



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDOS DE MATERIAL QUIRÚRGICO EN MONTACARGAS

Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**Autor:** Benlloch Miret, Gema

**Tutor:** Pizá Fernández, Ricardo

Valencia, junio 2020

## Resumen

La falta de seguridad de los sanitarios en el ámbito hospitalario en el que trabajan provoca una necesidad de innovación en los sistemas utilizados que garantice la máxima protección del personal. Un ejemplo podría ser el desarrollo de maquinaria con automatismos que disminuya tanto el contacto como la carga de trabajo del personal hospitalario.

Esta necesidad establece un punto de partida en el presente proyecto ya que como objetivo principal se propone el aumento de forma considerable de la seguridad del personal sanitario encargado del lavado de material quirúrgico contaminado. Para poder llevar a cabo el cumplimiento de este objetivo, se propone la implementación de un montacargas que a su vez haga de lavadora de material mediante un transductor de ultrasonidos como elemento principal de lavado. Es decir, la incorporación de un automatismo a sistema base como es el montacargas que puede encontrarse en cualquier hospital ya que es necesario para la comunicación de plantas como en este caso esterilización y quirófano.

## Palabras clave

Limpieza por ultrasonidos, material quirúrgico, limpieza en montacargas, elementos electrónicos en montacargas, material quirúrgico punzante, personal sanitario, seguridad del personal sanitario.

## Tabla de contenidos

Documento I: Memoria .....	6
1. Introducción .....	6
2. Objetivos .....	6
3. Antecedentes .....	7
4. Normativa.....	8
5. Descripción detallada de la solución adoptada .....	9
Documento II: Planos .....	13
Documento III: Pliego de condiciones.....	17
1. Especificaciones técnicas .....	17
a. Objeto.....	17
b. Materiales .....	17
i. Válvula de paso de agua.....	17
1. Descripción .....	17
ii. Bomba de succión .....	18
1. Descripción .....	18
iii. Tubo corrugado .....	18
1. Descripción .....	18
iv. Transductor de ultrasonidos .....	19
1. Descripción .....	19
v. Montacargas.....	19
1. Descripción .....	19
c. Ejecución .....	20
i. Válvula de paso de agua.....	20
1. Descripción .....	20
2. Control de calidad .....	20
ii. Bomba de succión .....	20
1. Descripción .....	20
2. Control de calidad .....	20
iii. Tubo corrugado .....	21
1. Descripción .....	21
2. Control de calidad .....	21
iv. Transductor por ultrasonidos.....	21
1. Descripción .....	21
2. Control de calidad .....	21
Documento IV: Presupuesto .....	22

## Diseño de una instalación de limpieza por ultrasonidos de material quirúrgico en montacargas

1. Electroválvulas .....	22
2. Tubo corrugado .....	23
3. Electrobomba .....	23
4. Transductor por ultrasonidos.....	24
5. PEM .....	24
Anexos.....	24
1. Anexo I: Programación Arduino .....	24
a. Macros.....	24
b. Void Setup .....	25
c. Manejador de interrupciones .....	26
d. Void loop .....	27
2. Anexo II: Organigrama.....	29
Bibliografía .....	31

### Índice de tablas

Tabla 1. Precios descompuestos de las electroválvulas.....	22
Tabla 2. Precios descompuestos de los tubos corrugados.....	23
Tabla 3. Precios descompuestos de la electrobomba.....	23
Tabla 4. Precios descompuestos transductor por ultrasonidos.....	24
Tabla 5. PEM.....	24

### Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Ejemplo de material quirúrgico punzante.....	7
Ilustración 2. Montacargas modelo p-80 de la marca reine,sa.....	9
Ilustración 3. Electroválvula de acción directa 2 vías N.C, marca Genebre .....	10
Ilustración 4. Electrobomba del modelo B3XR-A/ST, marca Prinze .....	10
Ilustración 5. Manguera de 3" de diámetro de la marca WILTEC.....	11
Ilustración 6. Transductor de ultrasonidos de la marca SinapTec .....	11
Ilustración 7. Definición de pines .....	25
Ilustración 8. Definición interrupciones.....	25
Ilustración 9. Configuración pines.....	26
Ilustración 10. Manejador de la interrupción parada de emergencia .....	27
Ilustración 11. Función anti-rebotes del pulsador .....	27
Ilustración 12. Funcionamiento normal de bajada del montacargas .....	28
Ilustración 13. Funcionamiento normal de subida del montacargas.....	29
Ilustración 14. Organigrama primera parte controlador del sistema. ....	29
Ilustración 15. Organigrama del bucle infinito del controlador del sistema.....	30

## Documento I: Memoria

### 1. Introducción

Hoy en día, el campo de investigación de la salud está muy avanzado ya que se cuenta con máquinas capaces de realizar intervenciones de un gran nivel de dificultad que hasta la fecha tenían que ser desarrolladas por personas. Sin embargo, a pesar de estos avances, todavía hay una gran cantidad de acciones manuales que provoca una clara necesidad de proteger al personal sanitario ya que pueden llegar a poner en peligro su salud. Un ejemplo de las tareas manuales mencionadas puede ser el transporte y lavado de material quirúrgico contaminado tras una intervención.

El presente proyecto pretende desarrollar un montacargas quirúrgico que actúe a su vez de lavadora de materiales. Los elementos que se van a utilizar están muy presentes en el ámbito hospitalario, sobre los cuales se realizarán las modificaciones. Es decir, a partir de un montacargas quirúrgico que conecta el área de esterilización con el quirófano, se desarrollará un método que permita el lavado automático de los materiales mediante un sistema basado en ultrasonidos a la vez que son transportados por éste. Para validar su funcionamiento se utiliza como herramienta principal de desarrollo el programa Arduino, pudiendo de esta forma implementarlo de forma física.

La función principal de este proyecto es la modificación del montacargas y la implementación de un controlador capaz de llevar a cabo la coordinación de los elementos que se incorporarán a este elemento base. Además, es un primer paso que puede provocar un nuevo campo de investigación de la seguridad hospitalaria.

