

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**Sistema Mecatrónico Submarino para la Limpieza de  
Casco de Embarcaciones**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico, que presenta el bachiller:

**Carlos Antonio Perea Fabián**

**ASESOR: Franco Hidalgo Herencia**

Lima, diciembre del 2014

# Resumen

La limpieza de cascos de embarcaciones representa un sobre costo en el transporte marítimo, consumiendo hasta un 30% de combustible [1] cuando el casco se encuentra con proliferaciones orgánicas adheridas principalmente a los extremos laterales del casco (estribor y babor). Ante tal situación y comparando los elevados costos actuales por concepto de limpieza y mantenimiento surge la idea de diseñar un equipo automático submarino capaz de realizar la labor de limpieza de casco.

El presente trabajo tiene por objeto presentar el diseño de un vehículo de 28Kg de peso y con dimensiones de 1.0m X 1.3m X 0.5m para la limpieza de casco de una embarcación. Se utiliza para esto el vapor de agua como solvente y escobillas como removedores mecánicos de las proliferaciones.

Para lograr lo propuesto, se planteó un sistema de localización del equipo en el casco con ayuda de sensores de aceleración, inclinación y humedad. Adicionalmente puede trasladarse a través del casco con rodajes oruga que se fijan a través de imanes permanentes adheridos a su superficie exterior. Una vez fijo firmemente al casco de la embarcación, gracias a la interacción de electroimanes ubicados en la base del equipo, realiza la limpieza vertiendo vapor de agua a una presión de 2.086 bares, un flujo de 5Kg.h y una velocidad de 170 Km/h [12], removiendo las proliferaciones restantes con escobillas circulares mientras se desplaza a la siguiente área de limpieza con una velocidad aproximada de 1 m/s Finalmente inspecciona la región trabajada con una cámara instalada en la parte exterior del equipo.

Toda la operación de limpieza lo administra un Controlador Lógico Programable (PLC) seleccionado por su capacidad extensa en comunicación RS485, facilidad en manejo de programación y confiabilidad en la gestión de tareas.

Para el diseño de las piezas mecánicas se analizó características como dureza, flexibilidad, esfuerzo y conductividad, así mismo para el diseño de mecanismos se recurrió a los análisis estáticos y dinámicos del sistema en conjunto.

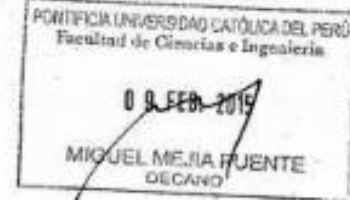
FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

**TRABAJO DE FIN DE CARRERA PARA OPTAR  
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : Sistema Mecatrónico Submarino para la Limpieza de Casco de Embarcaciones  
 Asesor : Mg. Franco Hidalgo Herencia  
 Alumno : Carlos Antonio Perea Fabián  
 Código : 20090506  
 Tema N° : 44  
 Fecha : 08/12/2014



**Descripción y Objetivos**

La limpieza del casco de una embarcación es un servicio muy recurrido y costoso en la industria naval puesto que la contaminación del mismo genera severas pérdidas por conceptos de mayor consumo de combustible y demora en tiempo de navegación, por tal motivo en los últimos años diversas compañías e instituciones educativas en el mundo han logrado avances bastante significativos en cuanto a estos sistemas de limpieza, pero dichos sistemas no consideran el desgaste del casco por limpiezas mecánicas, contaminación ambiental al utilizar componentes químicos o la inoperatividad de la embarcación mientras se realiza la limpieza.

En el presente trabajo se plantea el diseño de un vehículo submarino autónomo capaz de realizar la limpieza del casco de la embarcación, al cual se le asignan valores iniciales para que se desplace a través del casco y realice la limpieza de manera autónoma con vapor de agua y alimentado desde el exterior por un generador ubicado en la cubierta de la embarcación, al finalizar el equipo envía señales de alarma y se ubica contiguo a la parte superior del casco para su sencillo desacople.

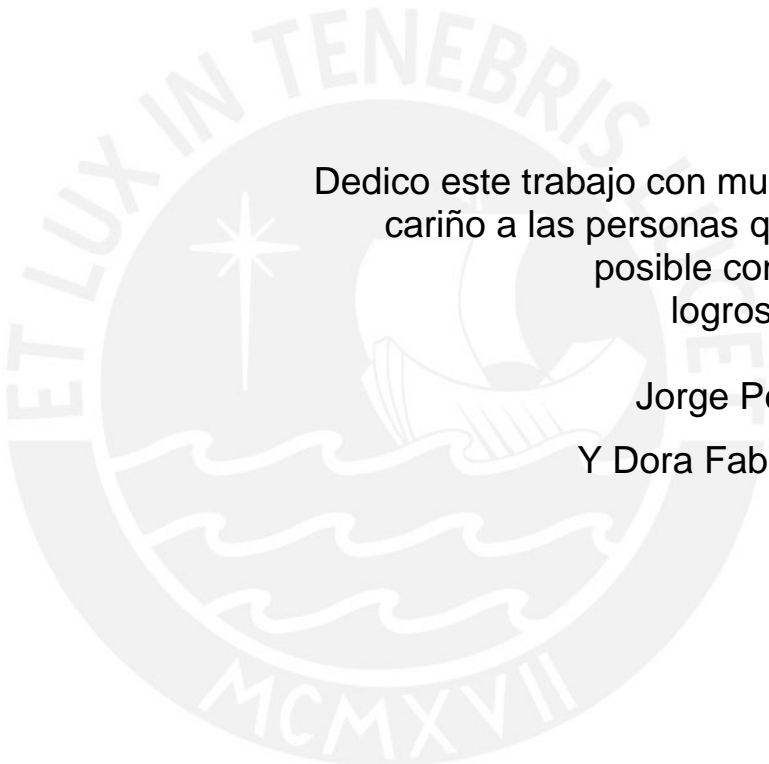
El documento se divide en 6 capítulos, en el primero se realiza la presentación de la problemática a la que se le dará solución, en el segundo capítulo se presenta el estado del arte y estructura de funciones, en el tercer capítulo se presentan los requerimientos del sistema mecatrónico y el concepto de solución óptimo a la problemática, en el cuarto capítulo se detalla el sistema mecatrónico solución, en el quinto capítulo se detalla el presupuesto para implementar el sistema y finalmente en el sexto y último capítulo muestran las conclusiones a las que se llegó con este trabajo.

*Carlos Antonio Perea Fabián*



*franco*

*R*



Dedico este trabajo con mucho amor y  
cariño a las personas que hicieron  
posible conseguir mis  
logros en la vida.

Jorge Perea, papá.

Y Dora Fabián, mamá.

# Índice

<b>Capítulo 1. Presentación de la problemática .....</b>	<b>10</b>
1.1 Estado del arte.....	11
1.1.1 Ship Hull Inspection.....	11
1.1.2 <i>Complex Hull cleaning</i> .....	12
1.1.3 <i>Hull Surface Treatment (HST) Technology</i> .....	12
<b>Capítulo 2. Requerimientos del sistema y presentación del concepto.....</b>	<b>14</b>
2.1 Requerimientos generales.....	14
2.1.1 Requerimientos mecánicos.....	14
2.1.2 Requerimientos eléctricos y electrónicos.....	15
2.1.3 Sistema de control .....	15
2.2 Concepto de la solución .....	16
2.2.1 Sistema de alimentación e interacción con los usuarios.....	16
2.2.2 Equipo de limpieza .....	17
2.3 Estructura de funciones .....	20
2.3.1 Sistema de control .....	20
2.3.2 Sistema de visión.....	20
2.3.3 Sistema electrónico .....	21
2.3.4 Sistema mecánico eléctrico .....	21
2.3.5 Energía .....	22
<b>Capítulo 3. Sistema Mecatrónico .....</b>	<b>23</b>
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico .....	23
3.1.1 Sistema de Control .....	24
3.1.2 Sistema de Potencia .....	24
3.1.3 Funcionamiento del equipo.....	25
3.2 Sensores y Actuadores.....	26
3.2.1 Sensores.....	26
3.2.1.1 Sensor de humedad .....	26
3.2.1.2 Acelerómetro y giroscopio .....	28
3.2.1.3 Cámara Mini CCTV .....	29
3.2.2 Actuadores .....	30
3.2.2.1 Actuador motor a pasos .....	30
3.2.2.2 Actuador lineal .....	32
3.2.2.3 Motor DC.....	33
3.2.2.4 Electroimanes.....	34
3.2.2.5 Válvula solenoide .....	35
3.2.2.6 Alarma .....	36
3.3 Diseño mecánico.....	37
3.3.1 Planos generales del sistema.....	37
3.4 Diseño eléctrico y electrónico.....	51
3.4.1 Consumo eléctrico.....	51
3.4.2 Diagrama esquemático.....	53
3.5 Diagramas de flujo del sistema de control .....	58

<b>Capítulo 4. Presupuesto</b> .....	<b>63</b>
<b>Productos Nacionales</b> .....	<b>63</b>
<b>Productos Internacionales de exportación</b> .....	<b>64</b>
 <b>Capítulo 5. Conclusiones</b> .....	 <b>66</b>
 <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	 <b>67</b>

## ANEXOS

- ANEXO A – Cálculos
- ANEXO B – Análisis de solución
- ANEXO C – Sensor de humedad
- ANEXO D – Acelerómetro y giroscopio
- ANEXO E – Motor a pasos
- ANEXO F – Electroimanes
- ANEXO G– Controlador lógico programable PLC
- ANEXO H – Actuador lineal
- ANEXO I – Análisis económico
- ANEXO J – Proformas
- ANEXO K – Planos de ensamble
- ANEXO L – Planos de despiece
- ANEXO M – Diagrama esquemático
- ANEXO N – Diagrama de control



# Lista de figuras

Fig. 1.1 Ship Hull Inspection .....	11
Fig. 1.2 Complex Hull cleaning .....	12
Fig. 1.3 HST Technology .....	13
Fig. 2.1 Vista general del sistema de limpieza .....	16
Fig. 2.2 Sistema de alimentación .....	16
Fig. 2.3 Área y recorrido de limpieza.....	17
Fig. 2.4 Vista isométrica del equipo de limpieza.....	17
Fig. 3.1 Diagrama de funcionamiento .....	23
Fig. 3.2 Distribución de funciones de los PLC.....	24
Fig. 3.3 Sensor de humedad.....	26
Fig. 3.4 Diagrama esquemático del sensor de humedad .....	27
Fig. 3.5 Ubicación del sensor de humedad .....	27
Fig. 3.6 Acelerómetro y giroscopio.....	28
Fig. 3.7 Ubicación del sensor MPU 6050 .....	29
Fig. 3.8 Cámara de inspección .....	29
Fig. 3.9 Ubicación de la cámara de inspección .....	30
Fig. 3.10 Actuador motor a pasos .....	31
Fig. 3.11 Ubicación del motor a pasos .....	31
Fig. 3.12 Actuador lineal .....	32
Fig. 3.13 Ubicación del actuador lineal .....	33
Fig. 3.14 Motor DC .....	33
Fig. 3.15 Ubicación del Motor DC .....	34
Fig. 3.16 Electroimanes .....	34
Fig. 3.17 Ubicación de los electroimanes.....	35
Fig. 3.18 Válvula solenoide.....	35
Fig. 3.19 Ubicación de la válvula solenoide .....	36
Fig. 3.20 Alarma .....	36
Fig. 3.21 Ubicación de la alarma.....	37
Fig. 3.21 Detalle General del equipo, vista isométrica.....	37
Fig. 3.22 Plano General del equipo, vista superior.....	38
Fig. 3.23 Plano General del equipo, vista frontal.....	38
Fig. 3.24 Detalle para rodaje vertical, vista isométrica .....	40
Fig. 3.25 Plano para rodaje vertical.....	40
Fig. 3.26 Detalle de rodaje horizontal, vista isométrica .....	42
Fig. 3.27 Plano para rodaje horizontal .....	42
Fig. 3.28 Plano eje de rodaje .....	43
Fig. 4.29 Plano soporte de rodajes .....	44
Fig. 3.30 Plano Base de soporte de equipo .....	45
Fig. 3.31 Plano Base inferior del equipo.....	46
Fig. 3.32 Plano Domo para aislamiento hermético.....	47
Fig. 3.33 Plano Base soporte de cámara .....	48
Fig. 3.34 Plano Soporte para cámara .....	48
Fig. 3.35 Plano Soporte de pivote de rodajes .....	49
Fig. 3.36 Plano Sujeción de motor .....	50
Fig. 3.37 Plano Rueda para rodajes.....	50
Fig. 3.38 Diagrama de alimentación del equipo .....	51
Fig. 3.39 Diagrama esquemático general de conexiones.....	54
Fig. 3.40 Diagrama esquemático del regulador de voltaje.....	55

Fig. 3.41 Ubicación del circuito regulador de voltaje .....	55
Fig. 3.42 Circuito del Controlador.....	56
Fig. 3.43 <i>Diagrama de conexión del PLC</i> .....	57
Fig. 3.44 Ubicación de los controladores .....	57
Fig. 3.45 Circuito de acoplamiento del motor a pasos.....	58
Fig. 3.46 Ubicación del circuito de acoplamiento del motor a pasos .....	58
Fig. 3.47 Diagrama general de control .....	59
Fig. 3.48 Diagrama de control del Subsistema Encender equipo .....	60
Fig. 3.49 Recorrido de limpieza .....	61
Fig. 3.50 Diagrama de control del subsistema Limpieza .....	62





# Lista de tablas

Tabla 1.1 Complex Hull cleaning.....	12
Tabla 1.2 Consumo de combustible, coeficiente de fricción en el casco. ....	13
Tabla 3.1 Sensor de humedad.....	26
Tabla 3.2 Acelerómetro y giroscopio.....	28
Tabla 3.3 Cámara de inspección .....	30
Tabla 3.4 Motor a pasos. Fuente .....	31
Tabla 3.5 Actuador lineal. Fuente .....	32
Tabla 3.6 Motor DC .....	33
Tabla 3.7 Electroimán VM 30/ND.....	34
Tabla 3.8 Válvula solenoide.....	35
Tabla 3.9 Lista de piezas del ensamble principal .....	39
Tabla 3.10 Lista de piezas de rodaje deslizamiento vertical.....	41
Tabla 3.11 Lista de piezas de rodaje deslizamiento horizontal.....	43
Tabla 3.12 Consumo eléctrico .....	52
Tabla.3.13 Diagrama de trabajo de los equipos en un ciclo de limpieza .....	53
Tabla 3.14 Controlador Lógico Programable M340. Fuente anexo F .....	56
Tabla 4.1 Precio de componentes nacionales.....	63
Tabla 4.2 Precio de componentes importados .....	64
Tabla 4.3 Precio del subsistema de alimentación del equipo .....	65
Tabla 4.4 Costo total del equipo de limpieza.....	65
Tabla 4.5 Comparación económica entre sistemas de limpieza.....	65

# Capítulo 1

## Presentación de la problemática

El crecimiento mundial del comercio exterior por vías marítimas, el mejoramiento en embarcaciones de guerra, el auge en turismo marítimo, la práctica de deportes acuáticos, la preocupación mundial por el ahorro energético y el cuidado del medio ambiente han llevado a desarrollar sistemas que mejoren los modelos de trabajo y mantenimiento de las embarcaciones.

En este sentido el mantenimiento de las embarcaciones envuelve un aspecto muy fundamental: la limpieza del casco. Para todas las industrias que utilizan el mar como medio de traslado es primordial realizar esta limpieza porque estudios revelan que una embarcación contaminada con proliferación de organismos vivos depositados en el casco y hélice reduce considerablemente la eficiencia del navío, puesto que la rugosidad tiene un efecto importante en la resistencia del casco. Como dice en el estudio técnico económico del “Slow Steaming” “A mayor rugosidad más turbulento será el régimen del flujo alrededor de la obra viva incrementando notablemente la componente de resistencia por fricción. Este efecto es de sobra conocido por los armadores que se cuidan de mantener a raya la vida marina adherida y las incrustaciones de los cascos y en conservar en buen estado el recubrimiento de la obra viva: la diferencia entre navegar con un casco limpio o sucio puede alcanzar porcentajes de hasta el 30% en el gasto de combustible” [1].

Así mismo, los sistemas actuales no permiten la limpieza del casco mientras el barco está operativo [3] [4] es decir, cada cierto tiempo, el buque ha de varar en un dique para diversas tareas de mantenimiento y reparación.

Debido a la necesidad de mantener una operatividad al 100% de las embarcaciones se han implementado sistemas de limpieza más sofisticados pero muchas veces inseguros para los operarios [6], ya que, según estadísticas de seguridad para el ejercicio de actividades subacuáticas BOE-A-2000-24978 desarrolladas en España se catalogan a los buzos profesionales encargados de la limpieza de cascos de embarcaciones dentro de los trabajos con mayor índice de accidentabilidad por las condiciones de trabajo e incumplimiento de las normas [4].

Así en los últimos años se han diseñado sistemas subacuáticos operados remotamente (ROVs) [2] que se centran principalmente en tareas de inspección de cascos, reparaciones u operaciones de limpieza de casco.

Por último, dichos sistemas utilizan en su mayoría un mecanismo de limpieza mecánico [2] con lo cual dañan la superficie del casco retirando su pintura de protección, incluso otros con el afán de evitar la adhesión de los organismos en la superficie del casco utilizan pinturas repelentes pero a la vez muy contaminantes en el medio acuático [6].

De aquí surge la idea de crear un equipo automático y rentable que se encargue de la limpieza del casco de la embarcación, no contamine el medio marino y realice su labor sin la necesidad de generar un paro en la operatividad de la embarcación.

## 1.1 Estado del arte

Por mucho tiempo se ha intentado desarrollar sistemas óptimos de limpieza o inspección de cascos de embarcaciones con el fin de mejorar la efectividad del transporte y así minimizar costos producidos por retardos y mayor consumo de combustible. Es así que en los últimos años diversas compañías e instituciones educativas en el mundo han logrado avances bastante significativos en cuanto a estos sistemas. A continuación se presenta los modelos más sobresalientes.

### 1.1.1 Ship Hull Inspection

Es un sistema mecatrónico AUV (Autonomus Underwater Vehicles) implementado por ("Department of Navigation and Ocean Engineering, School of Marine Science and Technology, Tokai University Shizuoka City") [5] que inspecciona bajo el agua los cascos de las embarcaciones para detectar fallas, este sistema utiliza 4 ventosas articuladas para su desplazamiento y una cámara para las pruebas de inspección como se observa en la Fig. 1.1

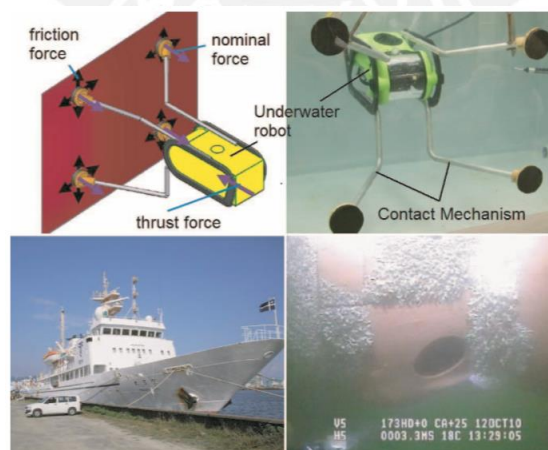


Fig. 1.1 Ship Hull Inspection

### 1.1.2 Complex Hull cleaning

Es un sistema mecatrónico creado por D. Souto, A. Faifia y F. Lopez-Pefia en la “International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Karlsruhe, Germany, May 6-10, 2013”[2] el cual está compuesto de 2 hélices conectada con escobillas capaces de limpiar cascos de embarcaciones sujetado por ventosas y capaz de adherirse a secciones obtusas como se muestra en la Fig. 1.2. La Tabla 2.1 muestra las principales características del *Complex Hull cleaning*.

