pruebas son superadas con éxito se procederá a actualizar la documentación y terminar los últimos detalles. De esta forma se podrá dar por finalizado el proyecto.

3.2 | Diagrama de Gannt



3.3 | Análisis de riesgos

Se ha realizado un estudio con relación a los posibles riesgos que debemos tener en cuenta durante la realización del proyecto.

1. Retraso de las piezas adquiridas online. Esto supondría un riesgo ya que retrasaría el montaje del robot, lo que retrasaría el proyecto completo. Para aminorar, se adquirirán las piezas necesarias en el plazo concretado (Probabilidad=baja; Severidad=media).
2. Posibles errores de montaje por un problema mecánico. Puede ser que los componentes escogidos en un principio no sean los adecuados, por ejemplo, las piezas que componen la estructura pueden no encajar entre sí. Para evitar esta situación, se trabajará primero con el diseño en 3D, lo cual requiere mayor trabajo al principio, pero que reducirá las posibilidades de que las distintas partes del sistema no se conecten entre sí. También se tendrá en cuenta un margen de tolerancia, en especial a la hora de diseñar las piezas para imprimir en 3D. (Probabilidad=alta; Severidad=alta).
3. Complicaciones debido a problemas electrónicos. Puede ocurrir algún fallo con los motores, por poner un ejemplo, que impida cumplir con las fechas de entrega previstas. Se tratará de conseguir el material lo antes posible para tener margen de tiempo en caso de encontrarnos este problema (Probabilidad=alta; Severidad=alta)
4. Dificultad a la hora de implementar el código. Debemos tener en cuenta la alta posibilidad de experimentar fallos en el desarrollo del código, programación, que podrían alargar el momento de la entrega. (Probabilidad=media; Severidad=media).
5. Posibilidad de caída del robot al suelo desde el cristal. Esto supondría un riesgo ya que el robot podría romperse. Para reducir este riesgo, primero se probará a alturas bajas y preferiblemente colocando alguna superficie blanda en el suelo. (Probabilidad=media; Severidad=alta).
6. Otro problema que puede darse es el de algún contratiempo con el agua. Puede ocurrir que se moje algún componente y se estropee, teniendo que volver a comprarlo. Por eso se tendrá extrema precaución a la hora de probar el sistema de limpieza (Probabilidad=alta; Severidad=alta).

7. En relación a lo anterior, dado que el coste económico del proyecto está limitado, existe la posibilidad de que se gaste por completo el presupuesto y se necesite comprar algo más. Para ello se intentará utilizar componentes a los que ya se tenga acceso, disminuyendo los costes y dejando así un margen para posibles complicaciones. (Probabilidad=baja; Severidad=media).
8. Debe contemplarse el riesgo de accidentes con personas, pues el robot probablemente compartirá espacios con humanos. Para ello, se tratará de diseñar el mismo de tal manera que, teniendo en cuenta esta posibilidad, posea una estructura más segura. Además, dada la importancia de este aspecto, se implementará un botón de emergencia por si, dado el caso, fuese necesario parar de inmediato el robot. (Probabilidad=media; Severidad=alta).
9. Una vez se consiga poner en funcionamiento el robot, puede darse la situación de que la autonomía sea excesivamente escasa. El proyecto está pensado para fabricar una herramienta que facilite la vida de las personas y que funcione de manera efectiva, por lo tanto, este aspecto se tendrá en cuenta desde la obtención del material. (Probabilidad=media; Severidad=media).
10. Posibilidad de obtener un elevado tiempo de respuesta. El robot debe ser lo más rápido posible no en su trayectoria, pues es importante que cumpla bien su principal función que es la limpieza, sino a la hora de responder cuando le damos una orden. La eficacia es imprescindible, por lo que se buscará programarlo de la mejor manera. (Probabilidad=baja; Severidad=media).

4 | Calendario de entregables

- 3 abril: versión preliminar del SOW para revisión
- 19 abril: versión corregida del SOW
- 26 abril: informe de progreso 1
- 3 mayo: informe de progreso 2
- 10 de mayo: informe de progreso 3
- 21 de mayo: demostración del proyecto
- 12 de junio: versión final del SOW, memoria descriptiva de resultados

5 | Criterios de aceptación

5.1 | Criterios de aceptación

Errores graves: no lograr que el robot se adhiera al vidrio, que no cumpla el objetivo de eficacia en la limpieza, que no logre realizar el movimiento correctamente, y sobre todo, que no sea seguro.