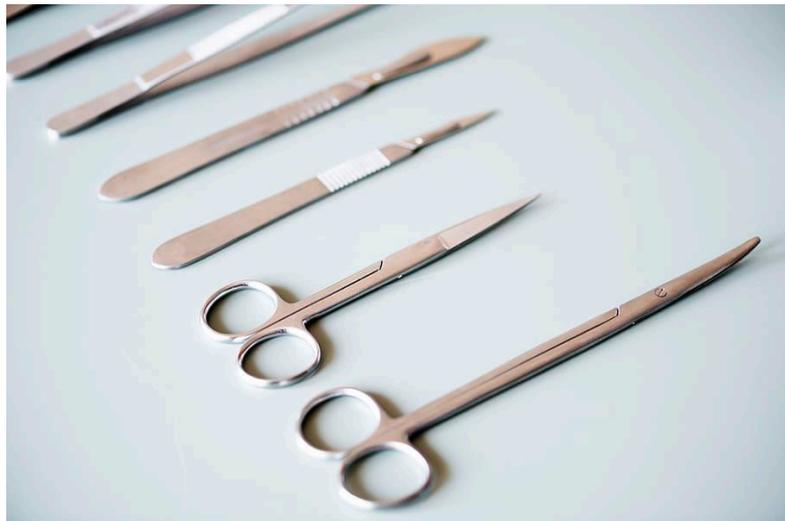
### 2. Objetivos

El presente proyecto tiene como principal objetivo maximizar la seguridad del personal sanitario encargado de la limpieza de los materiales quirúrgicos infectados a través de la reducción de contacto con éstos a la hora del lavado previo a la esterilización. Para poder alcanzar este objetivo, han de cumplirse específicamente los siguientes:

En primer lugar, estudiar e investigar los elementos electrónicos reales que se incorporarán al montacargas. Por otra parte, diseñar un controlador mediante la herramienta Arduino capaz de llevar a cabo el funcionamiento deseado incorporando estos elementos. Además, desarrollar la idea de limpieza de material mediante un transductor de ultrasonidos. Finalmente, valorar económicamente el proyecto para una posible incorporación en el método sanitario actual mediante el desarrollo del presupuesto.

### 3. Antecedentes

La realización del proyecto es necesaria para asegurar las condiciones de trabajo del personal sanitario encargado de la limpieza del material, especialmente el punzante como el que se puede observar en la *Ilustración 1*, ya que en el medio hospitalario se crean situaciones de urgencia que requieren una optimización del tiempo empleado para esta limpieza, lo que puede llevar al personal a descuidar los métodos utilizados para retirar la suciedad de los utensilios. Además, la mayoría de las veces, este personal no dispone de los medios requeridos para una segura limpieza de material que la mayoría de las veces contiene restos que pueden afectar gravemente su salud en caso de que se produzca un accidente provocando un corte o pinchazo. Incluso existe una clara escasez de personal para las numerosas tareas que se requieren en los hospitales lo que da lugar a una necesidad de optimización de tiempo y recursos.



*Ilustración 1. Ejemplo de material quirúrgico punzante*

Tras una previa investigación para dar con la solución propuesta, se puede afirmar la posibilidad de realizar una limpieza mediante ultrasonidos ya que es capaz de eliminar la suciedad de forma exhaustiva sin dañar el material teniendo en cuenta que consiste en la creación de ondas longitudinales de alta frecuencia producidas en el agua donde se sumergen los utensilios. Este método se basa en el fenómeno conocido como cavitación que permite el desprendimiento de todo rastro de suciedad para la disolución en el líquido en el que el material se encuentra sumergido.

#### 4. Normativa

Para la realización y puesta en marcha del siguiente proyecto es necesaria la cumplimentación de la normativa específicamente definida para este tipo de sistemas. En este caso la normativa a cumplir se divide en dos partes, por un lado, la del montacargas como sistema elevador y por otro lado la del quirófano. Ambas normativas se pueden encontrar en el REBT (Reglamento electrotécnico de baja tensión).

En primer lugar, la normativa referente a máquinas de elevación y transporte es la ITC-BT-32. En este caso, se desarrollan los requisitos particulares de los sistemas de los sistemas de instalación del equipo eléctrico de máquinas de elevación y transporte como es el caso del montacargas del presente proyecto.

En segundo lugar, la normativa referente a requisitos particulares para la instalación eléctrica en quirófanos y salas de intervención es la ITC-BT-38. En este caso, se determinan los requisitos particulares para las instalaciones eléctricas en quirófanos y salas de intervención, así como las condiciones de instalación de los receptores utilizados en ellas. Además, los receptores de la instalación deberán cumplir los requisitos expuestos en el artículo 6 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y lo señalado en la ITC-BT-28 para las prescripciones generales para locales de usos sanitarios.

## 5. Descripción detallada de la solución adoptada

Para poder abordar el problema descrito en apartados anteriores se propone la incorporación de elementos electrónicos en el montacargas que conecta esterilización con el quirófano de un hospital como el que se puede observar en la *Ilustración 2*.

En primer lugar, se procede al planteamiento de la solución en lo que a el montacargas se refiere:

El modelo que se ha tomado como ejemplo para la implementación de la solución es el P-80 de la empresa *reine,sa* que se muestra en la *Ilustración 2* ya que es indicado para cargas livianas pero es capaz de soportar un peso de hasta 80kg lo que permite llenarlo de agua para el lavado del material. Además, incluye la posibilidad de acceder a la cabina interior por tres caras diferentes. Trabaja a baja tensión y no necesita cuadro de máquinas lo que es idóneo para su instalación en el hospital.



*Ilustración 2. Montacargas modelo p-80 de la marca reine,sa*

Por una parte, es necesaria la instalación de dos electroválvulas del modelo PN 40 que pertenecen a la marca Genebre y se muestra en la *Ilustración 3*, una de entrada y otra de salida, encargadas de la circulación del agua. Este modelo permite

el control directo de la apertura de estas, siendo normalmente cerradas y con un diámetro de 3". Además, son capaces de soportar temperaturas que oscilan entre -10°C y +140°C gracias a su cuerpo de latón UNE-EN 12165. Cuentan con un piloto mando de acero inoxidable, un cierre FKM y bobina de 8W.



*Ilustración 3. Electroválvula de acción directa 2 vías N.C, marca Genebre*

Estas válvulas estarán incorporadas en la cabina del montacargas, es decir, la parte encargada del transporte del material. La válvula de salida se situará en la cara inferior de la cabina y en el centro de ésta, facilitando así el desagüe completo del agua contaminada. Además, esta agua contaminada será succionada por una bomba del modelo B3XR-A/ST de la marca Prinze que cuenta con un diámetro del mismo tamaño que la electroválvula, es decir 3" y se muestra en la *Ilustración 4*.



*Ilustración 4. Electrobomba del modelo B3XR-A/ST, marca Prinze*

Posteriormente, se enviará a la tubería general de desagüe del hospital a través de un tubo corrugado flexible o manguera de la marca WILTEC que se muestra en la *Ilustración 5*, para facilitar su movimiento junto con la cabina, de diámetro 3" y material PVC que está recomendado para sistemas de abastecimientos domésticos. Este tubo corrugado o manguera es resistente a las temperaturas que se encuentren entre -5°C y +65°C.



*Ilustración 5. Manguera de 3" de diámetro de la marca WILTEC*

La válvula de entrada estará situada en la cara posterior del montacargas y en su esquina superior derecha visualizándolo frontalmente. Esta válvula también irá conectada a la tubería general de suministro de agua del hospital mediante el mismo tipo de tubo que el de la válvula de salida. Por otra parte, el controlador irá situado en la cara superior de la cabina de tal manera que no interfiera con el movimiento natural de esta. De esta forma se facilita el conexionado con los sensores y accionadores.