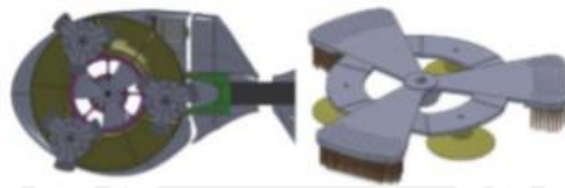


Fig. 1.2 Complex Hull cleaning

Tabla 1.1 Complex Hull cleaning. Fuente [2]

Longitud	1690	mm	
Peso	554	mm	
Altura	340	mm	
Área de succión		2384	cm <sup>2</sup>
Fuerza (cada modulo)		22	kg
Superficie de limpieza		2862	cm <sup>2</sup>
Actuadores		24V motor / 500 rpm	
Velocidad angular		0.3	rad/s

### 1.1.3 Hull Surface Treatment (HST) Technology

En un sistema creado por la compañía t&c marine [3] que realiza la limpieza de cascos de embarcaciones utilizando vapor de agua. La sujeción la realiza con electroimanes y una cinta adhesiva alrededor del equipo que ayuda al equipo a no desprenderse cuando se realiza la expulsión del vapor. Es un sistema semi automático puesto que operarios tienen que movilizar el equipo ayudado con cuerdas desde una pequeña embarcación adyacente. La Fig. 1.3 muestra una vista del equipo de limpieza.



Fig. 1.3 HST Technology

La Tabla 1.2 muestra el incremento en el consumo de combustible en relación al incremento del coeficiente de fricción en el casco para poder evaluar el porcentaje de consumo de combustible que es de 30% más [3].

Tabla 1.2 Consumo de combustible, coeficiente de fricción en el casco. Fuente [3]

Ahorro de combustible del HST		
Grado de ensuciamiento por área de contacto	Incremento del coeficiente de fricción (Cf)	Incremento del consumo de combustible
Parches de maleza	20%	12%
Cobertura adicional del gusano de tubo de 6mm	30%	18%
además de la cobertura adicional del 20% con percebes 5mm	40%	24%
80% Cobertura de percebes 5mm	100%	61%
80% percebes 10-15mm Cobertura	150%	92%

# Capítulo 2

## Requerimientos del sistema y presentación del concepto

El equipo automático de limpieza presentado en este trabajo tiene como objetivo principal: diseño de un equipo automático de limpieza del casco inferior de embarcaciones de costo accesible que realice la limpieza incluso con la embarcación en funcionamiento

### 2.1 Requerimientos generales

El equipo debe cumplir con las siguientes características:

1. Tener una tamaño no mayor de 1.3 m x 1.0 m x 0.5 m
2. Tener un peso no mayor a 30 Kg.
3. Adaptarse a la diferentes dimensiones y superficies de embarcaciones
4. Utilice la menor cantidad de recursos y aproveche su entorno de trabajo (mar) para la limpieza.

#### 2.1.1 Requerimientos mecánicos

Los requerimientos mecánicos que debe cumplir el equipo de limpieza automático son los siguientes:

1. El sistema de limpieza debe acoplarse a los bordes críticos del casco (8° de doblez según las dimensiones extremas del equipo).
2. El equipo debe tener una fuerza de sujeción suficiente (mayor a 1400 N) para adherirse al casco y realizar la limpieza. El detalle de los cálculos se encuentra en el Anexo A
3. El sistema debe ser hermético para poder funcionar correctamente bajo el agua de mar y a una presión máxima de 3 bares, contará con un grado de protección IP68[15]. La profundidad máxima y la presión que experimenta el equipo en esa profundidad se detalla en el anexo A



4. El equipo debe ser capaz de movilizarse (de manera horizontal para la limpieza y vertical para cambiar de línea) a una velocidad entre 0.5m/s – 1m/s y realizar la limpieza del casco por regiones (5 m de profundidad por región).
5. El equipo debe contar con un sistema de flujo que limpiará el casco de la embarcación y removedores mecánicos (escobillas) que ayudarán a limpiar los últimos residuos adheridos al casco.

### 2.1.2 Requerimientos eléctricos y electrónicos

Los requerimientos eléctricos-electrónicos que se deben cumplir son los siguientes:

1. El equipo debe ser accionado por señales eléctricas (5V, 12V, 24V y 220V) provenientes del sistema de alimentación.
2. El sistema debe contar con un regulador de voltaje, los sensores y actuadores deben estar conectados a un controlador.
3. El equipo automático debe tener una alimentación externa y constante de 220V
4. El controlador debe tener una capacidad de comunicación (mayor a 60m) capaz de enviar las señales de emergencia del equipo al exterior.
5. El equipo debe controlar el flujo sobre el casco de la embarcación y realizar la limpieza.

### 2.1.3 Sistema de control

El sistema de control debe ser capaz de procesar señales provenientes de sensores, procesar la información según una lógica de control, enviar la señal de control, administrar los procesos para accionar los actuadores correspondientes para el funcionamiento correcto del sistema automático de limpieza y generar las señales de alarmas correspondientes.

## 2.2 Concepto de la solución

El sistema de limpieza automático cuenta con dos partes principales como se detalla en la Fig. 2.1: sistema de alimentación e interfaz con los usuarios y equipo de limpieza.

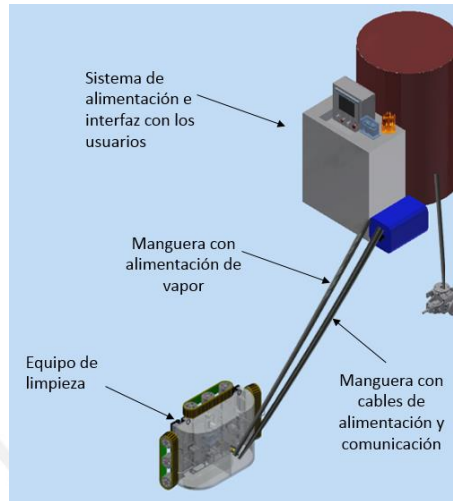


Fig. 2.1 Vista general del sistema de limpieza

### 2.2.1 Sistema de alimentación e interfaz con los usuarios

Luego de analizar la modificación de un sistema convencional de generación de vapor de agua y el sistema de alimentación eléctrica del equipo [9], el sistema tiene que producir una potencia mínima de 6KW (0.3 KW para la alimentación eléctrica y 5.7KW para alimentar la limpieza con un flujo de 5Kg.h [17]), entonces queda definido como el esquema de la figura Fig. 2.2. De la turbina generadora se controla el flujo de vapor de salida con la válvula solenoide. Los valores referenciales de potencia necesaria se detalla en el Anexo A.

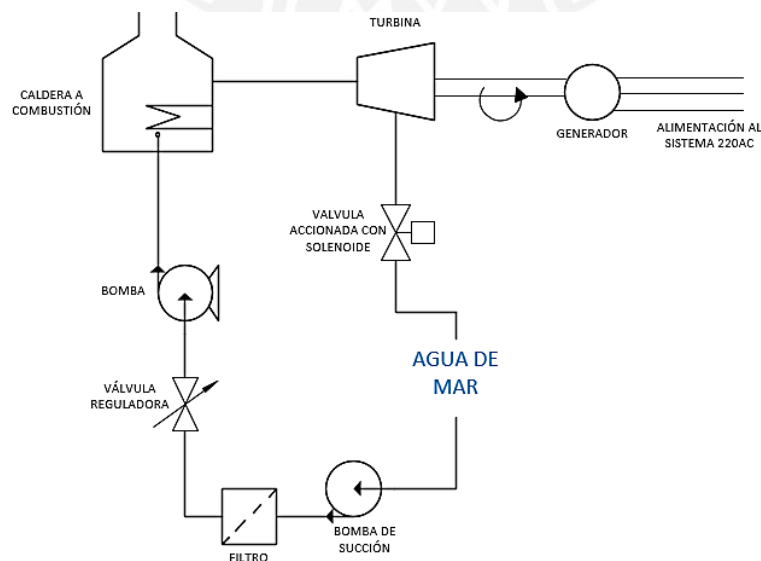


Fig. 2.2 Sistema de alimentación y generador de vapor

Para realizar la limpieza un operario ingresa a través de un *Human Machine Interface* (HMI) los valores referenciales de la embarcación (metros de ancho y metros de eslora) para que el equipo se oriente y realice un mapeo rápido del área de trabajo, luego se ubica en la posición inicial y realiza la limpieza como se detalla en la Fig. 2.3, posteriormente cuando termina con una región de limpieza envía una señal sonora y visual para indicar el acoplo de una mayor extensión de manguera y continuar con la siguiente región de limpieza.

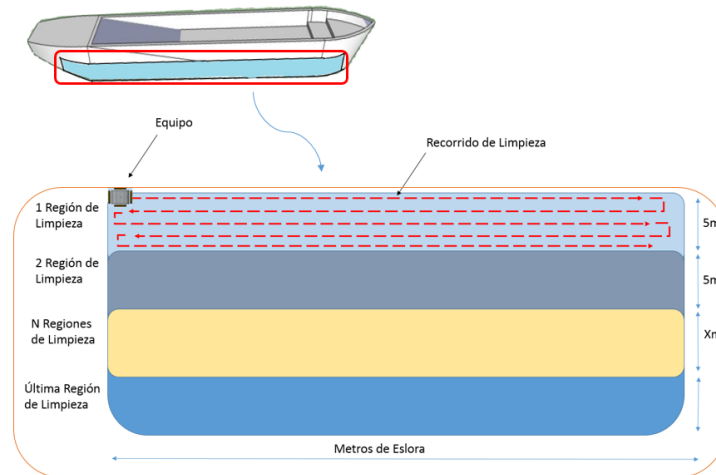


Fig. 2.3 Área y recorrido de limpieza

## 2.2.2 Equipo de limpieza

El sistema mecatrónico submarino para la limpieza de cascos de embarcaciones mostrado en la Fig. 2.4 es un sistema autónomo, controlado por un PLC M340 de la empresa SCHNEIDER [25], capaz de realizar la limpieza del casco mientras la embarcación se encuentra operativa.

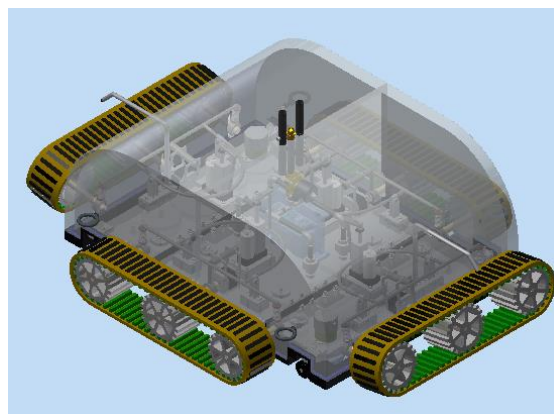


Fig. 2.4 Vista isométrica del equipo de limpieza

Así mismo el sistema de limpieza está conformado por 2 pares de rodamientos de oruga para el desplazamiento horizontal y vertical en el área de limpieza, los cuales se adhieren al casco por medio de imanes permanentes anclados a la faja de transmisión de movimiento como se muestra en la Fig. 2.5 (a), dichos rodamientos son accionados por motores a paso y separados de la superficie por medio de actuadores lineales, el sistema mecánico capaz de realizar esta maniobra se puede observar en la Fig. 2.5 (b) y está conformado por un soporte triple que transmite la potencia de un actuador lineal hacia las ruedas que accionan la faja.

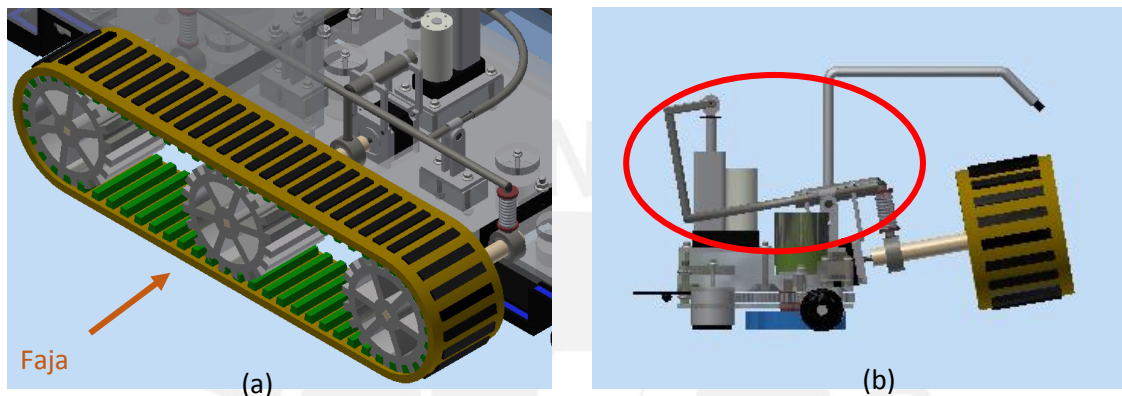


Fig. 2.5 Rodamiento oruga y mecanismo de levantamiento de rodaje

Así mismo para realizar la limpieza, el equipo se adhiere firmemente al casco a través de 8 electroimanes ubicados en la parte inferior del equipo como se puede observar en la Fig. 2.6 (a) y luego de fijarse firmemente vierte sobre el casco el agente limpiador (vapor de agua) por 4 boquillas conectadas desde una válvula solenoide que controla el flujo de vapor (Fig. 2.6 (b)).

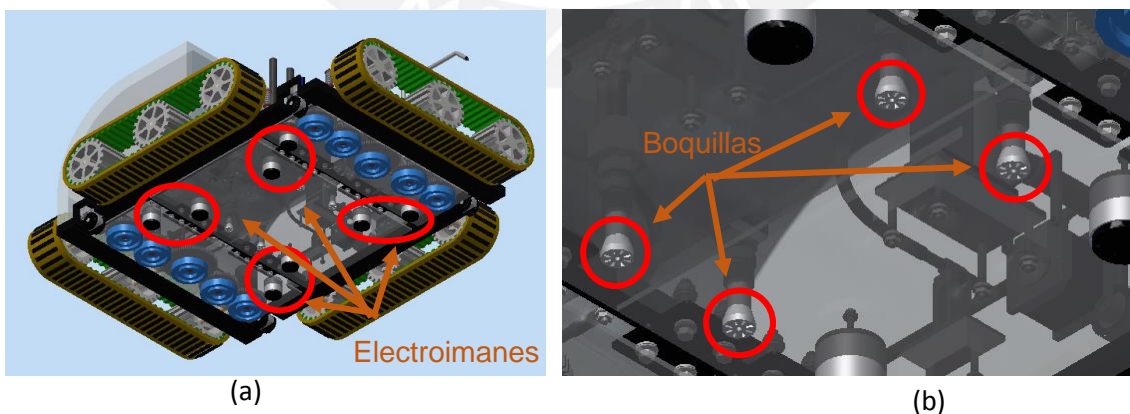


Fig. 2.6 Vista inferior del equipo con detalle

Por otro lado, para realizar una limpieza eficiente el sistema a su vez cuenta con dos juegos de engranajes que accionan escobillas (Fig. 2.7) ubicados a los extremos de la parte inferior del equipo y estos son accionados (con un motor DC) cada vez que el equipo se moviliza a su próxima área de limpieza para remover las últimas escorias presentes en el casco.

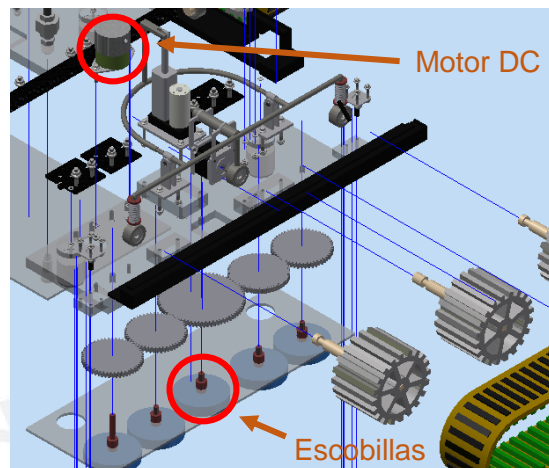


Fig. 2.7 Explosión del rodaje vertical

Por último el sistema realiza una inspección del área de limpieza con 2 cámaras ubicadas en los extremos del equipo, las cuales pueden inspeccionar claramente las áreas subyacentes (color rojo e interior celeste) como se observa en la Fig. 2.8 y determinar si el robot necesita volver a limpiar la última superficie que trabajo. Los cálculos del área de inspección se detalla en el Anexo A.

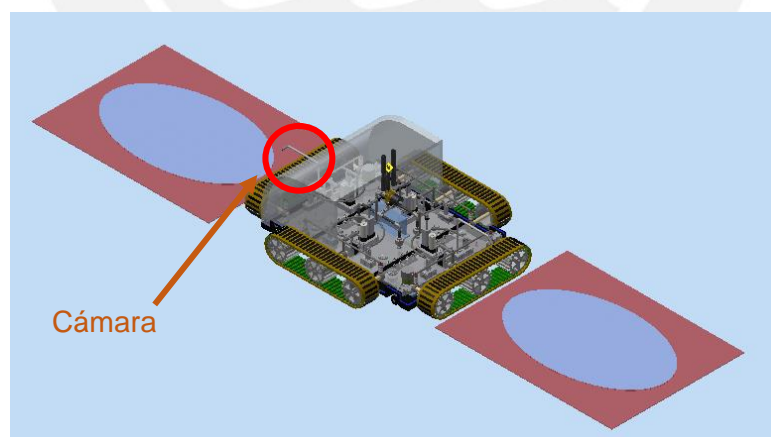


Fig. 2.8 Área de inspección



## 2.3 Estructura de funciones

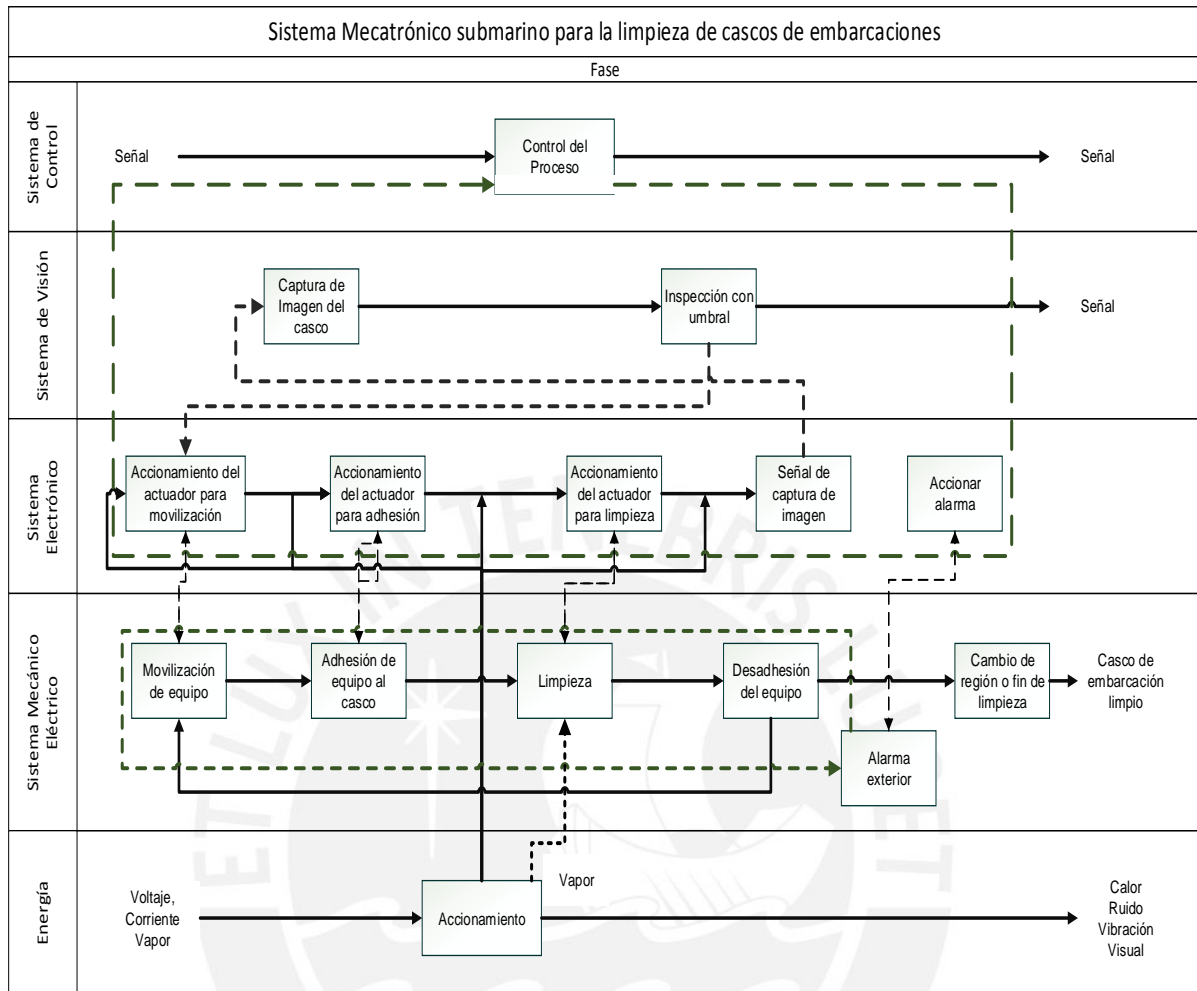


Fig. 2.9 Estructura de funciones

La estructura de funciones representa el funcionamiento general del equipo para realizar la limpieza del casco de una embarcación, presenta en una visión global los procesos que se deben seguir para que el sistema mecatrónico automático cumpla con las especificaciones mínimas requeridas para el proceso de limpieza.