Errores medios: son errores que impiden que objetivos secundarios se cumplan, como puede ser no conseguir implementar el control mediante la aplicación móvil.

Errores leves: en caso de que el robot realice su función principal pero no cumpla con la optimización, como alcanzar una velocidad óptima.

5.2 | Matriz de verificación

- **Inspección** : Examinando de manera no destructiva, puede incluir medidas simples
- **Análisis:** Usando modelos o interpretando resultados (por ejemplo por simulación)
- **Demostración:** Observación del ítem en funcionamiento
- **Test:** Evaluación o ejecución del ítem bajo condiciones ,configuraciones, entradas, etc, controladas.

REQUISITO	NOMBRE REQUISITO	VERIFICACIÓN				NOMBRE PRUEBA	ESTADO
		I	A	D	T		
-	-					-	-
O1	Diseño prototipo funcional		X				Pendiente
O2	Programación movimiento						Pendiente
O3	Desarrollo sistema adherente a vidrio	X					Pendiente
O4	Desarrollo sistema estable y seguro						Pendiente
O5	Desarrollo control remoto						Pendiente
F1	Seguridad						Pendiente
F2	Movimiento		X				Pendiente
F3	Adherencia al vidrio						Pendiente
F4	Limpieza	X					Pendiente
F5	Control remoto						Pendiente
P1.1	Estructura segura						Pendiente
P1.2	Limitaciones en caso de peligro	X					Pendiente
P2.1	Motores para avanzar y retroceder						Pendiente
P2.2	Sistema de giro						Pendiente
P3.1	Agarre durante limpieza						Pendiente
P3.2	Agarre durante movimiento						Pendiente
P3.3	Fuerza del sistema de ventosas	X					Pendiente
P4.1	Eficiencia en la limpieza	X					Pendiente
P5.1	Módulo Bluetooth						Pendiente
P5.2	Control mediante aplicación						Pendiente
D1	No superar dimensiones máximas		X				Pendiente
D2	Peso mínimo	X					Pendiente
D3	Adherencia mediante ventosas			X			Pendiente
D4	Impresión 3D		X	X			Pendiente
C1	No superar el presupuesto máximo						Pendiente
C2	Controlador						Pendiente
C3	Prueba semanal						Pendiente
C4	Entrega componentes a tiempo						Pendiente
C5	Limitación del trabajo						Pendiente
C6	Cumplir fecha de entrega						Pendiente

5.3 | Plan de pruebas

TIPO DE PRUEBA	ITEM PROBADO	PROCEDIMIENTO
Pruebas de adherencia	Ventosas y diseño de la estructura	Comprobar que el robot se adhiera al vidrio mediante las ventosas
Prueba de conexionado electrónico	Motores y componentes electrónicos	Verificar la movilidad del robot previamente a integrar la electrónica en la estructura final, evitando posibles daños al sistema en caso de un fallo en el conexionado eléctrico
Prueba mecánica de verificación de peso	Estructura genérica	Realizar un test añadiendo peso a la estructura para testear cuál es el máximo que aguanta el robot sin caerse
Pruebas de giro	Motores y cinta de oruga	Probar que el giro sea adecuado para que realice su tarea y que alcance toda la superficie que se desea limpiar
Pruebas de limpieza	Mopa o elemento de limpieza	Verificar que el material y la forma del mismo sea conveniente para que la bayeta o mopa limpie de manera eficaz
Pruebas de velocidad	Motores y estructura mecánica	Comprobar que el robot alcanza una velocidad considerable y óptima para que el robot funcione de la forma más rápida posible siempre y cuando cumpla su principal objetivo, que es limpiar la superficie

TIPO DE PRUEBA	ITEM PROBADO	PROCEDIMIENTO
Prueba y respuesta por aplicación	Aplicación para el móvil	Confirmar que el proyecto implementado en una aplicación funciona correctamente con el fin de poder controlar el robot con el teléfono móvil
Prueba de seguridad	Robot al completo	Verificar la seguridad del sistema al interactuar con humanos
Prueba de integridad y optimización	Robot al completo	Una vez realizadas todas las pruebas, revisar el robot íntegro y realizar los ajustes necesarios basados en los resultados de las pruebas que optimicen su funcionamiento

6 | Material y presupuesto

6.1 | Materiales necesarios

Para realización de este proyecto, es necesaria la adquisición de componentes para constuir el dispositivo íntegro. Atendiendo a las distintas funcionalidades del proyecto, se pueden agrupar los materiales necesarios dependiendo de la función que vayan a cumplir.