Además, en la parte interna de la cabina se situará el transductor de ultrasonidos encargado de realizar la limpieza del material. El transductor de ultrasonidos de la marca *SinapTec* que se muestra en la *Ilustración 6* trabaja a una frecuencia de 20KHz y a una potencia de hasta 2500W.



*Ilustración 6. Transductor de ultrasonidos de la marca SinapTec*

Con el transductor por ultrasonidos se realiza una limpieza aprovechando el fenómeno de la cavitación que consiste en la formación de cavidades de vapor o gas en el interior de un líquido en movimiento. Además, gracias a la potencia que puede

ofrecer este transductor por ultrasonidos se pueden generar ondas de altas frecuencias en el agua donde se sumergen los materiales para asegurar una alta eficacia en la limpieza, lo cual es esencial en el ámbito hospitalario.

En segundo lugar, se desarrolla el conexionado del controlador con los distintos elementos de sensado y control:

El controlador irá conectado a los sensores del montacargas que indican el final de recorrido tanto en su parte superior como en su parte inferior y a los sensores que indican si las puertas se encuentran abiertas o cerradas. Además, incluirá los actuadores anteriormente mencionados como son las dos válvulas, la bomba de succión y el transductor de ultrasonidos. Finalmente irá conectado al sistema de parada de emergencia del montacargas para detener cualquier acción que se esté realizando en caso de que fuera necesario.

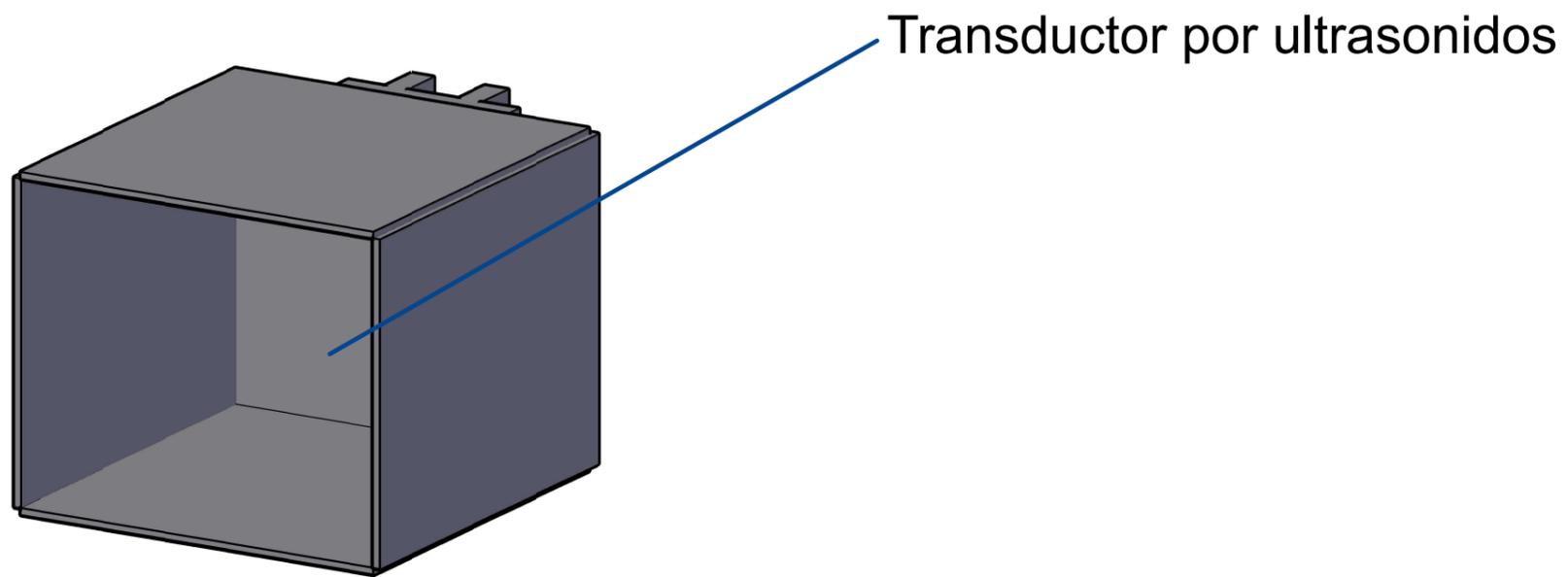
Finalmente, el funcionamiento global del montacargas se desarrollará de la siguiente manera:

Para poder explicar el funcionamiento del mecanismo es necesario establecer un punto de partida en el que los sensores de final de carrera superior y de puerta abierta se encuentran activos. En esta situación la cabina del montacargas se encuentra con una parte llena de agua limpia donde el personal sanitario sitúa un cestillo de metal con orificios a modo de rejilla lleno del material quirúrgico sucio. Una vez el personal cierra la puerta del montacargas y pulsa el botón de envío del material, se desactiva el sensor de puerta abierta, se activa el bloqueo de puertas y el sensor de final de carrera superior, lo que indica que el controlador puede accionar los ultrasonidos para iniciar el lavado que se produce hasta que la cabina llega a la planta baja donde se encuentra esterilización. Una vez el material llega a esta planta y por lo tanto se activa el sensor de final de carrera inferior se inicia el desagüe del agua que contiene la suciedad mediante la abertura de la válvula de salida y el accionamiento de la bomba de succión manteniendo las puertas bloqueadas durante un tiempo de desagüe establecido. En el momento que el personal de esterilización retira el material, cierra la puerta y por lo tanto se desactiva el sensor de puerta abierta, el montacargas queda a expensas de la llamada desde quirófano.

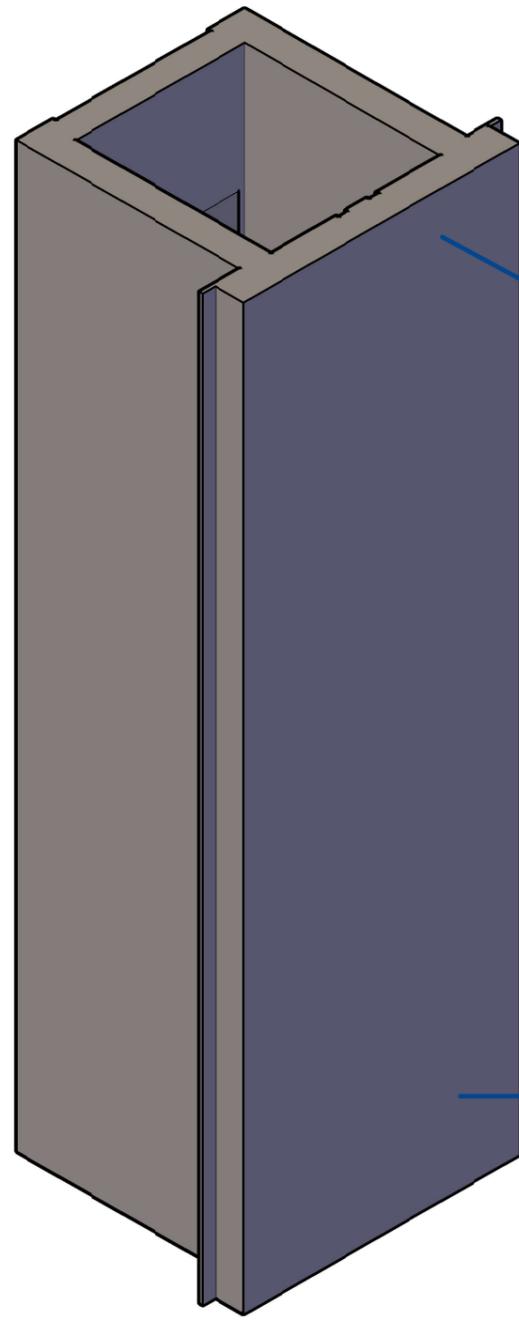
## Diseño de una instalación de limpieza por ultrasonidos de material quirúrgico en montacargas