### 2.3.1 Sistema de control

#### 1. Control del proceso

Es el encargado de administrar el sistema de visión y el sistema electrónico para que interactúen de manera coordinada y se generen las señales necesarias para el buen funcionamiento del equipo.



### 2.3.2 Sistema de visión

#### 1. Captura de imagen del casco

Proceso encargado de adquirir imágenes de la cámara y transformarlas (segmentarlas, umbralizarlas) para enviarlas al siguiente proceso.

#### 2. Inspeccionar con umbral

Proceso encargado de procesar la imagen recibida luego de la limpieza y en base a un umbral definido evaluar la calidad de la limpieza.

### 2.3.3 Sistema electrónico

#### 1. Accionamiento del actuador para movilización

Este proceso es el encargado de enviar la señal eléctrica necesaria para accionar el actuador que traslada el equipo a lo largo del área de limpieza.

#### 2. Accionamiento del actuador para adhesión

Este proceso envía la señal eléctrica para adherir el equipo a la carcasa para realizar la limpieza adecuadamente.

#### 3. Accionamiento del actuador para limpieza

Proceso encargado de enviar una señal eléctrica para controlar el flujo del agente limpiador.

#### 4. Accionamiento de alarma

Proceso encargado de enviar la señal eléctrica que enciende la alarma en caso de emergencia o transmitir un mensaje al operario del equipo para tomar las acciones necesarias en cada caso.

### 2.3.4 Sistema mecánico eléctrico

#### 1. Movilización equipo

Proceso encargado de movilizar el equipo en el área de limpieza e interactuar con el agua de mar a fin de estabilizar el equipo constantemente.

#### 2. Adhesión equipo al casco

Proceso que fija el equipo al casco con la fuerza necesaria para permitir la limpieza sin vibración ni aflojamiento.

#### 3. Limpieza casco

Proceso que remueve la contaminación adherida al casco por medio de vapor de agua y escobillas.

#### 4. Desadhesión del equipo

Proceso que afloja el equipo al terminar la limpieza para desplazarse a la siguiente área de limpieza.

#### 5. Cambio de región o fin de limpieza

Proceso que detiene al equipo para aumentar manualmente su amplitud de área de limpieza (acoplar un aumento en el ducto que conduce el agente limpiador desde el exterior), para posteriormente reiniciar la limpieza o predispone el equipo para ser retirado luego de terminar la limpieza.

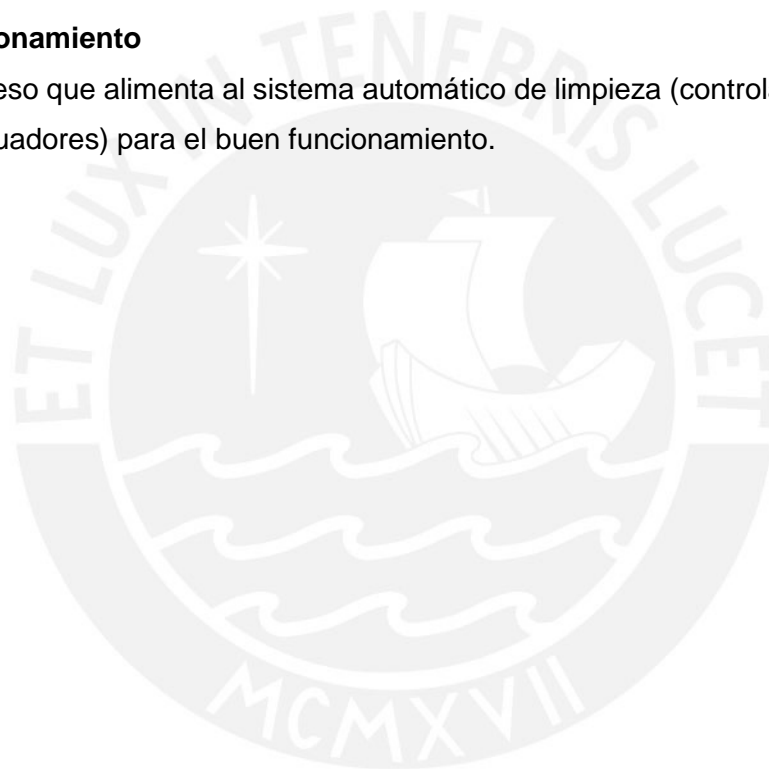
#### 6. Alarma exterior

Proceso que emite una señal de alarma (sonora y visual) cuando el equipo quiere comunicarse con el operario por una emergencia o una acción que dicho operario debe realizar.

### 2.3.5 Energía

#### 1. Accionamiento

Proceso que alimenta al sistema automático de limpieza (controlador, sensores y actuadores) para el buen funcionamiento.



# Capítulo 3

## Sistema Mecatrónico

### 3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

La Fig. 3.1 muestra el diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico submarino para la limpieza de cascos de embarcaciones, donde se pueden observar los subsistemas que conjuntamente interactúan para la óptima funcionalidad del equipo.

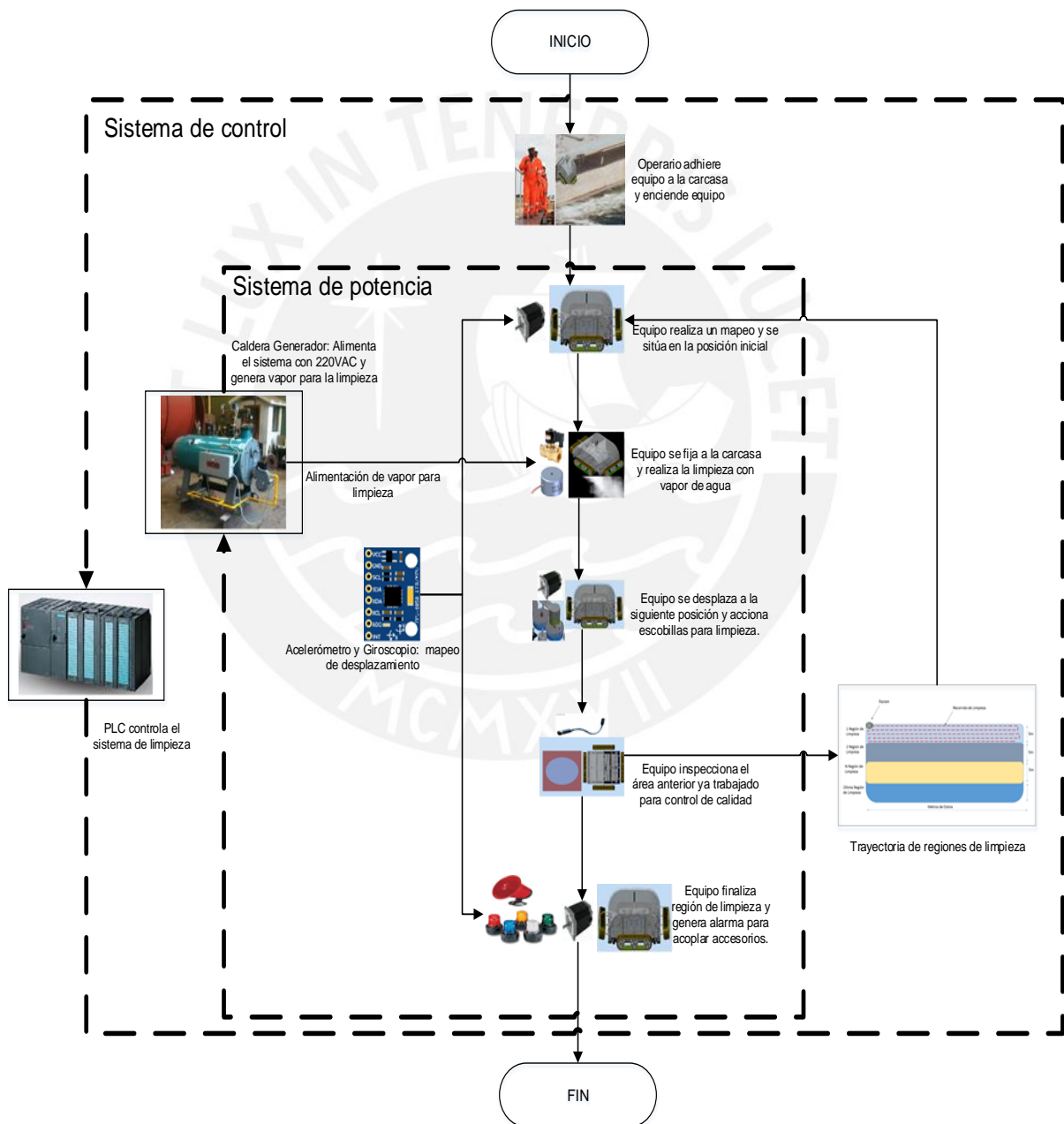


Fig. 3.1 Diagrama de funcionamiento

### 3.1.1 Sistema de Control

Es el sistema encargado de controlar el funcionamiento general del proceso, trabajan conjuntamente 2 Controladores Lógicos Programables (PLCs), uno controla el funcionamiento de los sensores y actuadores situados en el equipo de limpieza. Mientras tanto el otro PLC situado al exterior (junto al sistema de alimentación) recibe la información del operario a través de un HMI y envía los parámetros necesarios al PLC situado en el equipo a través del protocolo de comunicación RS485, administra el buen funcionamiento de los equipos de alimentación del sistema (bomba, caldera, turbina, alternador) y finalmente generar la señal de alarma para fallos del sistema o señalar que se terminó la limpieza en una región. En la Fig. 3.2 se puede observar la interacción entre los controladores del sistema, el equipo, el HMI y el usuario (operario).

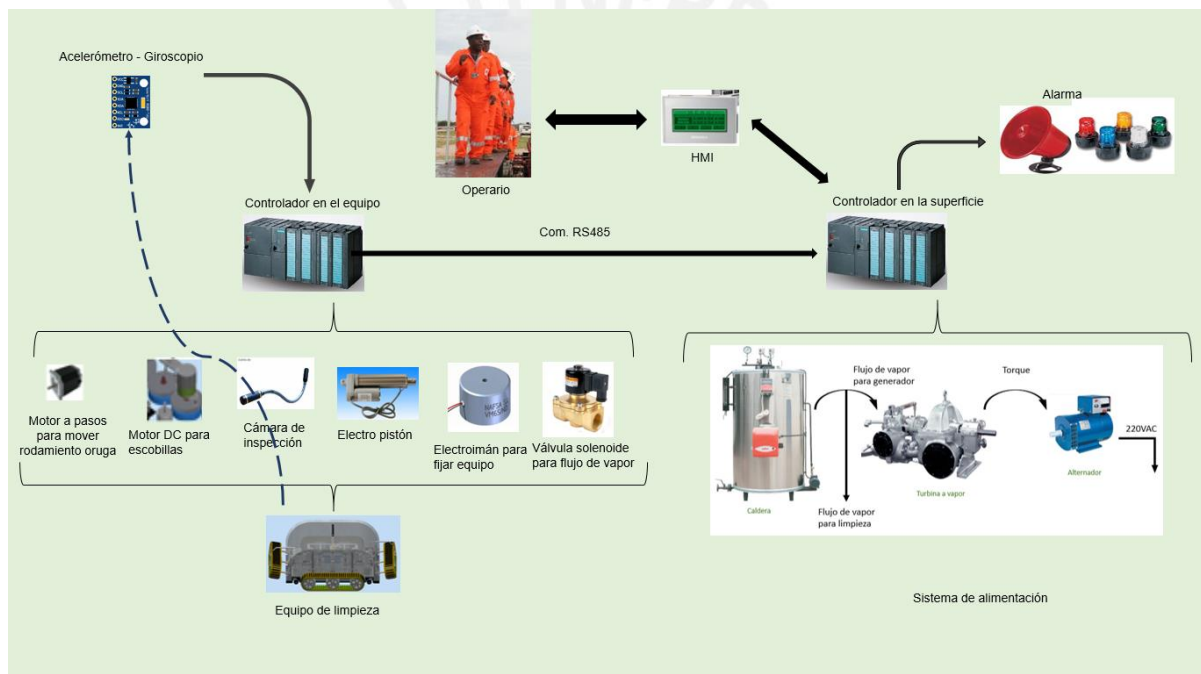


Fig. 3.2 Distribución de funciones de los PLC

### 3.1.2 Sistema de Potencia

El sistema de Potencia es el encargado de energizar el sistema (sensores, actuadores y tarjetas electrónicas) a través de un generador a combustión que produce vapor sobresaturado para la propulsión del generador que alimenta el sistema con 300W.h (220VAC), además también alimenta el agente limpiador (vapor de agua con 5kg.h), es así que es este sistema debe ser activado por el operario responsable de interactuar con el equipo. La potencia consumida es de 262.62 W.h y se detalla en el Anexo A 2.1.

### 3.1.3 Funcionamiento del equipo

1. Encendido y adhesión del equipo

Este procedimiento consiste en una previa manipulación por parte del operario, el cual debe adherir el equipo al casco de la embarcación y encender el sistema conectando la alimentación, ingresando parámetros iniciales a través de un HMI y verificando el correcto estado del equipo y sus componentes.

2. Mapeo y ubicación en posición inicial

En este proceso el robot desciende hasta entrar en contacto con el agua e indica esta primera ubicación como límite máximo de limpieza, posteriormente se dirige horizontalmente hacia la izquierda desde una vista frontal del equipo hasta encontrar una inclinación sobre su eje vertical mayor a 30°, que indica una cercanía con la proa o la popa del barco los cuales delimitan las regiones laterales de limpieza. Por último llegado a este punto el equipo estabiliza su orientación para empezar la limpieza del casco.

3. Fijación al casco y vertiendo vapor de limpieza

En esta etapa el equipo se fija firmemente al casco con ayuda de electroimanes y luego vierte el vapor necesario para la limpieza accionando una válvula solenoide.

4. Desplazamiento y accionamiento de escobillas

La siguiente etapa consiste en liberar al equipo, desplazarlo a la siguiente posición de limpieza y conjuntamente accionar el movimiento de dos juegos de escobillas que removerán la escoria definitivamente del área trabajada.

5. Inspección del área anterior de limpieza

Posteriormente, este procedimiento consiste en fotografiar el área anterior de limpieza para comparar la imagen con un umbral preestablecido que reportará si se realizó una correcta limpieza, de no ser así se retornará al área inspeccionada para realizar una nueva limpieza.

6. Finalizado de limpieza y activación de alarmas

En este último procedimiento el equipo emitirá una señal de alarma puesto que terminó una región de limpieza y necesita que el operario le acople las

extensiones necesarias para continuar con el trabajo o finalmente terminó con toda la limpieza del casco de estribor o babor de la embarcación.

## 3.2 Sensores y Actuadores

### 3.2.1 Sensores

#### 3.2.1.1 Sensor de humedad

El sensor de humedad con código HS 1101 es una resistencia variable adecuada a la humedad relativa en el ambiente, para el sistema solo se requiere que detecte la presencia o no de agua, es por eso que no se necesita una sensibilidad alta ni una precisión exacta, en la Fig. 3.3 se puede observar una vista isométrica de la misma.

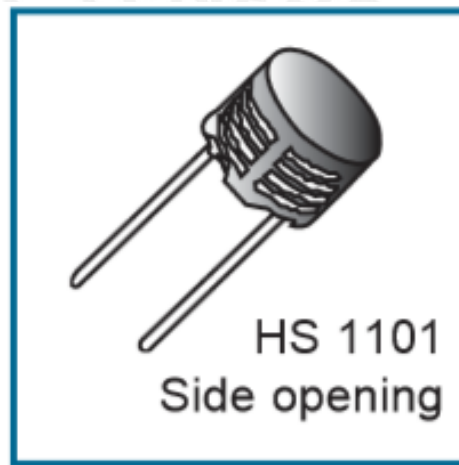


Fig. 3.3 Sensor de humedad

#### Especificaciones técnicas

La siguiente Tabla 3.1 muestra las principales características y especificaciones técnicas del sensor de humedad HS 1101 la cual se exply en el anexo C.

Tabla 3.1 Sensor de humedad. Fuente anexo C

Medida de rango de humedad	99%
Valor de tensión	5V
Corriente nominal	10 mA
Dimensiones	8mm (diámetro) x 15mm



### Diagrama esquemático del sensor de humedad

La Fig. 3.4 muestra el diagrama esquemático del sensor que envía la señal de salida entre 0-5v por la salida Q y regula su valor de voltaje de alimentación con las resistencias conectadas en él.

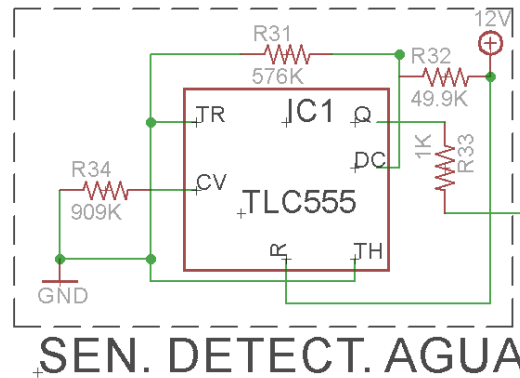


Fig. 3.4 Diagrama esquemático del sensor de humedad

### Ubicación del sensor en el equipo

La Fig. 3.5 muestra la ubicación del sensor dentro del equipo, se encuentra en el tubo que conduce los cables para la alimentación del sistema, dicho sensor tiene un acoplo con perfil tipo rosca que adherido con un cordón de jebe permite la permeabilidad de las conexiones.