Relativo al movimiento y adherencia del vehículo:

- Motor de corriente continua (2 unidades)
- Ventosa (20 unidades)
- Muelle de torsión
- Nailon (1 metro)

Para la alimentación del dispositivo:

- Batería de alimentación (2 unidades)
- Convertidor DC/DC

Para realizar el control del dispositivo:

- Microcontrolador Arduino Nano
- Dispositivo Bluetooth
- Driver L293D para control de motor DC
- Cables

En relación a la estructura y fabricación del vehículo y su montaje se ha hecho uso de una impresora 3D para conseguir algunas de las piezas necesarias. Entre las distintas partes impresas se encuentran:

- Eslabón
- Sujeta ventosa
- Rueda dentada
- Carcasa
- Soporte

Otras partes usadas para la estructura, pero que no fueron fabricadas con impresora 3D:

- Varillas de fibra de carbono (a dividir entre 20 unidades de menor tamaño)

También se ha decidido listar las herramientas a usar para el desarrollo del proyecto:

- Soldador de estaño
- Cinta aislante
- Tijeras electricista
- Termoretráctil
- Amoladora
- SuperGlue
- Impresora 3D
- Sierra

- Alicates
- Pistola de calor

Y por último, con el fin de realizar limpieza de superficies:

- Limpicristales (rasqueta)
- Estropajo

6.2 | Presupuesto

Una vez identificados todos los materiales, hay que hacer una distinción entre aquellos componentes que se tienen que adquirir mediante compras o si se pueden suplir a través de donaciones a coste 0. En el siguiente subpartado se muestra una tabla indicando el presupuesto detallado, donde se mostrarán el coste de las distintas piezas y si estas han sido adquiridas a través de una donación, compra o se han fabricado

NÚMERO	MODELO	DESCRIPCIÓN	CATEGORÍA	UNIDADES	IMPORTE/UNIDAD (€/UD.)	IMPORTE TOTAL (€)	ADQUIRIDO
1	Motor DC	Motor de DC3V-6V de rueda de 65mm, engranaje 130 con Arduino Smart Car	Sistema tractor	4	1,15	4,59	COMPRADO
2	Ventosas	KOSHIFU paquete de 20 ventosas para ventana	Sistema tractor	20	0,45	9	DONADO
3	Muelle de torsión	Empuje de la ventosa contra la superficie	Sistema tractor	3	1,26	3,78	COMPRADO
4	Nailon	Despegue de ventosas (1 metro)	Sistema tractor	1	1,94	1,94	DONADO
5	Batería de alimentación	Batería de iones de litio recargable por USB (9 voltios)	Alimentación	2	1	2	
6	Convertidor DC/DC	Convertidor Youmile de 24V a 12V	Alimentación	1	11,99	11,99	COMPRADO
7	Arduino	Versión nano	Microcontrolador	1	21,6	21,6	DONADO
8	Transmisor bluetooth	HC-05-esclavo maestro-esclavo para arduino, módulo de paso de serie Bluetooth integrado, antirretroceso, serie inalámbrica, 6 pines/4 pines, HC-06	Microcontrolador	1	0,46	0,46	COMPRADO
9	Driver motores	Módulo de placa de controlador L298N, Motor paso a paso L298, Robot de coche inteligente, placa de pruebas Peltier, alta potencia	Microcontrolador	1	1,5	1,5	COMPRADO
10	Cables	kit de jumpers arduino	Microcontrolador	1	8	8	DONADO
11	Eslabón	uniones de la rueda oruga	Fabricación	80	-	-	FABRICADO
12	Sujeta ventosa	Soprote para la ventosa	Fabricación	20	-	-	FABRICADO
13	Rueda dentada	Transmisión del movimiento rotatorio	Fabricación	4	-	-	FABRICADO
14	Carcasa	Cubre los componentes	Fabricación	2	-	-	FABRICADO
15	Vanillas de fibra de carbono	Longitud 1 metro	Fabricación	2	8,99	17,98	COMPRADO
16	Soprote	Sujeta los componentes	Fabricación	1	-	-	FABRICADO
17	Estropajo		Limpieza	1	0,39	0,39	DONADO
18	Rasqueta limpiacristales	Modelo impact 44,5 cm	Limpieza	1	4,99	4,99	DONADO