Cuando se produce este evento, la cabina comienza la subida a la vez que se acciona la válvula de entrada para proceder al llenado. Finalmente, llega a la primera planta donde se cierra la válvula de entrada y se vuelve al punto de partida.

### Documento II: Planos



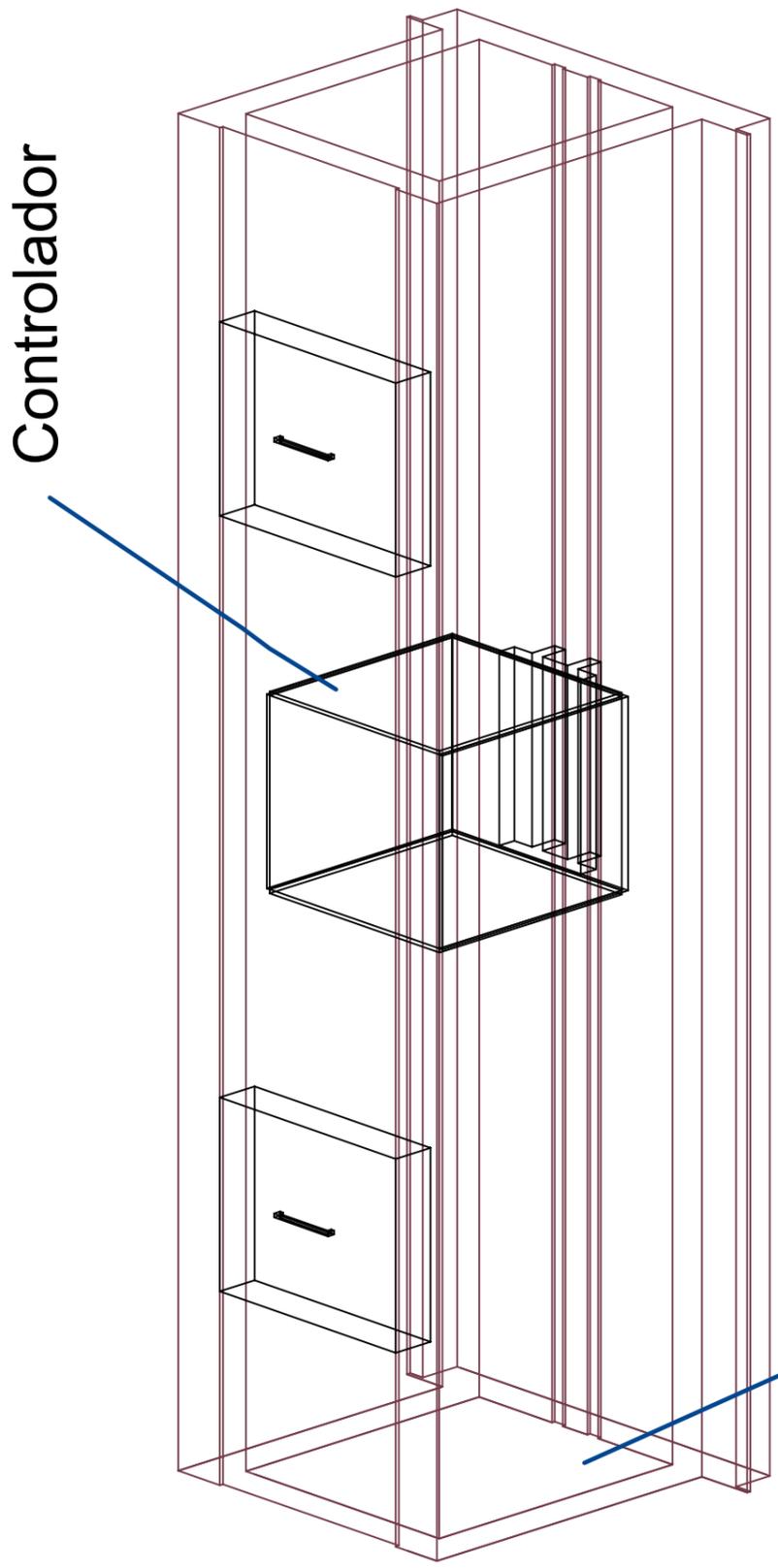
LIMPIEZA POR ULTRASONIDOS DE MATERIAL QUIRÚRGICO EN MONTACARGAS		Fecha: 11/06/2020
		Escala <b>100:1</b>
INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	Plano: PLANO CABINA MONTACARGAS	Plano N° <b>01</b>



Válvula de entrada

Válvula de salida

LIMPIEZA POR ULTRASONIDOS DE MATERIAL QUIRÚRGICO EN MONTACARGAS		Fecha: 11/06/2020
		Escala <b>50:1</b>
INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	Plano: PLANO ESTRUCTURA EXTERIOR MONTACARGAS	Plano N° <b>02</b>



Bomba de succión

LIMPIEZA POR ULTRASONIDOS DE MATERIAL QUIRÚRGICO EN MONTACARGAS		Fecha: 11/06/2020
		Escala <b>60:1</b>
INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	Plano:	Plano N°
	PLANO ESTRUCTURA INTERIOR MONTACARGAS	<b>03</b>

## Documento III: Pliego de condiciones

### 1. Especificaciones técnicas

#### a. Objeto

El objeto de este documento es fijar las condiciones técnicas mínimas que tiene que cumplir la instalación de un sistema de lavado de material en el interior de un montacargas quirúrgico especificando los requisitos técnicos.

El alcance del proyecto se extiende a todos los aspectos electrónicos y mecánicos que forman parte de la instalación.

Si fuera necesario se podrían adoptar alternativas a algunos aspectos del proyecto siempre y cuando se sigan cumpliendo las exigencias de calidad y la normativa, y cuando no sea posible adoptar la solución planteada. En este supuesto será necesaria la justificación de la alternativa adoptada.