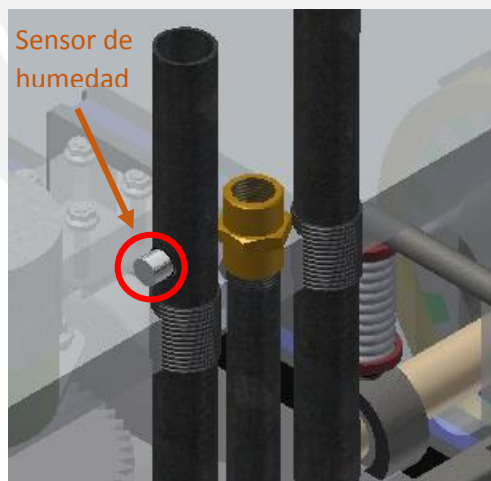


Fig. 3.5 Ubicación del sensor de humedad

### 3.2.1.2 Acelerómetro y giroscopio

El sensor de ubicación y orientación mostrado en la Fig. 3.6 es el MPU 6050 que dentro del sistema ayuda a ubicar y orientar al equipo dentro de su área de limpieza, sobretodo delimitar sus regiones laterales, superior e inferior de trabajo, tiene una sensibilidad y exactitud de mucha precisión [11].

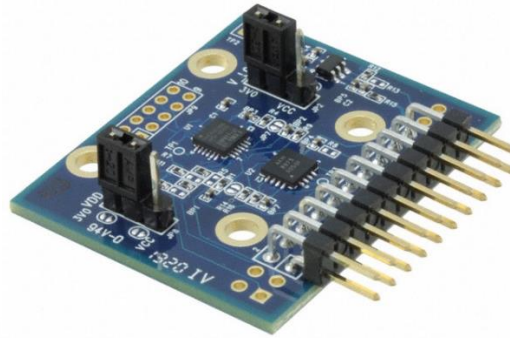


Fig. 3.6 Acelerómetro y giroscopio

#### Especificaciones técnicas

En la siguiente Tabla 3.2 se muestran las características principales del acelerómetro giroscopio, las cuales se muestran en el anexo C.

Tabla 3.2 Acelerómetro y giroscopio. Fuente [11]

Parámetro	Valor
Voltaje	0.5 – 6V
Aceleración	10,000g para 0.2ms
Protección ante descarga electrostática	2kV (HBM) -250V(MM)
Cierre	JEDEC clase II 100mA

#### Ubicación del sensor MPU 6050 dentro del equipo

El sensor acelerómetro giroscopio se ubica dentro de la caja de componentes electrónicos como se muestra en la Fig. 3.7

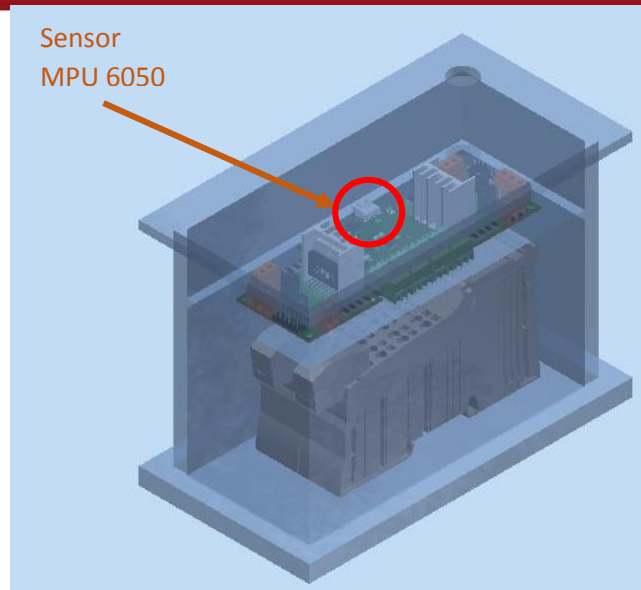


Fig. 3.7 Ubicación del sensor MPU 6050

### 3.2.1.3 Cámara Mini CCTV

En la siguiente Fig. 3.8 se observa la cámara Mini CCTV con protección IP66 que cuenta con un recubrimiento extra que lo hace impermeable y capaz de operar sumergido en agua de mar [15]



Fig. 3.8 Cámara de inspección

### Especificaciones técnicas

La siguiente Tabla 3.3 muestra las características principales de la cámara de inspección Mini CCTV.

Tabla 3.3 Cámara de inspección

Nivel de impermeabilidad	IP – 66
Diámetro	7 mm
Resolución	640 x 480
Ángulo de visión	67°
Distancia focal	6cm
Luz	6 leds regulables
Peso	200gr.
Alimentación	5 – 9V
Corriente de operación	120 mA

### Ubicación en el equipo

Las cámaras se encuentran en dos soportes recubiertos y ajustables que tienen una inclinación adecuada para captar adecuadamente la foto de inspección, en el diseño mecánico se ahondará con la estructura de soporte, la Fig. 3.9 muestra la ubicación dentro del equipo.

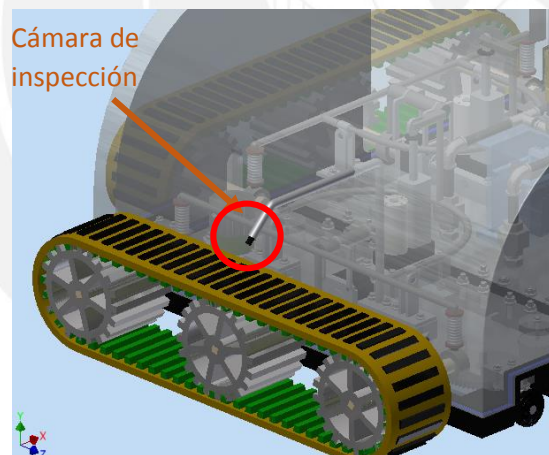


Fig. 3.9 Ubicación de la cámara de inspección

## 3.2.2 Actuadores

### 3.2.2.1 Actuator motor a pasos

La Fig. 3.10 muestra el motor a pasos que accionará los rodajes verticales y horizontales para el desplazamiento del equipo, son de la marca AUTOMATION DIRECT y su código es NEMA 23 STP-MTR-23079. La selección se dio luego de un análisis de fuerza detallado en el Anexo A.

NEMA 23  
STP-MTR-23079



Fig. 3.10 Actuador motor a pasos

### Especificaciones técnicas

La siguiente Tabla 4.4 muestra las características principales del motor a pasos NEMA 23 STP-MTR-23079, mayor información de las características del motor en el anexo E.

Tabla 3.4 Motor a pasos. Fuente anexo E

Especificaciones del motor paso a paso Sure Step MTR-23079 NEMA 23	
Torque de eje detenido máximo	2.08 N-m
Inercia del rotor	0.000047 Kg-m <sup>2</sup>
Corriente nominal	2.8 A/fase
Ángulo del paso básico	1.8° (motores bifásicos)
Peso	1 Kg

### Ubicación del motor a pasos en el equipo

La Fig. 4.11 muestra donde se sitúa el motor a pasos para la transmisión del movimiento en el rodaje, el equipo cuenta con 4 motores a paso, uno para cada juego de rodamiento.

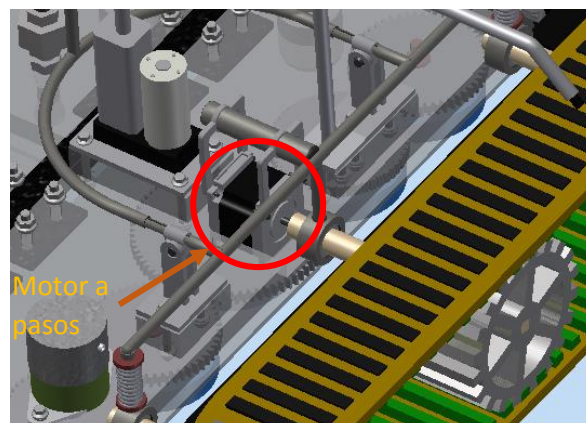


Fig. 3.11 Ubicación del motor a pasos

### 3.2.2.2 Actuador lineal

El actuador lineal hb-dj806 se utiliza para levantar los rodamientos cuando se realiza un movimiento transversal a este o fijar los rodamientos cuando se mueve direccional al sentido del movimiento del rodamiento, la Fig. 3.12 muestra el actuador y la Tabla 3.5 sus características principales y la Fig. 3.13 muestra su ubicación dentro del sistema de limpieza. Los cálculos de fuerza para su selección se detalla en el Anexo A



Fig. 3.12 Actuador lineal

Tabla 3.5 Actuador lineal. Fuente anexo H

Especificaciones del actuador lineal HB-DJ806	
Voltaje entrada	12v/24v/36v/48vdc
Corriente nominal	1.6 A
Velocidad	5 – 100 mm/s
Ciclo de trabajo	25%
Protección	IP 65





Fig. 3.13 Ubicación del actuador lineal

### 3.2.2.3 Motor DC

Es el motor encargado de mover las escobillas para la remoción final de escombros de la carcasa, en la Fig. 3.14 se puede observar el actuador, en la Tabla 3.6 sus principales características y en la Fig. 3.15 su ubicación en el equipo. El análisis de fuerzas para la selección del equipo se detalla en el Anexo A



Fig. 3.14 Motor DC

Tabla 3.6 Motor DC

Producto	DC Brushless Motor
Voltaje de alimentación	12V
Corriente de alimentación	0.3 <sup>a</sup>
Velocidad de salida	2000 RPM
Torque	100 G.cm
Diámetro de eje	6mm
Peso	258 g

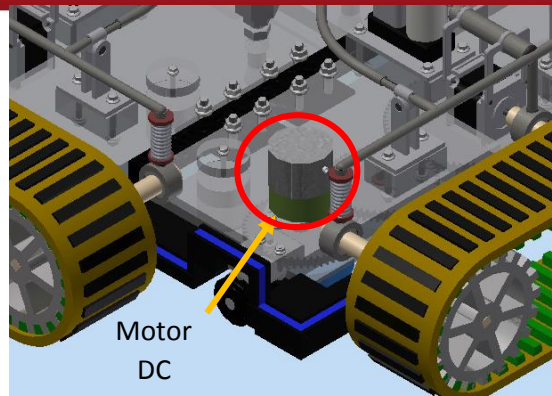


Fig. 3.15 Ubicación del Motor DC

### 3.2.2.4 Electroimanes

El electroimán NAFSA SL VM30/ND se utiliza para fijar el equipo a la carcasa de la embarcación, en la Fig. 3.16 se muestra el actuador, en la Tabla 3.7 se detallan sus principales características y en la Fig. 3.17 se observa su ubicación en el equipo de limpieza. Mayor información del electroimán se encuentra adjunto en el anexo F y los cálculos para su selección se encuentran detallados en el Anexo A.

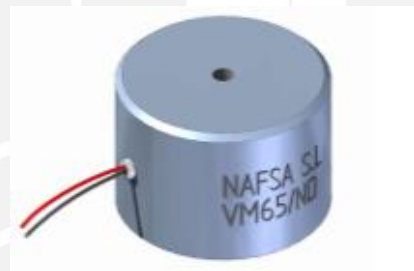


Fig. 3.16 Electroimanes

Tabla 3.7 Electroimán VM 30/ND. Fuente anexo F

Electroimán VM 30/ND, ENTREHIERRO 0.2	
Tensión nominal	24V
Fuerza magnética	74N
Potencia	42W.h
Corriente nominal	1.042 A
Peso	0.13Kg

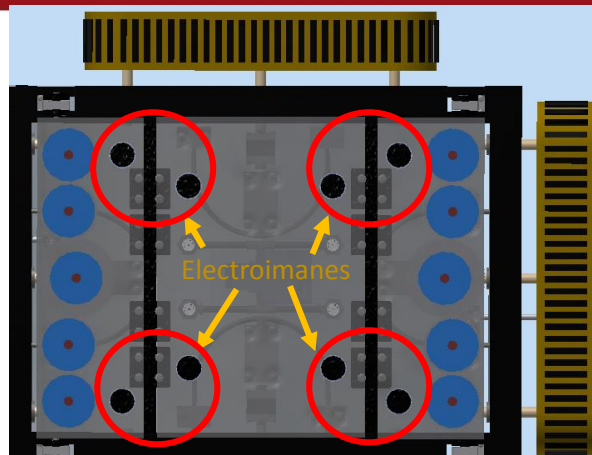


Fig. 3.17 Ubicación de los electroimanes

### 3.2.2.5 Válvula solenoide

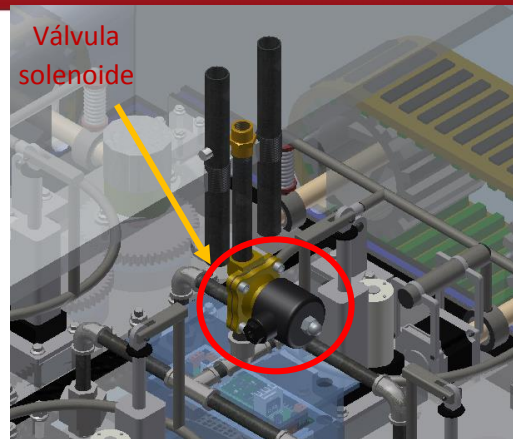
La válvula solenoide es la encargada de controlar el flujo del agente limpiador (vapor de agua), la válvula utilizada es 2W-160-15, con una abertura de 1/2", la Fig. 3.18 muestra la válvula, la Tabla 3.8 sus principales características y la Fig. 3.19 su ubicación dentro del equipo de limpieza.



Fig. 3.18 Válvula solenoide

Tabla 3.8 Válvula solenoide. Fuente [24]

Válvula solenoide 2W- 160-15	
Voltaje nominal	220AC/50Hz
Rosca de tornillo G	1/2"
Modo de trabajo	Directo o paso a paso
Presión de funcionamiento	NC: 0 – 10 bares
Sello de membrana NBR	Protección IP65



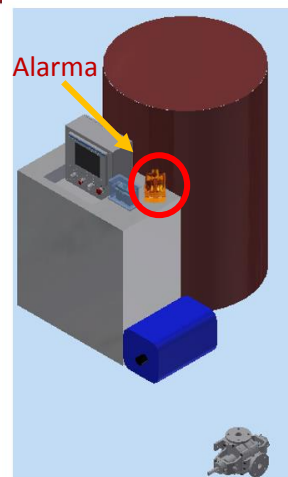
*Fig. 3.19 Ubicación de la válvula solenoide*

### 3.2.2.6 Alarma

La alarma es el mecanismo por el cual el equipo se comunica con el operario responsable de su manipulación, se generará un código específico para detallar un fallo en el equipo o avisar cuando se requiere aumentar acoples (extensiones de manguera) para continuar con el trabajo de limpieza. La Fig. 3.20 muestra la alarma S150U-110 que es una Torreta giratoria alimentada a 12VAC, corriente de uso 1.17A, a prueba de agua y polvo, con una protección de IP54. La Fig. 3.21 muestra la ubicación de la alarma en el sistema exterior.



*Fig. 3.20 Alarma*



. Fig. 3.21 Ubicación de la alarma

### 3.3 Diseño mecánico

#### 3.3.1 Planos generales del sistema

1. Equipo general de limpieza para cascos de embarcaciones

Este plano muestra el ensamble general del equipo y los mecanismos que conforman el sistema, la imagen principal del equipo (vista isométrica) tiene colores referenciales para visualizar mejor los componentes y las piezas que lo componen, por la complejidad de los componentes se divide en 4 subsistemas, 2 rodajes de deslizamiento vertical y 2 rodajes de deslizamiento horizontal.

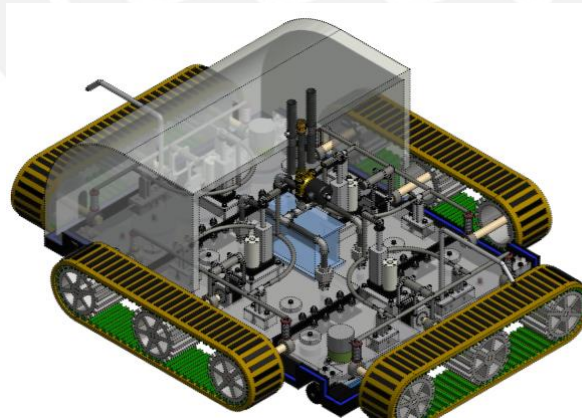


Fig. 3.21 Detalle general del equipo, vista isométrica



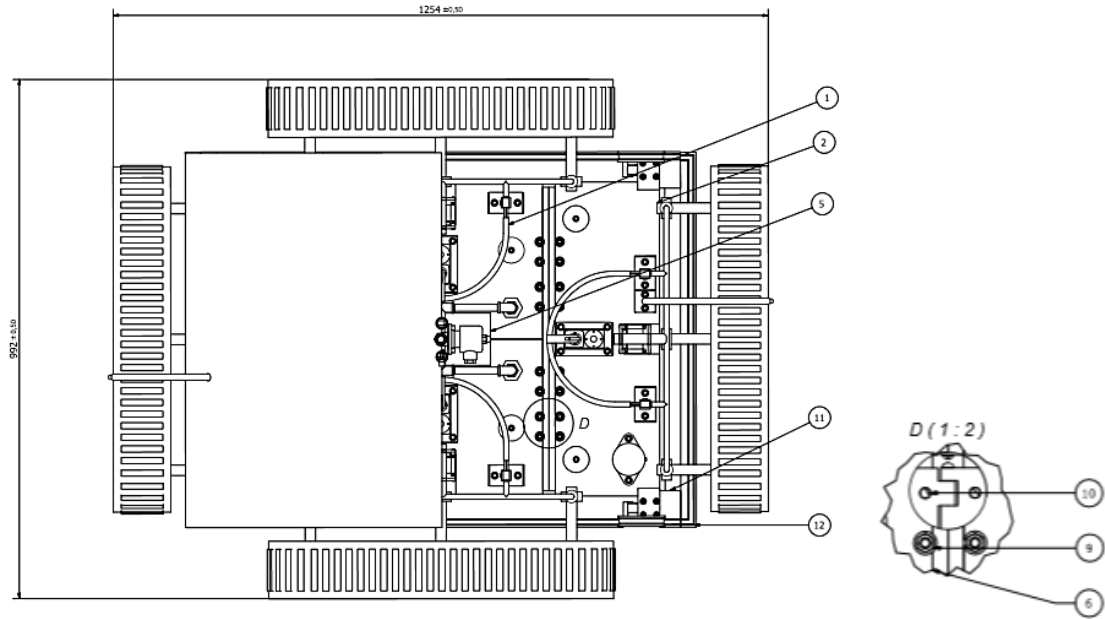


Fig. 3.22 Plano General del equipo, vista superior

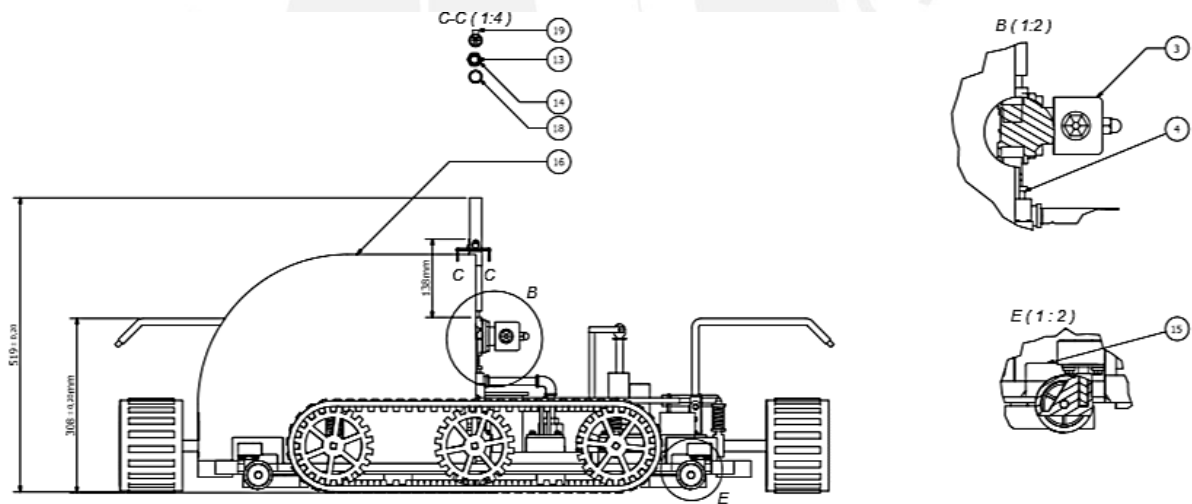


Fig. 3.23 Plano General del equipo, vista frontal

La Tabla 3.9 muestra las partes o subsistemas que integran al equipo de limpieza, principalmente lo integran 2 subsistemas principales, rodajes para avance vertical y rodajes para avance horizontal.