Teniendo en cuenta que el presupuesto para este proyecto es de 80€ como máximo, si se calcula el importe total de todos los elementos que se han comprado, se obtiene como resultado **42,3€** que supone una cifra bastante económica en comparación con la estimación inicial del precio total del proyecto. Esto es suponiendo que se produce solo una unidad del producto. En el caso de que se quiera fabricar en serie, habría que tener en cuenta que los elementos que aparecen como donaciones en el presupuesto habría que comprarlos, ya que en una situación real no se pueden recibir bienes sin nada a cambio. En ese caso, si se consideran las donaciones como compras, el coste de producir una unidad del producto asciende a **90,97€**.

En cuanto a las horas que se le dedicarán al proyecto, se hace una estimación previa del tiempo para cada actividad. Una vez determinadas las horas para cada actividad, se aproxima un coste total por las horas de trabajo. Teniendo en cuenta que el grupo de trabajo está compuesto por 7 integrantes, y considerando a todos como Técnicos o Técnicas de cálculo o diseño (*"Así son los nuevos salarios del convenio de empresas de ingeniería, oficinas de estudios técnicos, inspección, supervisión y control técnico y de calidad"*, 27 de marzo de 2024), el coste por salarios que supondría este proyecto para la empresa que lo lleva a cabo es de 201.851,58€ anuales (teniendo en cuenta pagos a organismos estatales: Hacienda Pública y Seguridad Social). Por otro lado, el número máximo de horas que un Técnico o Técnica de cálculo o diseño puede llegar a trabajar como máximo en un año es de 1792 horas (*"Resolución de 27 de febrero de 2023, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el XX Convenio colectivo nacional de empresas de ingeniería; oficinas de estudios técnicos; inspección, supervisión y control técnico y de calidad"*, 10 de marzo de 2023), contando a todos los empleados se tienen 12544 horas de trabajo totales anuales que pueden trabajar como máximo el equipo de trabajo. Por lo tanto, el coste estimado

de una hora de trabajo de algún miembro del equipo es de aproximadamente 16 €. A continuación se muestra una tabla con las distintas actividades, cuanto se tarda en completar aproximadamente, y el coste que le corresponde:

- **Diseño piezas:** diseñar la estructura del dispositivo incluyendo aquellas a imprimir en 3D, 7 horas, 112€
- **Diseño de software:** programación y configuración de controladores necesarios para el funcionamiento correcto de la parte electrónica del proyecto, 2 horas, 32€
- **Montaje y cableado:** unión de las distintas partes para producir el proyecto final, 1 hora, 16€
- **Cálculos mecánicos:** cálculo de fuerzas y momentos a tener en cuenta para conseguir el movimiento vertical del dispositivo, 7 horas, 112€
- **Pruebas:** comprobación de correcto funcionamiento, puede ser de cada subsistema por separado o del producto final, 2 horas, 32€

Por lo tanto, el coste ingenieril o de personal para producir el producto final es de **304€**. No obstante, se debe tener en cuenta un factor, y es que muchos de estos costes surgen a la hora de producir el producto por primera vez. Los costes de diseño, programación, cálculos mecánicos y pruebas son irrelevantes para las siguientes unidades que se fabriquen, siendo el coste de personal solo de **16€**.