#### b. Materiales

##### *i. Válvula de paso de agua*

##### 1. Descripción

El número de válvulas de paso de agua incorporadas en el sistema son 2. Estas válvulas son normalmente cerradas, además son de acción directa lo que implica que están compuestas por una bobina que realiza la acción de la apertura y cerrado de la válvula. En el caso de estas válvulas la bobina es de 8W con certificación CE-UL-CSA-VDE. Permiten líquidos que tengan una temperatura comprendida entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $+140^{\circ}\text{C}$  y están formadas por un cuerpo en latón UNE-EN 12165. Por otra parte, tienen un piloto mando de acero inoxidable y su cierre es FKM, aunque serían posibles otros tipos de cierres.

*ii. Bomba de succión*

1. Descripción

En el caso de la bomba de succión solo se situará una única unidad en el sistema para succionar el agua contaminada. Se trata de una bomba auto aspirante monobloc, con rodete abierto y aptas para succión de aguas limpias o ligeramente no abrasivas. Está compuesta por una válvula de retención en el interior del cuerpo de la bomba que puede facilitar el rescate de material extraviado ya que además incorporan una tapa de registro para inspección y limpieza indispensable a causa del agua sucia con la que trabaja la bomba. El principal material del que está compuesta es el hierro ya que tanto el cuerpo como la válvula, el soporte del motor y el rodete son de este material. También posee otros materiales como el acero inoxidable del eje y el carburo de silicio del cierre mecánico. Los límites a los que es capaz de llegar son una aspiración máxima de 6m, una temperatura del líquido de hasta +70°C, una altura manométrica de hasta 78m y un caudal mínimo de 2083 l/min.

*iii. Tubo corrugado*

1. Descripción

El número de tubos corrugados o mangueras de los que estará compuesto el sistema serán 2, uno para la circulación de agua limpia y otro para la circulación de agua sucia. Se trata de un tubo flexible de PVC reforzado por una espiral de PVC rígida para evitar fugas, además está indicado para el abastecimiento doméstico o estanques. Por otra parte, está libre de plastificantes que contengan DOP (ftalato de dioctilo), plomo y cadmio, tienen muy buena resistencia a los rayos UV y a la hidrólisis. Su diámetro es de 3" o lo que es lo mismo

76mm, el espesor del material es de 2.5mm y el rango de temperaturas que soporta va desde -5°C hasta +65°C.

iv. *Transductor de ultrasonidos*

1. Descripción

El único transductor de ultrasonidos del sistema es de la marca *SinapTec* estará situado en el interior de la cabina. Se trata de un transductor de varilla de limpieza por ultrasonidos. Es capaz de trabajar a una frecuencia de 20kHz y a una potencia de hasta 2500W. Además, el emisor radial de hasta 658 mm de longitud activa proporciona 2.500 W en funcionamiento continuo.

v. *Montacargas*

1. Descripción

El montacargas estudiado como ejemplo es el modelo P-80 de la marca *reine, sa*. Es capaz de soportar cargas livianas de hasta 80kg, ofrece la posibilidad de acceder a su interior a través de tres caras distintas posibilitando la carga en puntos conflictivos y el carro de la plataforma está guiado por patines de *vullkollan* que facilita un deslizamiento suave y silencioso. Además, incorpora un motor eléctrico de 1/2CV a 220-380V, reductor vis-sin-fin en baño de aceite y tambor de enrollamiento del cable. Está compuesto por un seguro que impide el aflojamiento del cable. Por otra parte, la maniobra eléctrica funciona a 48V (baja tensión), con botoneras y paro de emergencia que anula la maniobra durante las operaciones de carga y descarga, tiene finales de carrera de seguridad y el piso de la plataforma es de aglomerado antideslizante con remate metálico anti perimetral. Finalmente, es capaz de alcanzar una velocidad de suministro de 0.16m/s y no precisa sala de máquinas.

c. Ejecución

*i. Válvula de paso de agua*

1. Descripción

Se disponen de dos válvulas, la de entrada está situada en la parte superior derecha de la cabina del montacargas si se mira éste desde su alzado, y la de salida está situada en la parte superior izquierda de la cabina si se mira éste desde su planta. Su instalación debe adecuarse a las instrucciones del fabricante.

2. Control de calidad

Para la comprobación del correcto funcionamiento de las válvulas se hará pasar una cantidad de agua del caudal que se utilizará en el sistema y a través del controlador se enviarán las señales necesarias para que éstas dejen pasar el agua o no. Por otra parte, se comprobará que están correctamente fijadas a la cabina y proporcionen una absoluta estanqueidad para evitar fugas de agua que podrían ocasionar daños en el sistema.

*ii. Bomba de succión*

1. Descripción

Se dispone de una bomba de succión encargada de vaciar la cabina del agua contaminada tras el lavado de los materiales. Estará situada en la parte baja de la estructura del montacargas de manera que al llegar la cabina a su límite inferior no interfiera con ésta. Por otra parte, su instalación se realizará según las instrucciones de su fabricante.

2. Control de calidad

Para la comprobación del correcto funcionamiento de la bomba de succión se hará pasar una cantidad de agua de igual caudal al del sistema en su funcionamiento normal y se comprobará su buen funcionamiento. Además, se comprobará que está perfectamente anclada al suelo y que

no hay posibilidad de desplazamientos indeseados. Finalmente, se comprobará su total estanqueidad para evitar fugas.

*iii. Tubo corrugado*

1. Descripción

Se dispone de dos tubos corrugados que conectan, por una parte, la válvula de entrada con la cañería de suministro de agua y, por otra parte, la válvula de salida con la bomba de succión. La instalación de los tubos se hará siguiendo las instrucciones del fabricante.

2. Control de calidad

Para comprobar el correcto funcionamiento de los tubos se hará pasar una cantidad de agua de igual caudal al que habrá en el sistema en su funcionamiento normal y se comprobará si cumple con los requerimientos. Además, se comprobará la estanqueidad de los tubos para evitar posibles fugas.

*iv. Transductor por ultrasonidos*

1. Descripción

Se dispone de un transductor por ultrasonidos encargado de la limpieza del material quirúrgico a través de la vibración del agua gracias a los ultrasonidos. Estará situado en la parte interna de la cabina donde entrará en contacto con el agua que a su vez estará en contacto con el material quirúrgico contaminado.

2. Control de calidad

Se realizará un simulacro de limpieza con material que ya no es útil mediante el llenado de la cabina y la activación del transductor para poder comprobar si es suficientemente eficaz la limpieza y si funciona correctamente.