Tabla 3.9 Lista de piezas del ensamble principal

19	1	sensor humedad		Generic	
18	1	tubo para alimentación eléctrica		Stainless Steel	
17	1	Soporte para cámara			
16	1	domo		Polyethylene	
15	4	llanta de soporte		Generic	
14	1	Parker 207P 207P-6 (tuerca para conexión)	Parker	Stainless Steel	
13	1	DIN 2458 Pipe-Thread 17.2 x 2.3	DIN 2458	Steel	
12	2	perfil para cierre hermético		Caucho	
11	2	proteccion de contorno de equipo		Polyethylene	
10	8	Bisagra		Stainless Steel	
9	16	ISO 4161 - M8	ISO 4161	Stainless Steel	
8	3	ISO 4162 - M8 x 35	ISO 4162	Stainless Steel	
7	32	ISO 7089 - 8 - 140 HV	ISO 7089	Stainless Steel	
6	4	jebe para aislamiento		Generic	
5	1	caja de circuitos electronicos		Generic	
4	1	Tubo en Y para entrada de flujo de vapor			
3	1	valvula solenoide		Generic	
2	2	rodajes para avance vertical			ensamble
1	2	rodajes para avance horizontal			ensamble
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

2. Rodaje para deslizamiento vertical

Este plano muestra un subsistema compuesto por rodajes, llantas, ejes, soporte de rodajes, actuador lineal, motor a pasos, motor DC para el movimiento de las escobillas, soporte para la cámara de inspección, ruedas locas para soportar el equipo en el desplazamiento horizontal, electroimanes para la fijación del equipo al casco y bisagras para unir este subsistema a los otros subsistemas que conforman el equipo general.

La Fig. 3.24 muestra una vista isométrica del subsistema donde se puede visualizar claramente las partes que lo componen, los colores son referenciales para visualizar mejor los componentes, un mejor análisis y detalle se puede observar en los planos de ensamble en el anexo K.

La Fig. 3.25 detalla los componentes del subsistema de rodaje para deslizamiento vertical, a diferencia del subsistema de rodaje para deslizamiento horizontal este subsistema incluye las ruedas libres, el soporte para la cámara y las escobillas. Por otro lado no incluye las tuberías de conexión de las boquillas para la salida del vapor, ni el espacio para la caja de componentes electrónicos. Así mismo la Tabla 3.10 nombra la extensa lista de componentes del subsistema del equipo, más adelante solo se detallara los planos de despiece de pocas piezas, las que hayan sido modificadas en sus dimensiones o maquinadas.

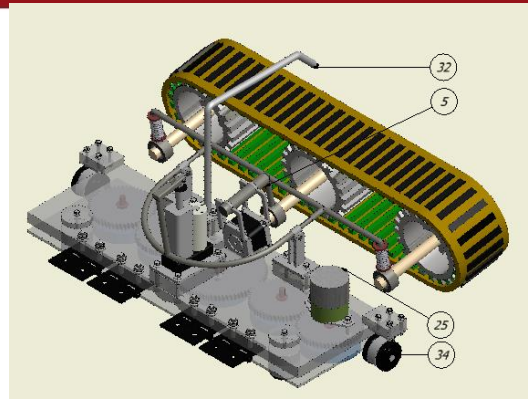


Fig. 3.24 Detalle para rodaje vertical, vista isométrica

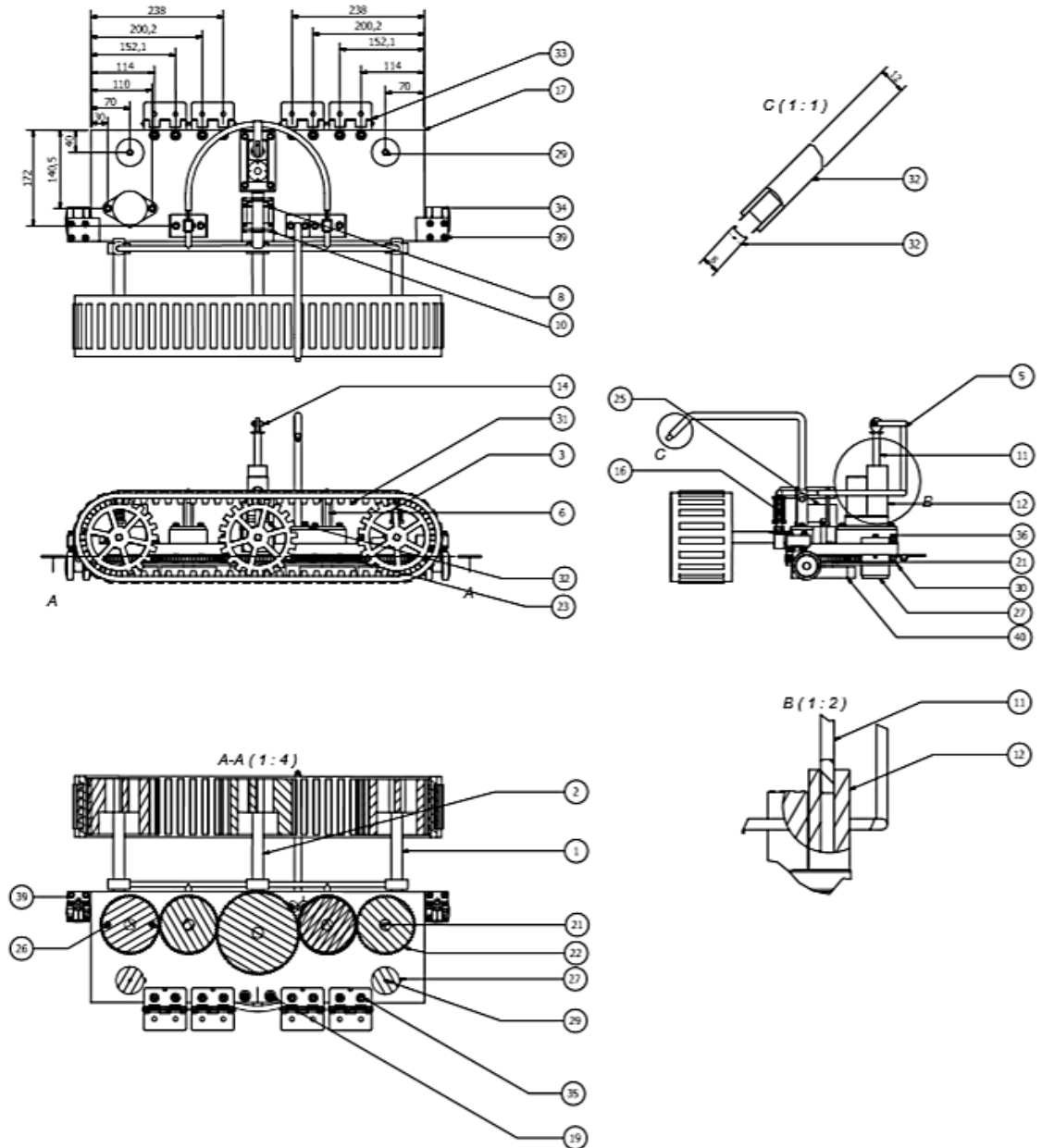


Fig. 3.25 Plano para rodaje vertical

Tabla 3.10 Lista de piezas de rodaje deslizamiento vertical

40	5	escobilla		Generic	
39	8	ISO 4162 - M5 x 30	ISO 4162	Stainless Steel	
38	8	ISO 4161 - M5	ISO 4161	Stainless Steel	
37	8	ISO 4161 - M8	ISO 4161	Stainless Steel	
36	8	ISO 4162 - M8 x 40	ISO 4162	Stainless Steel	
35	16	ISO 7089 - 8 - 140 HV	ISO 7089	Stainless Steel	
34	2	rueda de apoyo			ensamble
33	4	bisagra			ensamble
32	1	soporte para cámara en tubo, cámara		Stainless Steel	ensamble
31	1	fajas			
30	1	plataforma para base de equipo		Generic	
29	2	ISO 4162 - M5 x 35	ISO 4162	Stainless Steel	
28	18	ISO 7089 - 5 - 140 HV	ISO 7089	Stainless Steel	
27	2	electroimán		Generic	
26	2	ISO 4162 - M6 x 30	ISO 4162	Stainless Steel	
25	1	motor para escobilla		Generic	
24	1	eje de motor para escobillas		Stainless Steel	
23	3	Imán permanente		Fe	
22	3	Sujeción de imán permanente		Polyethylene	
21	4	eje para escobillas		Polycarbonate	
20	13	ISO 7089 - 6 - 140 HV	ISO 7089	Stainless Steel	
19	10	ISO 4162 - M6 x 50	ISO 4162	Stainless Steel	
18	12	ISO 4161 - M6	ISO 4161	Stainless Steel	
17	1	plataforma		Polyethylene	
16	2	amortiguador		Copper, Zinc	
15	4	ISO 2341 - B - 3 x 14	ISO 2341	Steel	
14	1	ISO 2340 - B - 4 x 22	ISO 2340	Steel	
13	2	ISO 2340 - A - 10 x 20	ISO 2340	Steel	
12	1	carcasa de actuador		Generic	
11	1	actuador		Generic	
10	2	gancho para sujetar motor		Generic	
9	1	pin para sujetar motor		Generic	
8	1	motor de rodaje		Generic	
7	2	pin		Generic	
6	2	pin		Generic	
5	1	soporte de rodajes		Stainless Steel	
4	3	ISO 104 - 3 13 - 12 x 32 x 14	ISO 104	Steel, Mild	
3	3	llanta		Stainless Steel	
2	1	eje del motor		Stainless Steel	
1	2	eje de llanta simple		Stainless Steel	
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

### 3. Rodaje para deslizamiento horizontal

Como se detalló anteriormente este subsistema es muy similar al subsistema Rodaje para deslizamiento vertical por lo que solo se detalla los componentes que difieren del anterior.

La Fig. 3.26 muestra la vista isométrica del subsistema, la Fig. 3.27 detalla los componentes del subsistema y la Tabla 3.11 nombra dichos componentes.

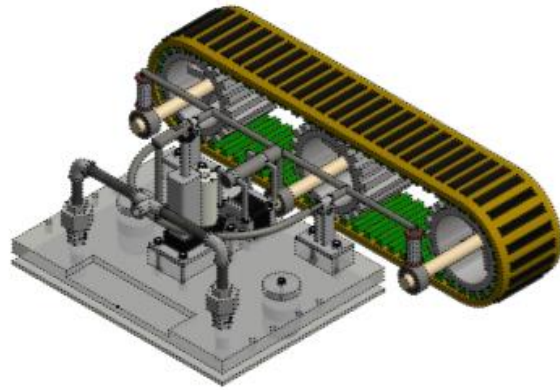


Fig. 3.26 Detalle de rodaje horizontal, vista isométrica

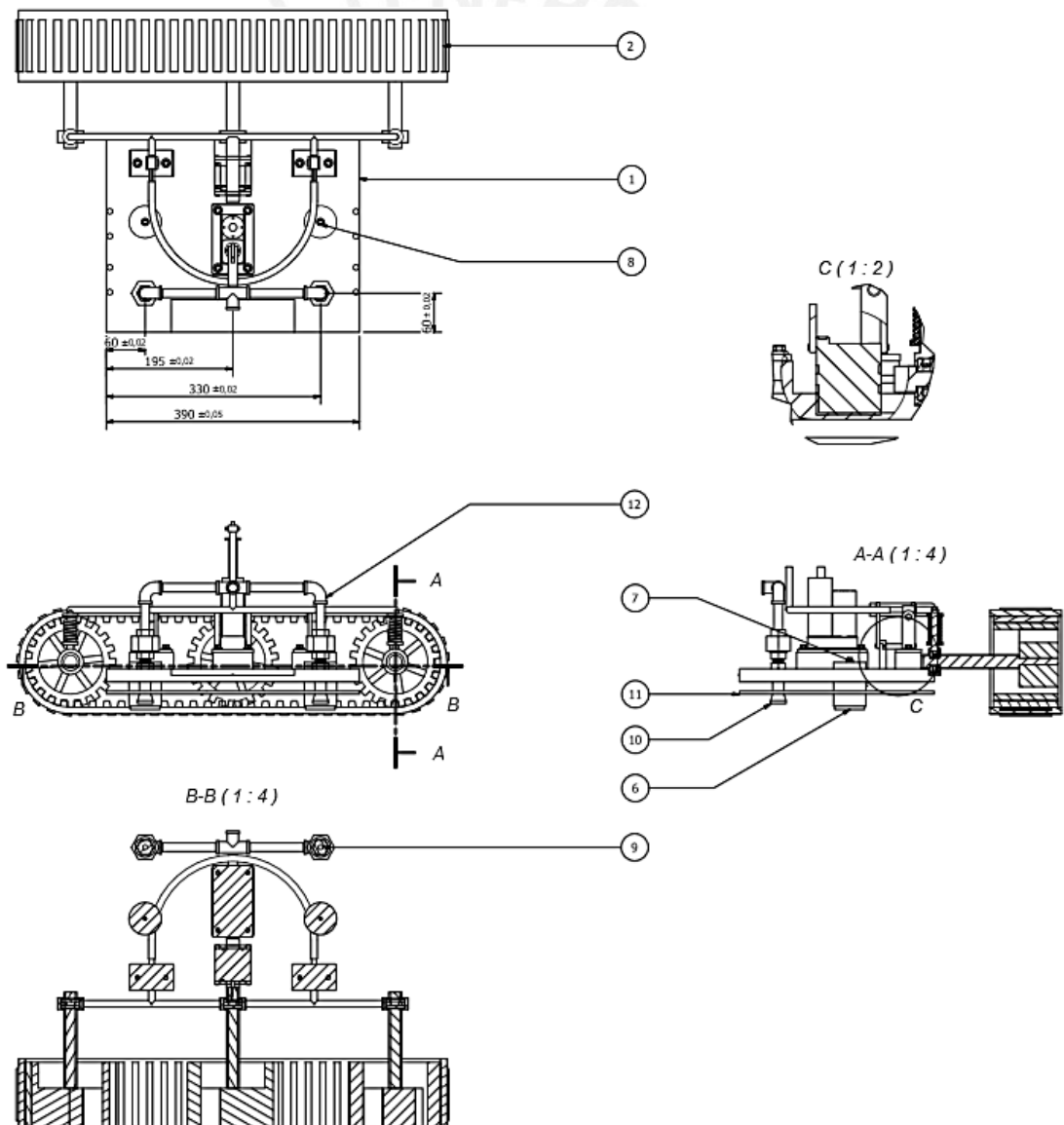


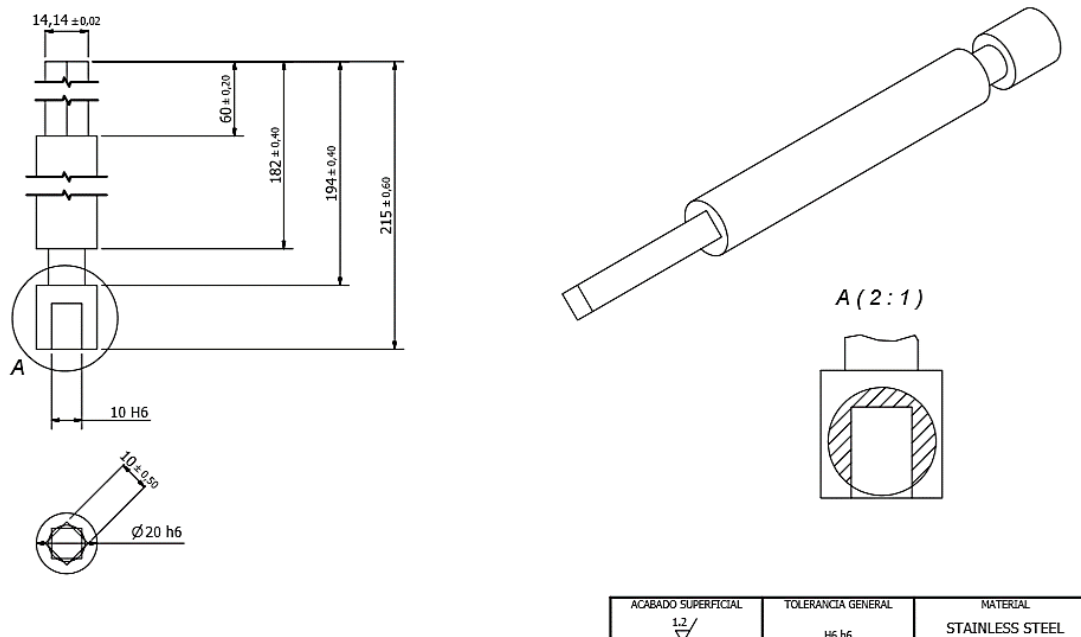
Fig. 3.27 Plano para rodaje horizontal

Tabla 3.11 Lista de piezas de rodaje deslizamiento horizontal

12	1	tuberías para flujo de vapor		Stainless Steel	
11	1	plataforma inferior		Generic	
10	2	aspersores de vapor		Generic	
9	2	acople			
8	2	ISO 4162 - M5 x 35	ISO 4162	Stainless Steel	
7	2	ISO 7089 - 5 - 140 HV	ISO 7089	Stainless Steel	
6	2	electroiman		Generic	
5	8	ISO 4162 - M6 x 50	ISO 4162	Stainless Steel	
4	8	ISO 4161 - M6	ISO 4161	Stainless Steel	
3	8	ISO 7089 - 6 - 140 HV	ISO 7089	Stainless Steel	
2	1	rodaje de oruga			
1	1	plataforma superior		Generic	
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

#### 4. Eje de rodaje principal de transmisión

La Fig. 3.28 detalla el eje de transmisión del motor a pasos a las ruedas que impulsan los rodajes oruga para el desplazamiento del equipo de limpieza.



1. Fig. 3.28 Plano eje de rodaje

#### 5. Soporte de rodajes

La Fig. 3.29 muestra el soporte para ascender o descender los rodajes, la visualización mejor de los detalles se encuentra en los planos de despiece en el anexo L.