Se han de considerar también costes indirectos relacionados con la empresa como pueden ser costes administrativos, costes de ventas y marketing, costes de amortización y gastos generales de la empresa. Sin embargo, estos costes no son conocidos actualmente, así que se estiman como el 25% de los costes que se han calculado hasta ahora (costes de producción y costes de personal). En definitiva, en el supuesto de comercializar el producto, los costes totales de la empresa quedarían como:

	Primera unidad	Unidades siguientes (n unidades)
Costes de personal	304 €	16 €
Costes de producción	42,30 €	90,97 €
Costes indirectos	87 €	27 €
Total	432,88 €	133,71 €

6.3 | Comercialización del producto

Sin olvidar que gran parte de lo mencionado en el apartado anterior está basado en suposiciones, como a la hora de determinar las horas por actividad, los costes indirectos o sueldo de empleados, se puede realizar un análisis en el supuesto de poner el producto a la venta. Según la ESA (European Space Agency), para empresas con productos en desarrollo o relativamente nuevos, la relación de beneficio ha de ser del 8% (ESA PROFIT POLICY, 28 de noviembre de 2022). Por lo tanto, si se quiere poner WallWiper a la venta, el precio aproximado debería de ser:

$$P.U. = 0,8 \cdot \frac{432,88 + n \cdot 133,71}{n} \quad (6.1)$$

siendo "P.U." el precio unitario de venta y "n" el número de unidades a vender.

El número de unidades a fabricar estarán previstas a base de estudios y campañas de mercado. El precio de venta y las unidades fabricadas también se pueden ver afectadas por la influencia de inversores interesados en el proyecto.

7 | Referencias

13/11/2023, "Listado de Accidentes Laborales Mortales en 2023: Una sangría de trabajadores fallecidos", CGT-STCM (<https://stcm.cgtvalencia.org/2023/07/04/listado-de-accidentes-laborales-mortales-en-2023-una-sangria-de-trabajadores-fallecidos/>).

11/12/2023, "Urbanización como proceso mundial", Juan Arellanes, Foreign Affairs Latinoamérica, Instituto tecnológico autónomo de México (<https://revistafal.com/urbanizacion-como-proceso-mundial/>).

08/03/2011, "Stickybot", el robot que trepa paredes y ventanas", cooperativa.cl (<https://www.cooperativa.cl/noticias/tecnologia/inventos/stickybot-el-robot-que-trepa-paredes-y-ventanas/2011-03-08/125659.html>).

2008, "Gecko - Magnetic Wall Climbing Robot", wavegm (<https://www.instructables.com/Gecko-Magnetic-wall-climbing-robot/>).

14/12/2021, "Wall-climbing HB1 robot could find work in high places", Ben Coxworth, New Atlas (<https://newatlas.com/robotics/wall-climbing-hausbots-hb1-robot/>).

14-18/12/2010, "Design of a Wall-Climbing Robot with Passive Suction Cups", Yu Yoshida and Shungen Ma, International Conference on Robotics and Biomimetics, Tianjin, China.

2018, "Portable Autonomous Window Cleaning Robot", Nazim Mir-Nasiri, Hudyjaya Siswoyo J. and Md. Hazrat Ali, Procedia Computer Science, International Conference on Robotics and Smart Manufacturing (RoSMa2018), Chennai, India.

05/2015, "Vertical dry adhesive climbing with a 100× bodyweight payload", Elliot W. Hawkes, David L. Christensen, and Mark R. Cutkosky (<http://bdml.stanford.edu/uploads/Main/MicroTugs/ClimbingMicroTugsICRA2015.pdf>)

27/03/2024, "Así son los nuevos salarios del convenio de empresas de ingeniería, oficinas de estudios técnicos, inspección, supervisión y control técnico y de calidad", Iberley (<https://www.iberley.es/noticias/asi-son-los-nuevos-salarios-convenio-ingenierias-y-oficinas-estudios-tecnicos-33397>)

10/03/2023, "Resolución de 27 de febrero de 2023, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el XX Convenio colectivo nacional de empresas de ingeniería; oficinas de estudios técnicos; inspección, supervisión y control técnico y de calidad", Boletín Oficial del Estado, Ministerio de presidencia justicia y relaciones con las cortes, Gobierno de España ([https://www.boe.es/eli/es/res/2023/02/27/\(6\)](https://www.boe.es/eli/es/res/2023/02/27/(6)))

28/11/2022, "ESA PROFIT POLICY", European Space Agency (<https://esastar-publication-ext.sso.esa.int/supportingDocumentation/details/34>)

8 | Apéndice

8.1 | Patentes

Cui Chenyu, Ge Dingxin, Tang Yongchen, Liu Zhanjuan, Wang Qiang, 2016, "Automatic glass cleaning robot", CNIPA, CN106419722B (<https://pss-system.cponline.cnipa.gov.cn/retrieveList?prevPageTit=changgui>).