## Documento IV: Presupuesto

### 1. Electroválvulas

Electroválvulas					
<b>MATERIALES</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
4030Q	Ud	Electroválvula de acción directa 2 vías N.C	2	148,22	296,44
mt37www010	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería	2	1,40	2,8
<b>TOTAL</b>					<b>299,24</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
mo008	h	Oficial 1ª fontanería	0,555	19,42	10,7781
mo107	h	Ayudante fontanería	0,555	17,86	9,9123
mo003	h	Oficial 1ª electricista	0,555	19,42	10,7781
mo102	h	Ayudante electricista	0,555	17,86	9,9123
<b>TOTAL</b>					<b>41,3808</b>
<b>COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
	%	Costes directos complementarios	2	1,1868	2,3736
<b>TOTAL</b>					<b>2,3736</b>
<b>PRODUCTO</b>					<b>Total (€)</b>
Electroválvula					342,9944

Tabla 1. Precios descompuestos de las electroválvulas

## Diseño de una instalación de limpieza por ultrasonidos de material quirúrgico en montacargas

### 2. Tubo corrugado

Tubo corrugado					
<b>MATERIALES</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
me3214317	Ud	Manguera de presión de PVC flexible de 3"	2	43,73	87,46
mt37www010	Ud	Material auxiliar para montaje de las tuberías	2	6,62	13,24
<b>TOTAL</b>					<b>100,7</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
mo008	h	Oficial 1ª fontanería	0,1	19,42	1,942
mo107	h	Ayudante fontanería	0,1	17,86	1,786
<b>TOTAL</b>					<b>3,728</b>
<b>COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
	%	Costes directos complementarios	2	0,7428	1,4856
<b>TOTAL</b>					<b>1,4856</b>
<b>PRODUCTO</b>					<b>Total (€)</b>
Tubo corrugado					105,9136

Tabla 2. Precios descompuestos de los tubos corrugados

### 3. Electrobomba

Electrobomba					
<b>MATERIALES</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
B3XR-A/ST	Ud	Electrobomba serie BG	1	148,22	148,22
mt37www010	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería	1	1,40	1,4
<b>TOTAL</b>					<b>149,62</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
mo008	h	Oficial 1ª fontanería	4,7	19,42	91,274
mo107	h	Ayudante fontanería	2,35	17,86	41,971
mo003	h	Oficial 1ª electricista	4,7	19,42	91,274
mo102	h	Ayudante electricista	2,35	17,86	41,971
<b>TOTAL</b>					<b>266,49</b>
<b>COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
	%	Costes directos complementarios	4	136,6679	546,6716
<b>TOTAL</b>					<b>546,6716</b>
<b>PRODUCTO</b>					<b>Total (€)</b>
Electrobomba					962,7816

Tabla 3. Precios descompuestos de la electrobomba

#### 4. Transductor por ultrasonidos

Transductor ultrasonidos					
<b>MATERIALES</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
me3214317	Ud	Transductor de varilla de limpieza por ultrasonidos 20kHz / hasta 2500W	1	1500	1500
<b>TOTAL</b>					<b>1500</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
mo008	h	Oficial 1ª electricista	1	19,42	19,42
mo107	h	Ayudante electricista	1	17,86	17,86
<b>TOTAL</b>					<b>37,28</b>
<b>ES DIRECTOS COMPLEMENTA</b>					
Referencia	Unidades	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
	%	Costes directos complementarios	2	0,7428	1,4856
<b>TOTAL</b>					<b>1,4856</b>
<b>PRODUCTO</b>					<b>Total (€)</b>
Transductor ultrasonidos					1538,7656

Tabla 4. Precios descompuestos transductor por ultrasonidos

#### 5. PEM

PEM				
	Materiales (€)	Mano de obra (€)	Costes directos complementarios (€)	Total (€)
Electroválvulas	299,24	41,3808	2,3736	342,9944
Tubo corrugado	100,7	3,728	1,4856	105,9136
Electrobomba	149,62	266,49	546,6716	962,7816
Transductor ultrasonidos	1500	37,28	1,4856	1538,7656
<b>Total</b>				<b>1411,6896</b>
<b>Beneficio industrial</b>				<b>84,701376</b>
<b>Total</b>				<b>1496,39098</b>

Tabla 5. PEM

### Anexos

#### 1. Anexo I: Programación Arduino

##### a. Macros

En primer lugar, se procede a la designación de los pines a cada uno de los actuadores y sensores que son necesarios en la instalación. Se definen los pines como constantes para facilitar el cambio de alguno de ellos en caso de que fuera necesario. De esta manera, solo se cambiaría el número asignado y se evitaría tener que modificar todo el programa con el nuevo pin

pudiendo llevar esto a errores en caso de no realizar el cambio en alguna de las líneas del programa.

```
#define pulsador 2
#define control_1 3
#define control_2 5
#define pulsador_emergencia 4
#define puertas_bloqueadas 6
#define válvula_entrada 7
#define válvula_salida 8
#define sensor_abajo 9
#define sensor_arriba 10
#define ultrasonidos 11
#define sensor_puerta 12
```

Ilustración 7. Definición de pines

b. Void Setup

En segundo lugar, se procede a la configuración de los pines del pulsador y el pulsador de emergencia definidos anteriormente gracias a la función *pinMode* que permite determinar si estos son de entrada o de salida y si llevan resistencia de *pull-up* o no. Además, se configuran las dos interrupciones de tipo *falling*, que corresponden a estos dos pulsadores, ya que, al accionarlos, sus respectivos pines quedan conectados a masa.

```
pinMode(pulsador, INPUT_PULLUP);
//interrupcion boton subida y bajada
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pulsador), llamada_montacargas, FALLING);
pinMode(pulsador_emergencia, INPUT_PULLUP);
//interrupcion parada de emergencia
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pulsador_emergencia), paradaEmergencia, FALLING);
```

Ilustración 8. Definición interrupciones

Después, se configuran el resto de los pines correspondientes a los sensores y los accionadores con la misma función mencionada anteriormente. De tal forma que los sensores quedan definidos de tipo *input* que corresponde a la entrada y los actuadores de tipo *output* que corresponde a la salida.

```
//control derecha
pinMode(control_1, OUTPUT);
//control izquierda
pinMode(control_2, OUTPUT);
//led que indica estado de puertas, si está apagado están desbloqueadas
pinMode(puertas_bloqueadas, OUTPUT);
//led que indica estado de valvula de salida, si está apagado está cerrada
pinMode(valvula_salida, OUTPUT);
//led que indica estado de valvula de entrada, si está apagado está cerrada
pinMode(valvula_entrada, OUTPUT);
//altavoz de ultrasonidos para limpieza de material
pinMode(ultrasonidos, OUTPUT);
//sensor final de carrera piso de arriba
pinMode(sensor_arriba, INPUT);
//sensor final de carrera piso de abajo
pinMode(sensor_abajo, INPUT);
//sensor final de carrera que indica si la puerta del quirofono está cerrada (1) o abierta (1)
pinMode(sensor_puerta_quir, INPUT);
//sensor final de carrera que indica si la puerta de esterilizacion está cerrada (1) o abierta (1)
pinMode(sensor_puerta_esteril, INPUT);
```

*Ilustración 9. Configuración pines*

c. Manejador de interrupciones

Para ser capaz de una correcta detección de la interrupción y evitar errores debidos a posibles rebotes, se configura un tiempo de espera mediante la función *millis* que devuelve el tiempo transcurrido en milisegundos. De esta manera, al tiempo que ha transcurrido desde la última interrupción en milisegundos se le suman 500 que es el tiempo de espera para detectar otra interrupción.