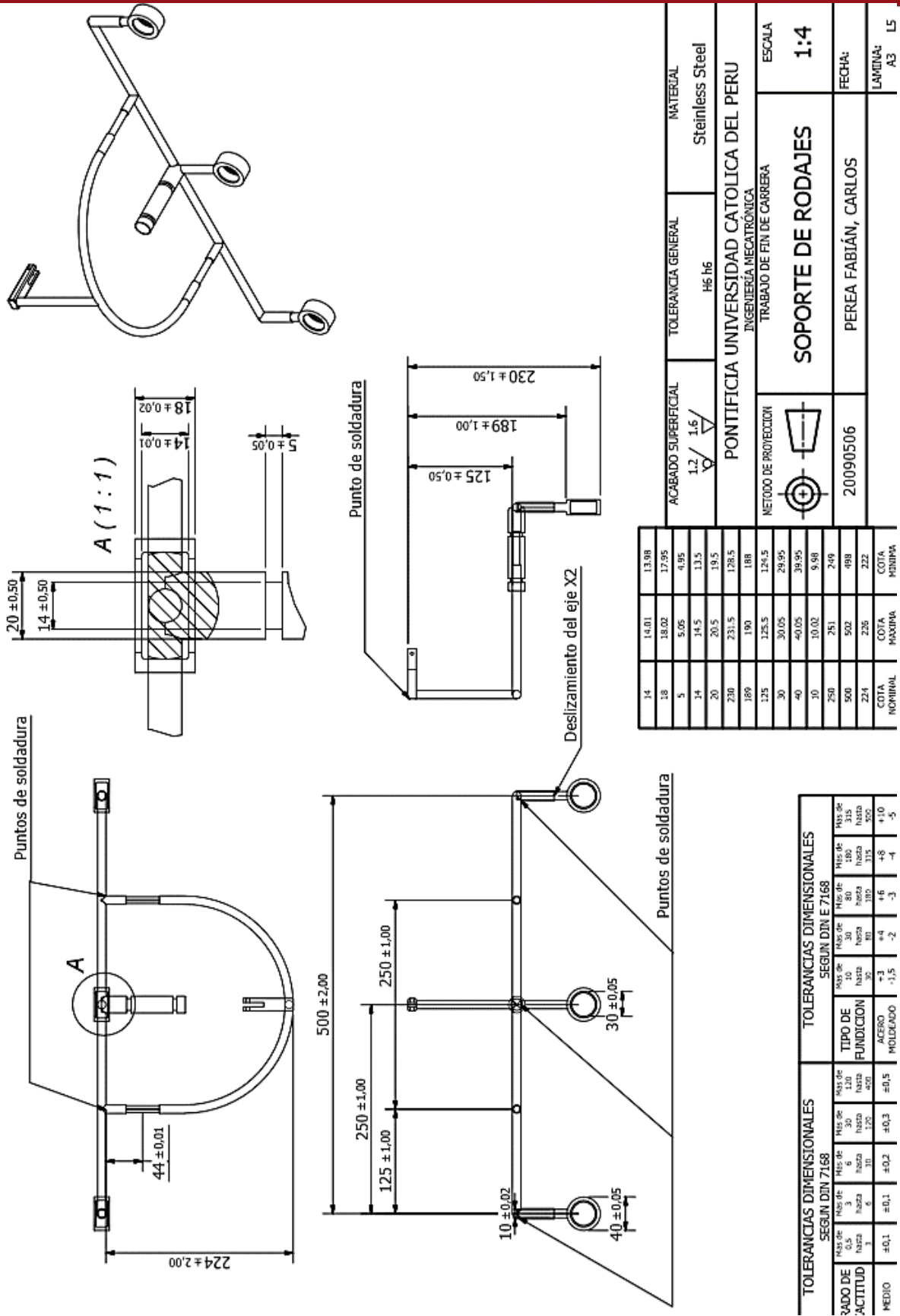


Fig. 4.29 Plano soporte de rodajes



6. Base de soporte del equipo

La Fig. 3.30 detalla la Base principal del equipo la cual se elabora con fundición por inyección en Resina Acetálica y se maquina bajo la norma DIN7168.

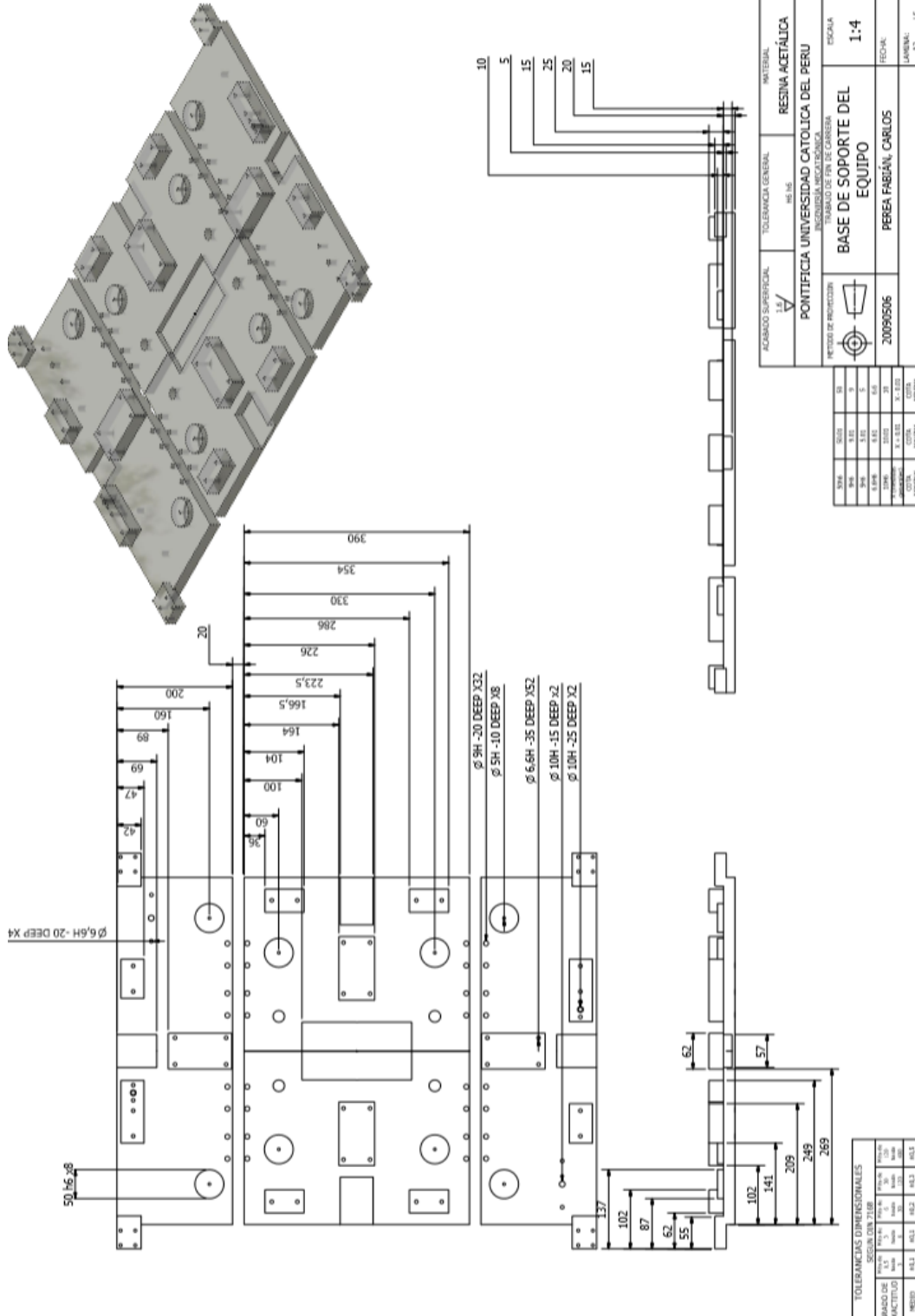
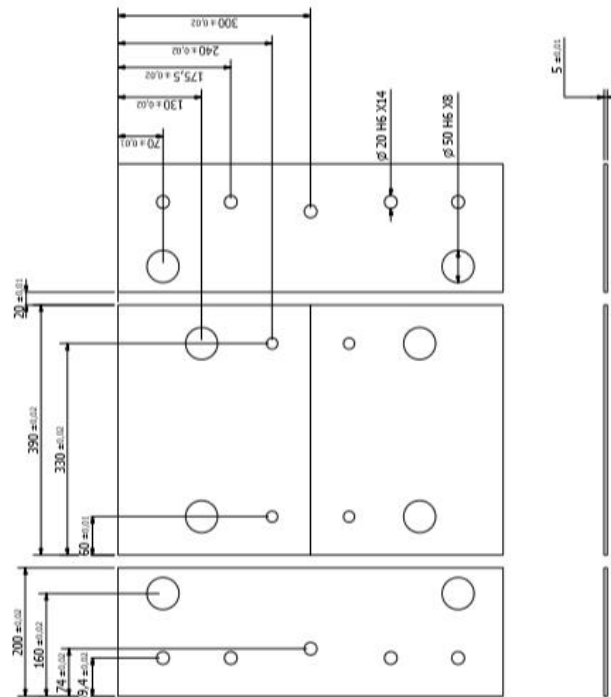
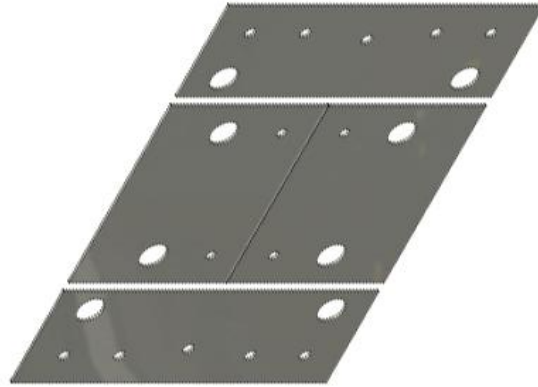


Fig. 3.30 Plano Base de soporte de equipo

7. Base inferior de protección

La base inferior que se muestra en la Fig. 3.31 sirve de protección y recubrimiento de los componentes que se encuentran en contacto el agua como las boquillas, los electroimanes y las escobillas.



ACABADO SUPERIOR:	2.1/	TOLERANCIA GENERAL:	DIN 7188	MATERIAL:	RESINA ACETÁLICA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ					
INGENIERÍA MECATRÓNICA					
TUBARIO DE FIBRA DE CARBÓN					
BASE INFERIOR DE PROTECCIÓN					
ESCALA:					
1:4					
FECHA:					
LÁMINA:					
AUTOR:					
PROFESOR:					
ESTUDIANTE:					
CATEDRA:					
MATERIA:					
FECHA:					
LÁMINA:					

TOLERANCIAS DIMENSIONALES		TOLERANCIAS DIMENSIONALES	
UNIDAD	GRADO DE PRECISIÓN	UNIDAD	GRADO DE PRECISIÓN
mm	0.05	mm	0.05
mm	0.10	mm	0.10
mm	0.15	mm	0.15
mm	0.20	mm	0.20
mm	0.30	mm	0.30
mm	0.50	mm	0.50
mm	1.00	mm	1.00
mm	1.50	mm	1.50
mm	2.00	mm	2.00
mm	3.00	mm	3.00
mm	5.00	mm	5.00
mm	10.00	mm	10.00
mm	15.00	mm	15.00
mm	20.00	mm	20.00
mm	30.00	mm	30.00
mm	50.00	mm	50.00
mm	100.00	mm	100.00
mm	150.00	mm	150.00
mm	200.00	mm	200.00

Fig. 3.31 Plano Base inferior del equipo

8. Domo para aislamiento hermético

La Fig. 3.32 muestra el despiece del domo que recubre como un caparazón todo el equipo y lo aísla herméticamente, elaborado con policarbonato, y más adelante se detalla el análisis de resistencia y corrosión de la pieza.

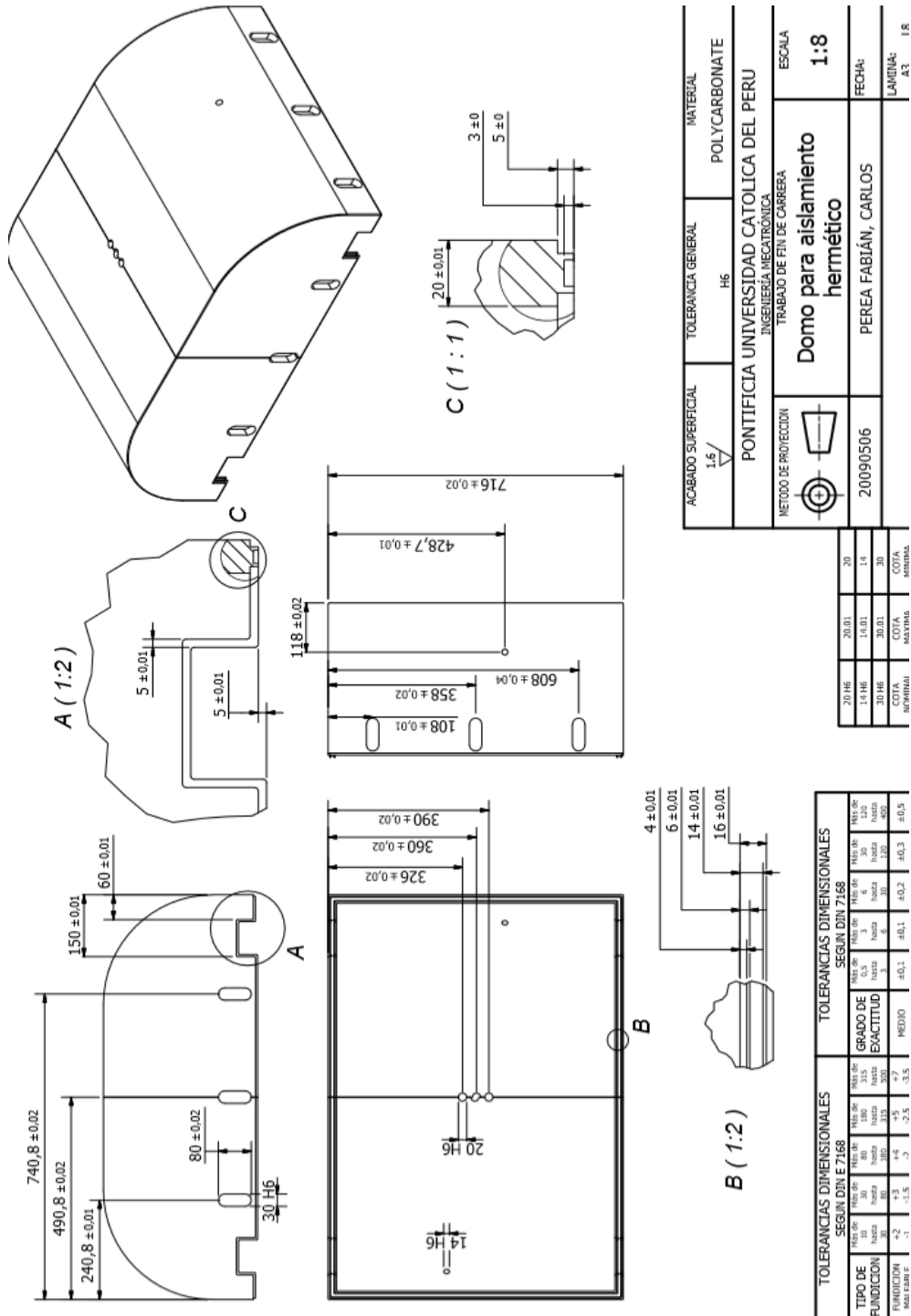


Fig. 3.32 Plano Domo para aislamiento hermético

9. Base soporte de cámara

La Fig. 3.33 muestra la base para el soporte de la cámara de inspección.

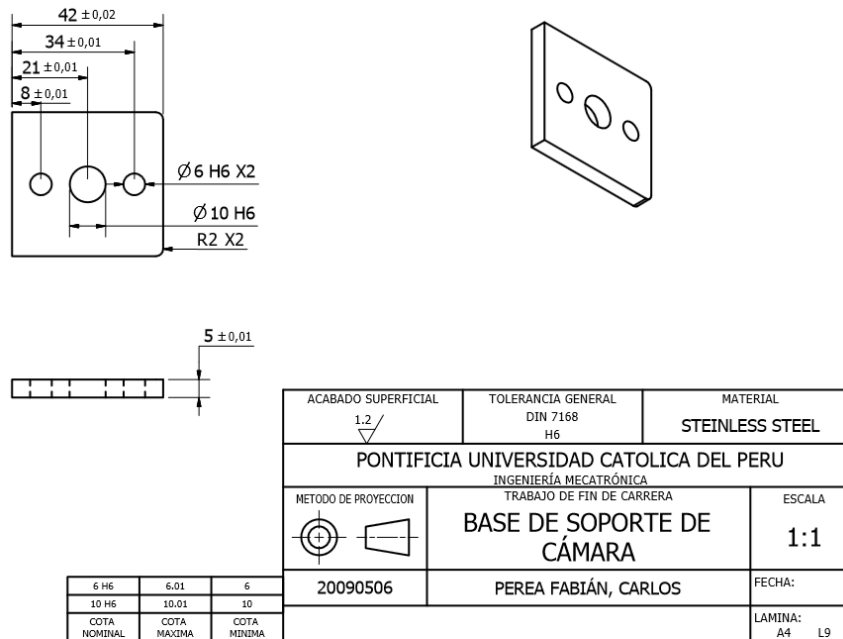


Fig. 3.33 Plano Base soporte de cámara

10. Soporte cámara

La Fig. 3.34 detalla el soporte de la cámara de inspección, la longitud y el ángulo se diseñó para capturar la imagen precisa de inspección en la limpieza como se describe más adelante.

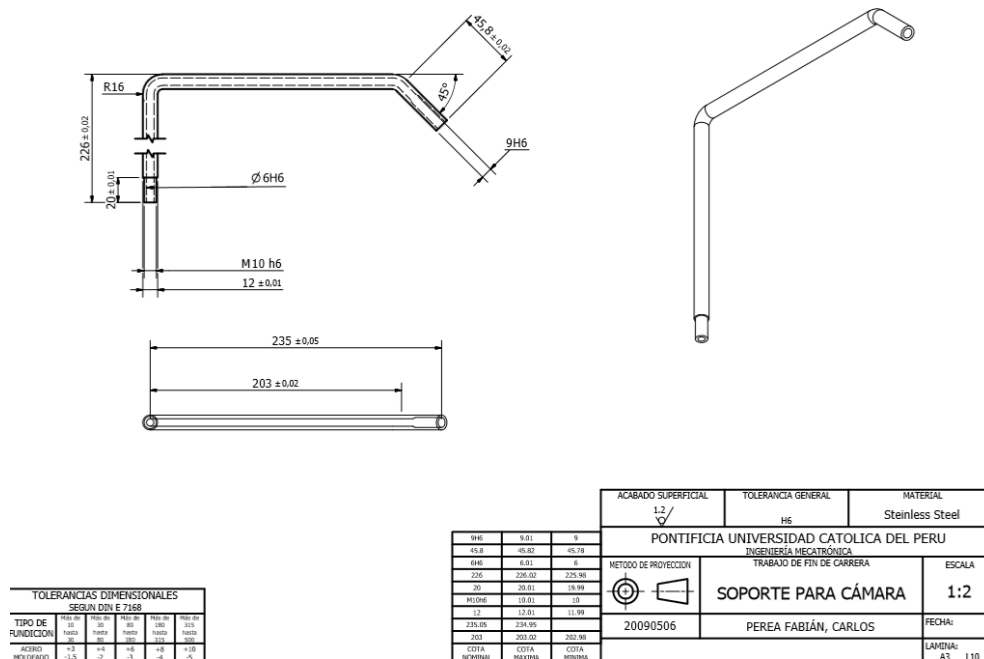


Fig. 3.34 Plano Soporte para cámara

11. Soporte pivote

La Fig. 3.35 detalla el pivote que resiste el empuje del soporte de rodajes.