La interrupción generada por el pulsador de emergencia provoca la parada del motor y el cierre de las válvulas para poder resolver con el sistema completamente parado cualquier tipo de problema que haya surgido.

Para poder realizar estas acciones en caso de emergencia es necesario recurrir a la función *digitalWrite* que permite cambiar el estado lógico de un pin digital. En este caso se cambia el estado de alto a bajo que significa que los actuadores asociados a esos pines pasan de estar activos a estar inactivos.

```
void paradaEmergencia() //manejador de la interrupcion
{
  if (millis() > tiempoUltimaInterrupcion + 500)
  {
    if (motorActivo)
    {
      motorActivo = false;
      digitalWrite(control_1, LOW);
      digitalWrite(control_2, LOW);
    }
    else {
      motorActivo = true;
    }
  }
  tiempoUltimaInterrupcion = millis();
}
```

*Ilustración 10. Manejador de la interrupción parada de emergencia*

En el caso del pulsador de la llamada del montacargas se configura el mismo tiempo de espera que en el caso anterior y además se actualiza la variable botón que indica si el botón ha sido pulsado o no y que se utilizará posteriormente para comprobar la llamada del ascensor.

```
void llamada_montacargas() //manejador interrupcion
{
  if (millis() > tiempoUltimaInterrupcion + 500)
  {
    boton=1;
  }
}
```

*Ilustración 11. Función anti-rebotes del pulsador*

#### d. Void loop

En el caso de esta función, todo código que quede escrito en su interior se repetirá de forma cíclica hasta que se indique lo contrario.

Por una parte, se define el comportamiento general del montacargas. El funcionamiento normal se produce solo si las dos puertas se encuentran cerradas. En el momento en que se produce la interrupción del pulsado de llamada y se actualiza la variable, se bloquean las puertas y, partiendo del punto de partida descrito en el desarrollo de la solución adoptada, el montacargas inicia su bajada escribiendo en el pin contro\_2 un nivel bajo con

la función *digitalWrite* y la limpieza por ultrasonidos de la misma manera en el pin ultrasonidos hasta que se detecta señal en el sensor final de carrera inferior. Indicando de esta manera que el montacargas ha finalizado su recorrido desde el piso de arriba hasta el piso de abajo.

Después de este recorrido se actualiza la variable del pulsador de llamada a 0 a expensas de que se produzca otra interrupción y, manteniendo las puertas bloqueadas, se espera un tiempo para facilitar el total desagüe de la cabina mientras la válvula de entrada está abierta.

```
if(sensor_puerta_quir==1&&sensor_puerta_esteril==1)
{
  // mientras el montacargas no esté bajo, girar motor a la izquierda para bajarlo
  while(boton==1 && sensor_abajo==0)
  {
    digitalWrite(puertas_bloqueadas, HIGH);
    digitalWrite(valvula_entrada, LOW);
    digitalWrite(valvula_salida, LOW);
    digitalWrite(ultrasonidos, HIGH);
    digitalWrite(control_1, LOW);
    digitalWrite(control_2, HIGH);
  }
  boton=0; //poner la interrupción del botón a 0
  //delay para esperar a que el montacargas se vacie de agua
  for(int counter=0, counter<=100, counter++)
  {
    digitalWrite(valvula_salida, HIGH);
  }
  digitalWrite(puertas_bloqueadas, LOW);
}
```

*Ilustración 12. Funcionamiento normal de bajada del montacargas*

Por otra parte, cuando se produce la llamada del montacargas desde el quirófano y por lo tanto la variable de la interrupción se actualiza y se ha comprobado que ambas puertas están cerradas, este comienza a subir. De esta manera, se bloquean las puertas, se abre la válvula de entrada produciendo el llenado de la cabina y se activa el pin control\_1 que permite la subida de esta.

Una vez terminado el proceso de subida, se desbloquean las puertas y se vuelve a actualizar la variable de la interrupción a expensas de otra llamada.

## Diseño de una instalación de limpieza por ultrasonidos de material quirúrgico en montacargas

```
// mientras el montacargas no esté arriba, girar motor a la derecha para subirlo
while(boton==1 && sensor_arriba==0)
{
    digitalWrite(puertas_bloqueadas, HIGH);
    digitalWrite(valvula_salida, LOW);
    digitalWrite(valvula_entrada, HIGH);
    digitalWrite(ultrasonidos, LOW);
    digitalWrite(control_1, HIGH);
    digitalWrite(control_2, LOW);
}
boton=0; //poner la interrupción del botón a 0
digitalWrite(puertas_bloqueadas, LOW);
```

Ilustración 13. Funcionamiento normal de subida del montacargas

## 2. Anexo II: Organigrama



Ilustración 14. Organigrama primera parte controlador del sistema.

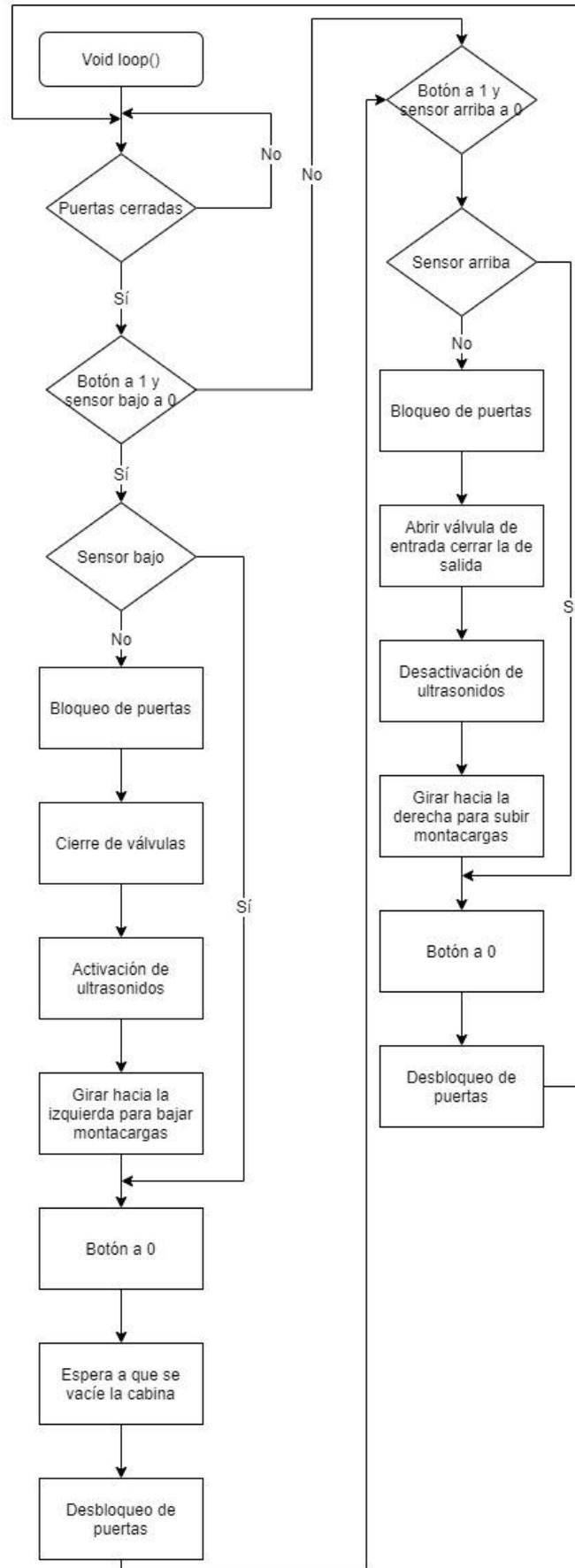


Ilustración 15. Organigrama del bucle infinito del controlador del sistema.

## Bibliografía

*0\_1833\_1.pdf*. (s. f.). Recuperado 27 de marzo de 2020, de

[http://www.aytojaen.es/portal/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0\\_1833\\_1.pdf](http://www.aytojaen.es/portal/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0_1833_1.pdf)

*1400236653montacargas\_p80.pdf*. (s. f.). Recuperado 13 de mayo de 2020, de

[http://www.montacargasypataformaselevadoras.es/wp-content/files\\_mf/1400236653montacargas\\_p80.pdf](http://www.montacargasypataformaselevadoras.es/wp-content/files_mf/1400236653montacargas_p80.pdf)

Amelia, B. R. (2007). *Introducción a la instrumentación quirúrgica*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.

*Castillo Zhingre, Jefferson Miguel.pdf*. (s. f.). Recuperado 10 de marzo de 2020, de

<http://192.188.49.17/jspui/bitstream/123456789/11995/1/Castillo%20Zhingre%2c%20Jefferson%20Miguel.pdf>

*FERRANDO - INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN B.T. PARA REHABILITACIÓN DEL HOSPITAL DEL MAR.pdf*.

(s. f.). Recuperado 19 de febrero de 2020, de

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75905/FERRANDO%20-%20INSTALACI%c3%93N%20EL%c3%89CTRICA%20EN%20B.T.%20PARA%20REHABILITACI%c3%93N%20DEL%20HOSPITAL%20DEL%20MAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Formigo, S. P., & Castro, R. M. (s. f.). *Grado en Ingeniería Mecánica*. 94.

*GENEBRE: Acción directa*. (s. f.). Recuperado 11 de mayo de 2020, de

<https://www.genebre.es/accion-directa#>

*Manguera de presión de la manguera de succión de 3m 75mm (3")—92711*. (s. f.). ManoMano.

Recuperado 11 de mayo de 2020, de <https://www.manomano.es/p/manguera-de-presion-de-la-manguera-de-succion-de-3m-75mm-3-3214317>

Diseño de una instalación de limpieza por ultrasonidos de material quirúrgico en montacargas

*Mangueras para bombas.* (s. f.). Recuperado 11 de mayo de 2020, de

[https://www.manomano.es/mangueras-para-bombas-1786?model\\_id=3214317&g=1&referer\\_id=689880&gclid=CjwKCAjw7-P1BRA2EiwAXoPWAYyfFO2csOTIORQwjMVGtkdyMjiDtrCIYGwgapIU7MTDb\\_l24ZSsxBwE](https://www.manomano.es/mangueras-para-bombas-1786?model_id=3214317&g=1&referer_id=689880&gclid=CjwKCAjw7-P1BRA2EiwAXoPWAYyfFO2csOTIORQwjMVGtkdyMjiDtrCIYGwgapIU7MTDb_l24ZSsxBwE)

*Montacargas P-80.* (s. f.). *Enier Elevadores Industriales.* Recuperado 10 de marzo de 2020, de

<http://www.montacargasplataformaselevadoras.es/plataformas/p-80/>

Otero Casas, L. (2017). *Diseño de la instalación de un hospital.*

<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/108731>

Rueda, A. S. (s. f.). *Diseño, análisis cinemático y resistente de un sistema elevador de vehículos para parking en espacios reducidos.* 104.

*SCG238A050-230V 50HZ | Válvula de solenoide Asco SCG238A050-230V 50HZ, 2 puertos , 230 V ac,*

*1plg | RS Components.* (s. f.). Recuperado 18 de mayo de 2020, de [https://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-solenoide/3700264?cm\\_mmc=ES-PLA-DS3A\\_-google\\_-CSS\\_ES\\_ES\\_CatchAll-\\_-Ad+Group+Catch+All-\\_-PRODUCT\\_GROUP&matchtype=&pla-293946777986&gclid=CjwKCAjw5lj2BRBdEiwA0Frc9VwLcZZGbGSRP707bgeecr4HAKMleQAvDiBpmg8ZXbKrYguydO1OmhoCqQ4QAvD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-solenoide/3700264?cm_mmc=ES-PLA-DS3A_-google_-CSS_ES_ES_CatchAll-_-Ad+Group+Catch+All-_-PRODUCT_GROUP&matchtype=&pla-293946777986&gclid=CjwKCAjw5lj2BRBdEiwA0Frc9VwLcZZGbGSRP707bgeecr4HAKMleQAvDiBpmg8ZXbKrYguydO1OmhoCqQ4QAvD_BwE&gclsrc=aw.ds)

*SERIE BG – Bomba Prinze – Especialistas en electrobombas.* (s. f.). Recuperado 11 de mayo de 2020,

de <http://www.bombaprinze.com/bombas-motores/serie-bg/>

*TESISMásterPRLJorgeFernándezDopazo.pdf.* (s. f.). Recuperado 19 de febrero de 2020, de

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11504/TESISM%c3%a1sterPRLJorgeFern%c3%a1ndezDopazo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Diseño de una instalación de limpieza por ultrasonidos de material quirúrgico en montacargas

*Transductor de ultrasonidos de limpieza / radial / sumergible by SinapTec | DirectIndustry.* (s. f.).

Recuperado 10 de marzo de 2020, de <https://www.directindustry.es/prod/sinaptec/product-25039-1901724.html>

*Válvulas de Control.* (s. f.). ingenieriadefluidos. Recuperado 27 de marzo de 2020, de

<https://www.ingenieriadefluidos.com/valvulas-de-control>