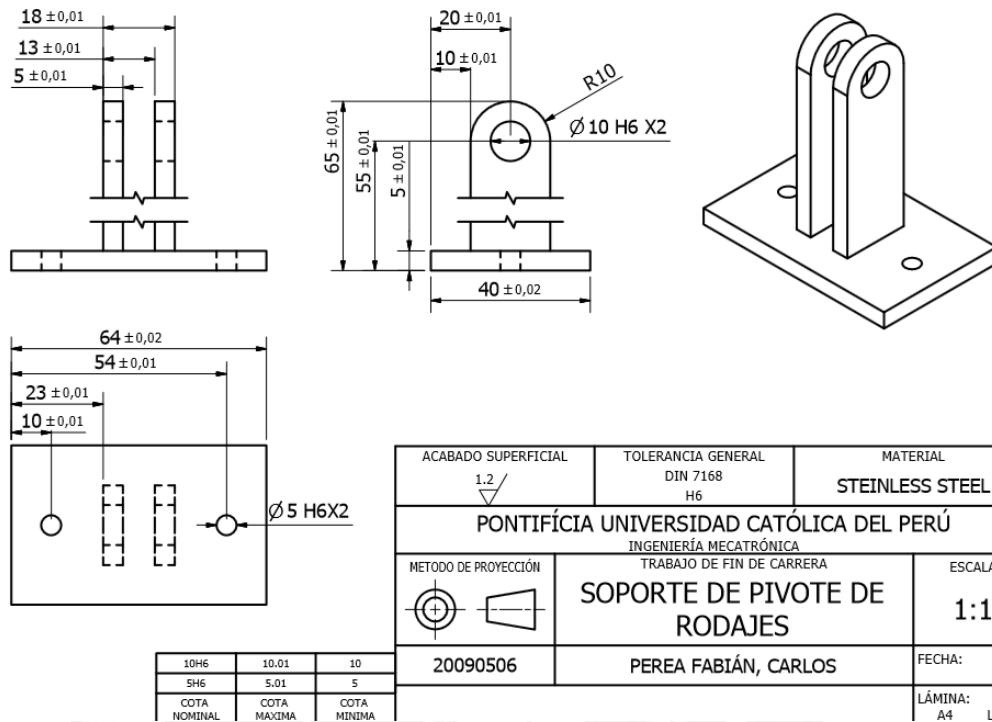


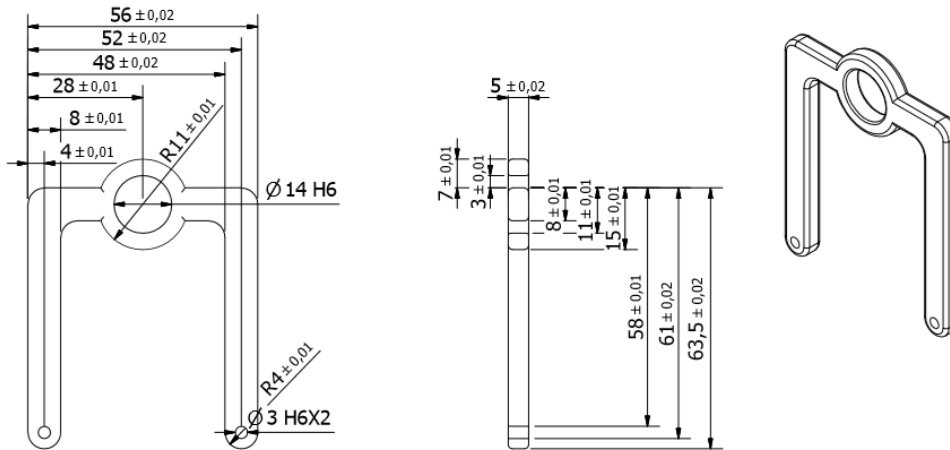
Fig. 3.35 Plano Soporte de pivote de rodajes

12. Sujeción de motor

La Fig. 3.36 es el plano de despiece de un gancho que sujeta al motor a pasos en el eje de transmisión de potencia hacia la rueda que impulsa la faja de rodamiento oruga.

13. Rueda para rodajes oruga

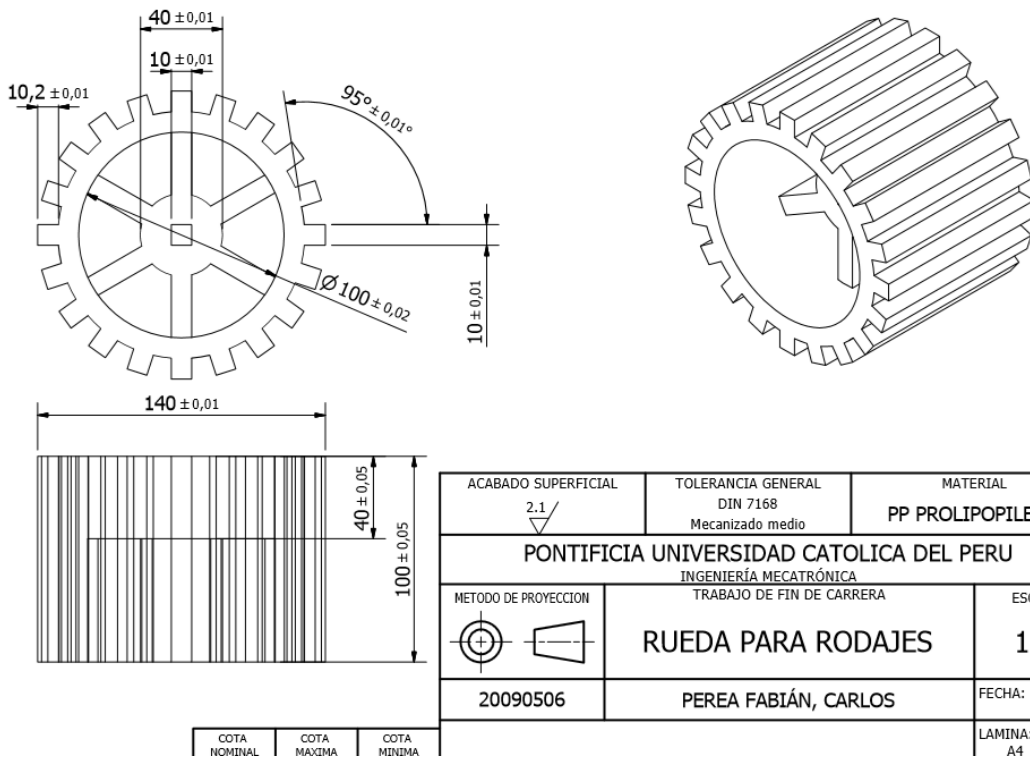
La Fig. 3.37 detalla la rueda de transmisión de torque del eje hacia el rodaje oruga, se elabora en inyección para fundición de prolipopileno, así mismo los detalles completos de las piezas se encuentran en los planos de despiece en el anexo L.



ACABADO SUPERFICIAL 1.6			TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 H6			MATERIAL STEINLESS STEEL		
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU INGENIERÍA MECATRÓNICA								
METODO DE PROYECCION			TRABAJO DE FIN DE CARRERA			ESCALA		
			<b>SUJECIÓN DE MOTOR</b>			<b>1:1</b>		
20090506			PEREA FABIÁN, CARLOS			FECHA:		
LAMINA: A4 L12								

3H6	3.01	3
14H6	14.01	14
COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

Fig. 3.36 Plano Sujeción de motor



ACABADO SUPERFICIAL 2.1			TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 Mecanizado medio			MATERIAL PP PROLIPOILENO		
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU INGENIERÍA MECATRÓNICA								
METODO DE PROYECCION			TRABAJO DE FIN DE CARRERA			ESCALA		
			<b>RUEDA PARA RODAJES</b>			<b>1:2</b>		
20090506			PEREA FABIÁN, CARLOS			FECHA:		
LAMINA: A4 L13								

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA
--------------	-------------	-------------

Fig. 3.37 Plano Rueda para rodajes



### 3.4 Diseño eléctrico y electrónico

El equipo de limpieza cuenta con diversos actuadores y algunos sensores para lo cual se requiere que el sistema eléctrico electrónico tenga un controlador óptimo y una alimentación adecuada para su buen funcionamiento.

#### Fuente de alimentación

Como se detalló al anteriormente la fuente de alimentación (220VAC) vendrá conformada por una caldera generadora de vapor 57Kg.h [19] , generador impulsado por vapor de agua[18] y un alternador para la producción de la corriente.

Cabe mencionar que según las capacidades de los equipos se puede producir 57Kg de vapor por hora, y una potencia de 7Hp (5.21KW). Es decir 11 veces más cantidad de vapor para la limpieza y 13 veces más potencia que la requerida para el sistema, así entonces en una embarcación se puede trabajar con varios equipos paralelamente y reducir el tiempo de limpieza, reduciendo el costo por el trabajo, dicho análisis se desarrolla en el Anexo I.

La Fig. 3.38 muestra un esquema con la interacción entre la caldera, el generador y el alternador para la alimentación del sistema eléctrico-electrónico.

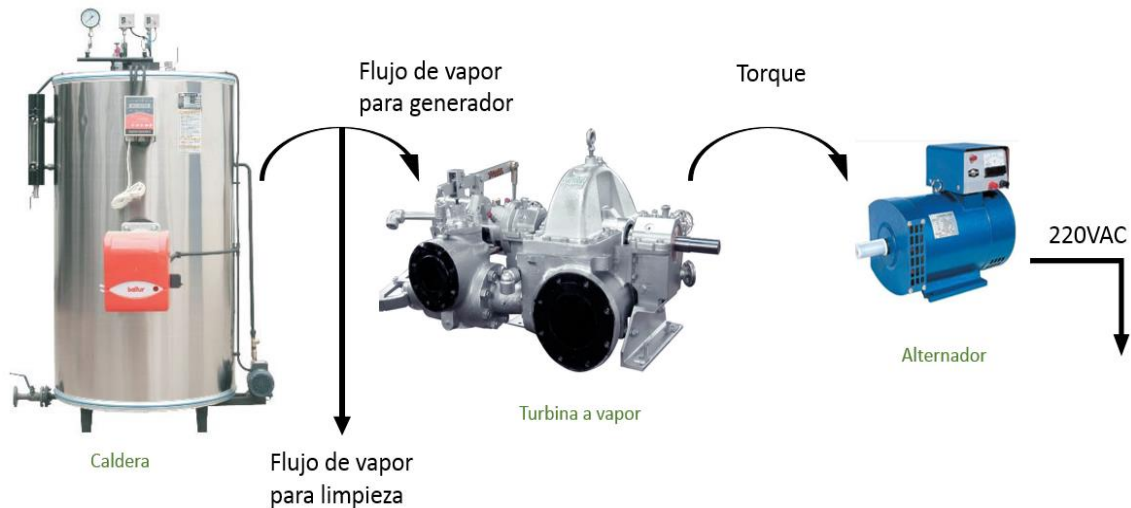


Fig. 3.38 Diagrama de alimentación del equipo

#### 3.4.1 Consumo eléctrico

La Tabla 3.12 muestra el consumo eléctrico de los componentes que integran el equipo de limpieza y el porcentaje de uso por ciclo (1 ciclo empieza cuando el equipo se desplaza hacia un área de limpieza y termina cuando realiza la inspección del área trabajada)

Tabla 3.12 Consumo eléctrico

Consumo eléctrico de los componentes del equipo mecatrónico						
Cant.	Componente	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	% de uso por ciclo	Consumo por ciclo (W.h)
1	Acelerómetro y giroscopio.	3.3	$4.1 \times 10^{-3}$	0.01353	40%	$5.412 \times 10^{-3}$
4	Motores paso a paso	24	2.8	268.8	20% *	53.76
2	Motores DC	12	0.3	7.2	40%	2.88
2	Cámaras de inspección	5	0.12	1.2	5% *	$6 \times 10^{-2}$
8	Electroimanes	24	1.042	200	50%	100
1	Válvula solenoide	220	0.167	36.74	40%	14.7
4	Actuadores lineales	24	1.6	153.6	50%	76.8
2	PLC	24	0.3	14.4	100%	14.4
1	Alarma	12	1.17	14.04	0.1%	$14.04 \times 10^{-3}$
1	Sensor de humedad	5	$1 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-6}$	0.01%	-
Consumo total						262.62 W.h

Los motores a paso y la cámara de inspección solo utilizan la mitad de sus equipos por ciclo, es decir en un ciclo solo se utilizan 2 motores a paso y 1 cámara de inspección. El detalle del porcentaje de consumo de los componentes dentro del equipo de limpieza para un ciclo se observa en el diagrama de la Tabla 3.13.

Tabla. 3.13 Diagrama de trabajo de los equipos en un ciclo de limpieza

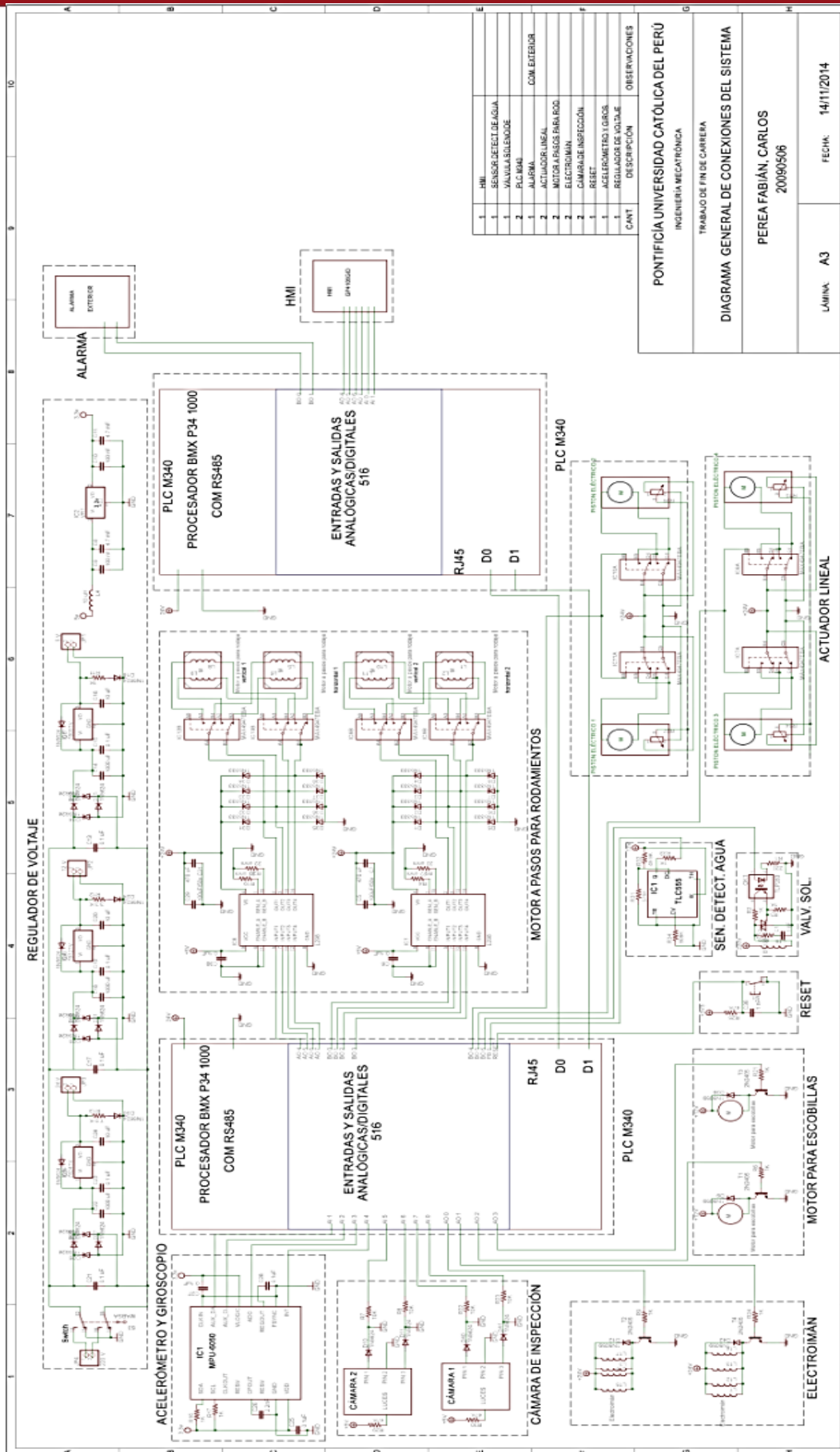
Diagrama de funcionamiento de los equipos del sistema en un ciclo de limpieza									Total	
1 ciclo de limpieza	1 ciclo de trabajo 100%								100%	
Acelerómetro y giroscopio	20%							20%	40%	
2 motores DC	20%							20%	40%	
2 motores paso a paso	20%							20%	40%	
8 electroimanes			50%							50%
1 válvula solenoide			40%							40%
4 actuadores lineales	20%						30%		50%	
PLC	100%								100%	
1 cámara							10%		10%	

El sensor de humedad y la alarma no se considera en el diagrama puesto que son utilizados muy poco en comparación con los otros componentes, el sensor de humedad solo se utiliza una vez al inicio del trabajo y la señal de alarma solo se emite cuando se termina la región de limpieza que es luego de un largo periodo.

### 3.4.2 Diagrama esquemático

El diagrama esquemático global contiene las conexiones de los sensores, actuadores, circuitos de acoplamiento, circuito regulador de voltaje para alimentar a todo el sistema y el controlador que administra el correcto funcionamiento del sistema.

La Fig. 3.39 muestra el diagrama eléctrico electrónico general, para un mejor detalle el diagrama a mayor escala se encuentra en el anexo M.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
INGENIERIA MECATRONICA

TRABAJO DE FIN DE CARRERA  
DIAGRAMA GENERAL DE CONEXIONES DEL SISTEMA

PEREA FABIAN, CARLOS  
20090506

LÁMINA A3      FECHA 14/11/2014

Fig. 3.39 Diagrama esquemático general de conexiones

1. Regulador de voltaje

El regulador de voltaje alimenta a todo el sistema con la tensión requerida por cada subsistema, convirtiendo desde 220VAC a 24VDC, 12VDC, 9VDC, 5VDC y 3.3VDC. La Fig. 3.41 muestra el diagrama de conexión del regulador de voltaje, mayor detalle en el anexo M.

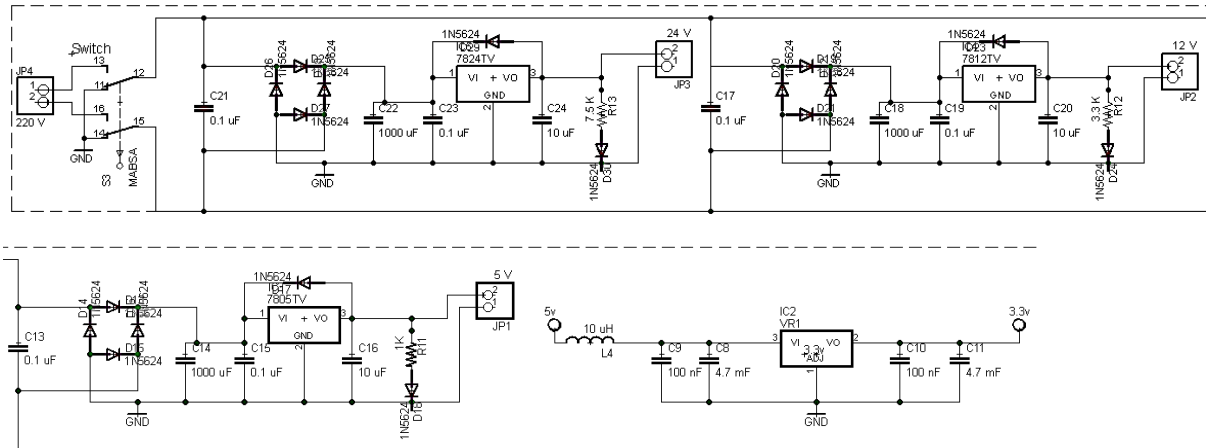


Fig. 3.40 Diagrama esquemático del regulador de voltaje

La Fig. 3.41 muestra la ubicación del circuito regulador de voltaje dentro de la caja de componentes electrónicos.

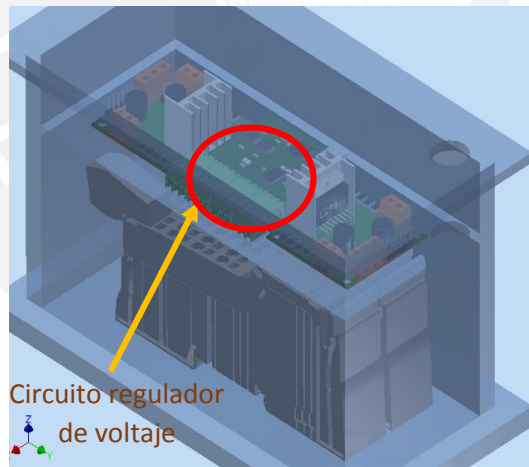


Fig. 3.41 Ubicación del circuito regulador de voltaje

2. Controlador

El controlador debe ser robusto y no perder la comunicación por las largas distancias que recorre para enviar las señales de emergencia o el reinicio del sistema cuando se acople extensiones de manguera cuando pase a una siguiente región de limpieza. La Fig. 3.42 muestra la tarjeta física del controlador, pero este a su vez cuenta con una recubierta externa.



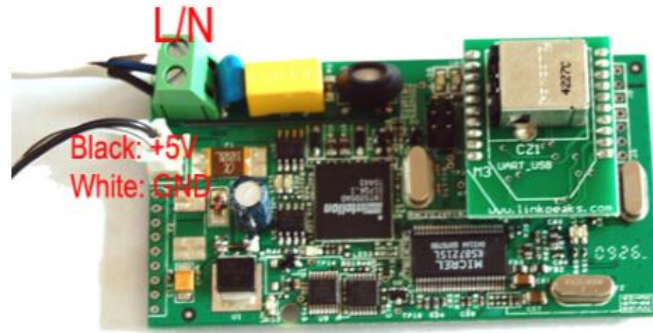


Fig. 3.42 Circuito del Controlador

La siguiente Tabla 3.13 muestra las características principales del controlador M340 con sus especificaciones y la Fig. 3.43 muestra el diagrama esquemático de conexión del controlador. El detalle completo del controlador en [25].

Tabla 3.14 Controlador Lógico Programable M340. Fuente anexo F

Características	Descripción
Modularidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 8 canales</li> <li>● 16 canales</li> <li>● 32 canales</li> <li>● 64 canales</li> </ul>
Tipo de entradas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Módulos con entradas de corriente continua (24 VCC y 48 VCC)</li> <li>● Módulos con entradas de corriente alterna (24 VCA, 48 VCA y 120 VCA)</li> </ul>
Tipo de salidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Módulos con salidas de relé</li> <li>● Módulos con salidas estáticas de corriente continua (24 VCC/0,1 A – 0,5 A - 3 A)</li> <li>● Módulos con salidas estáticas de corriente alterna (24 VCC/240 VAC/3 A)</li> </ul>
Tipo de conector	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bloque de terminales de 20 pins</li> <li>● Conectores de 40 pins que permiten la conexión a sensores y preaccionadores a través del sistema de precableado TELEFAST 2</li> </ul>



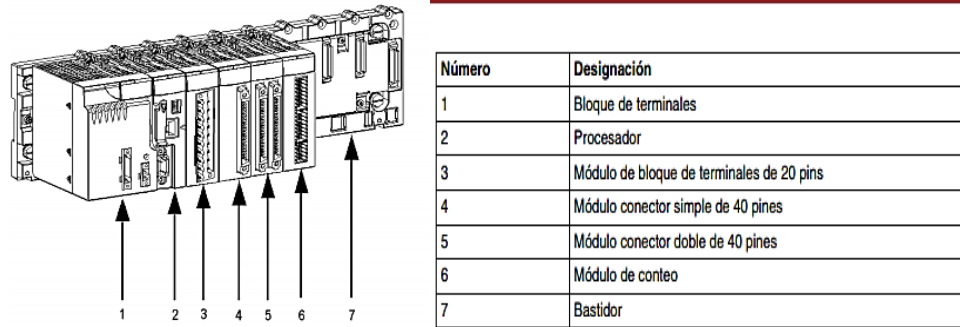


Fig. 3.43 Diagrama de conexión del PLC

La Fig. 3.44 detalla la ubicación de los controladores PLC M340 en el equipo dentro de la caja de componentes electrónicos y en el exterior al lado del HMI OP77B de Siemens [26] junto al sistema de alimentación.

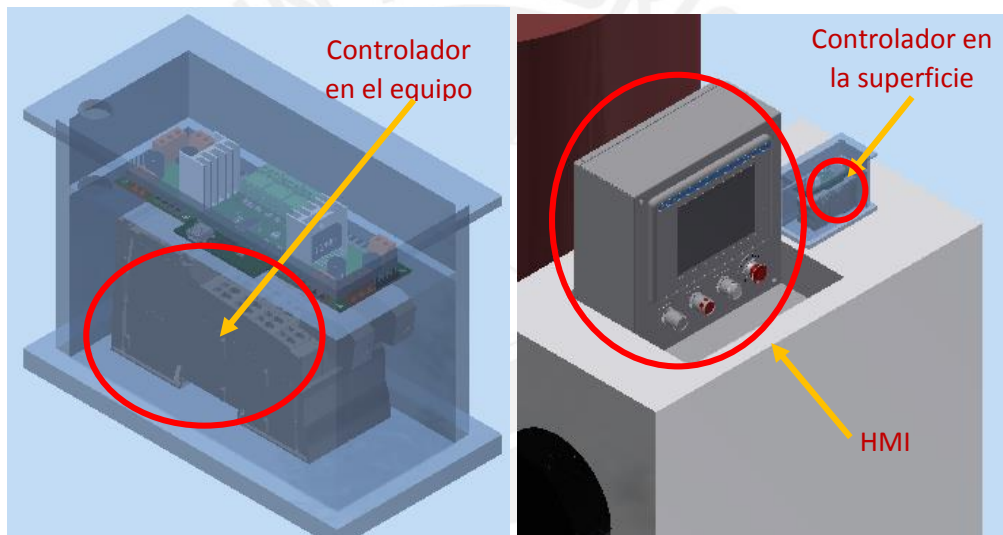


Fig. 3.44 Ubicación de los controladores

### 3. Circuito de acoplamiento de los motores a paso

Los motores a paso requieren de un circuito de acoplamiento, normalmente regulado por un L298 que amplifica la señal controlador para aportar al motor una mayor corriente y por ende un mayor torque. La Fig. 3.45 muestra el diagrama esquemático del circuito y la Fig. 3.46 detalla el circuito físico y su ubicación dentro de la caja de componentes electrónicos.

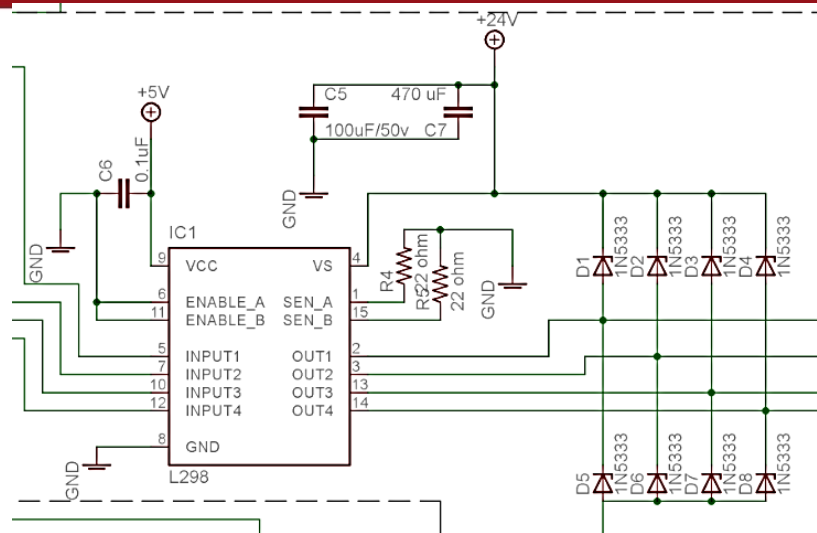


Fig. 3.45 Circuito de acoplamiento del motor a pasos

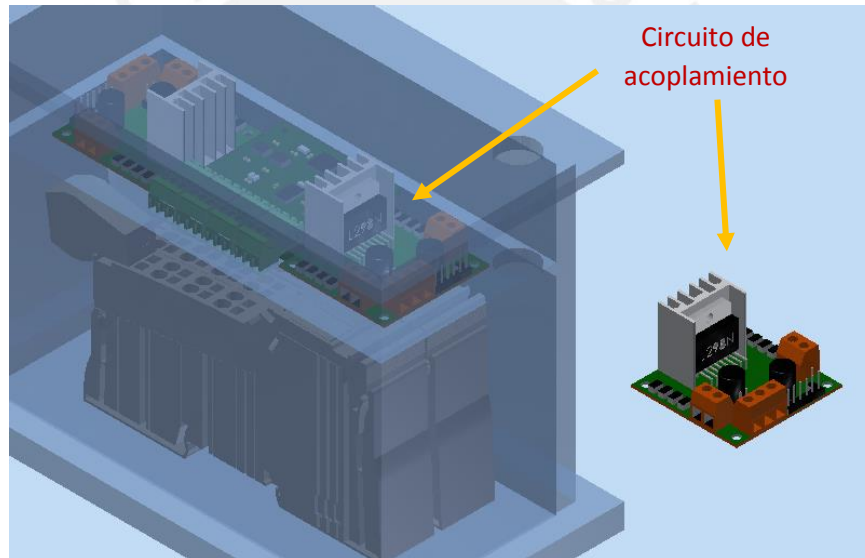


Fig. 3.46 Ubicación del circuito de acoplamiento del motor a pasos

### 3.5 Diagramas de flujo del sistema de control

#### 1. Diagrama general de control

El diagrama general de control lo componen subsistemas encargados de tareas más específicas. Así el diagrama esquemático general de la Fig. 3.47 contiene las siguientes subrutinas:

- Encender sistema
- Descender equipo
- Trasladarse horizontal izquierdo
- Limpiar

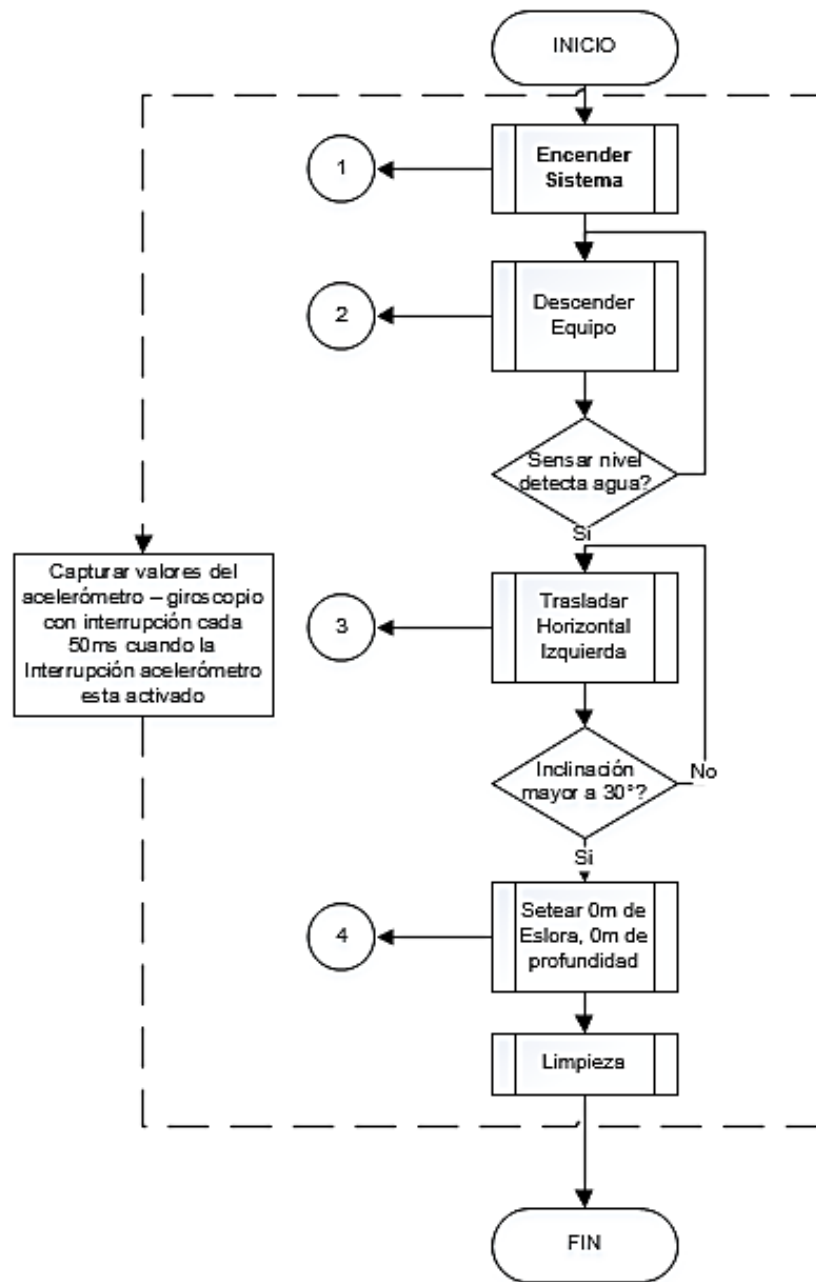


Fig. 3.47 Diagrama general de control

### 1.1 Subsistema Encender Sistema

Este subsistema es el encargado de la maniobrabilidad e interacción entre el operario y el equipo, pues el operario se encarga de posicionar el equipo y brindarle los parámetros iniciales para que empiece la limpieza por el casco.

La Fig. 3.48 muestra el diagrama del subsistema Encender sistema.

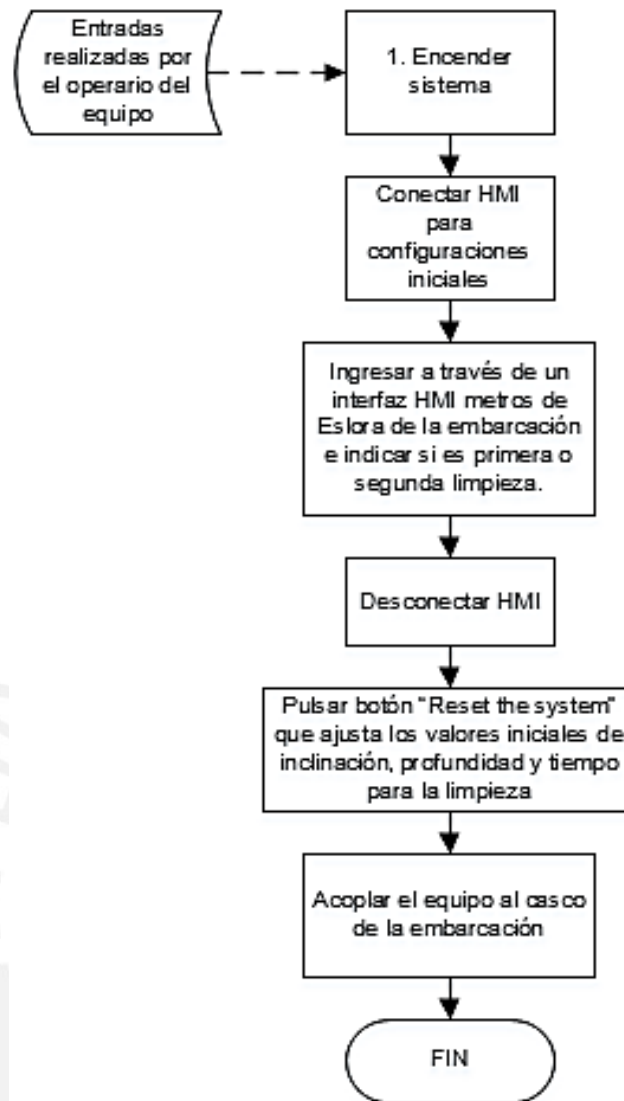


Fig. 3.48 Diagrama de control del Subsistema Encender equipo

Los diagramas completos se hallan en el Anexo N, aquí solo se detalla los subsistemas Encender equipo y Limpiar.

### 1.2 Subsistema Limpiar

Es el subsistema más importante del diagrama de control puesto que controla la tarea principal del equipo “Realizar la limpieza de la embarcación”, dicha limpieza se realiza en un bucle como lo muestra la Fig. 3.49.

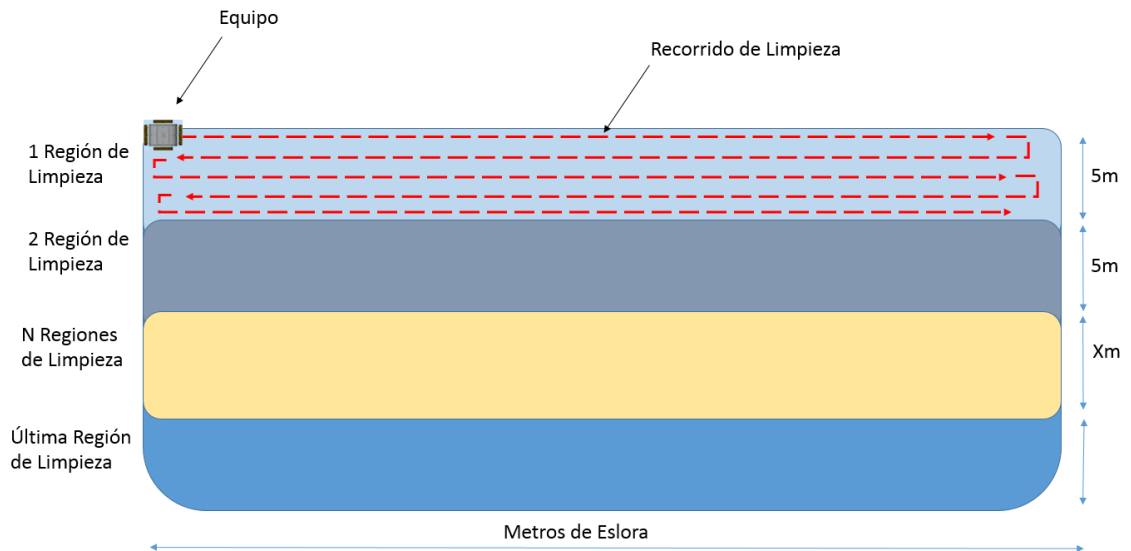


Fig. 3.49 Recorrido de limpieza

Es así que el subsistema tiene una función inicial que cuenta la región de limpieza en la que se localiza para posteriormente utilizarlo en la localización del equipo, por otro lado luego de completar la limpieza de una región envía la señal sonora y visual para que el operario acople segmentos de manguera, pues si desde un principio se acopla la longitud máxima de manguera se incurrirá en grandes pérdidas de presión del vapor para la limpieza.

Por ultimo cuando el equipo se localice en el final de la región más profunda de la embarcación se finalizará la limpieza para lo cual el equipo enviará una señal y ascenderá el equipo por el casco de la embarcación para ser desacoplado del casco. La Fig. 3.50 muestra el subsistema de limpieza.



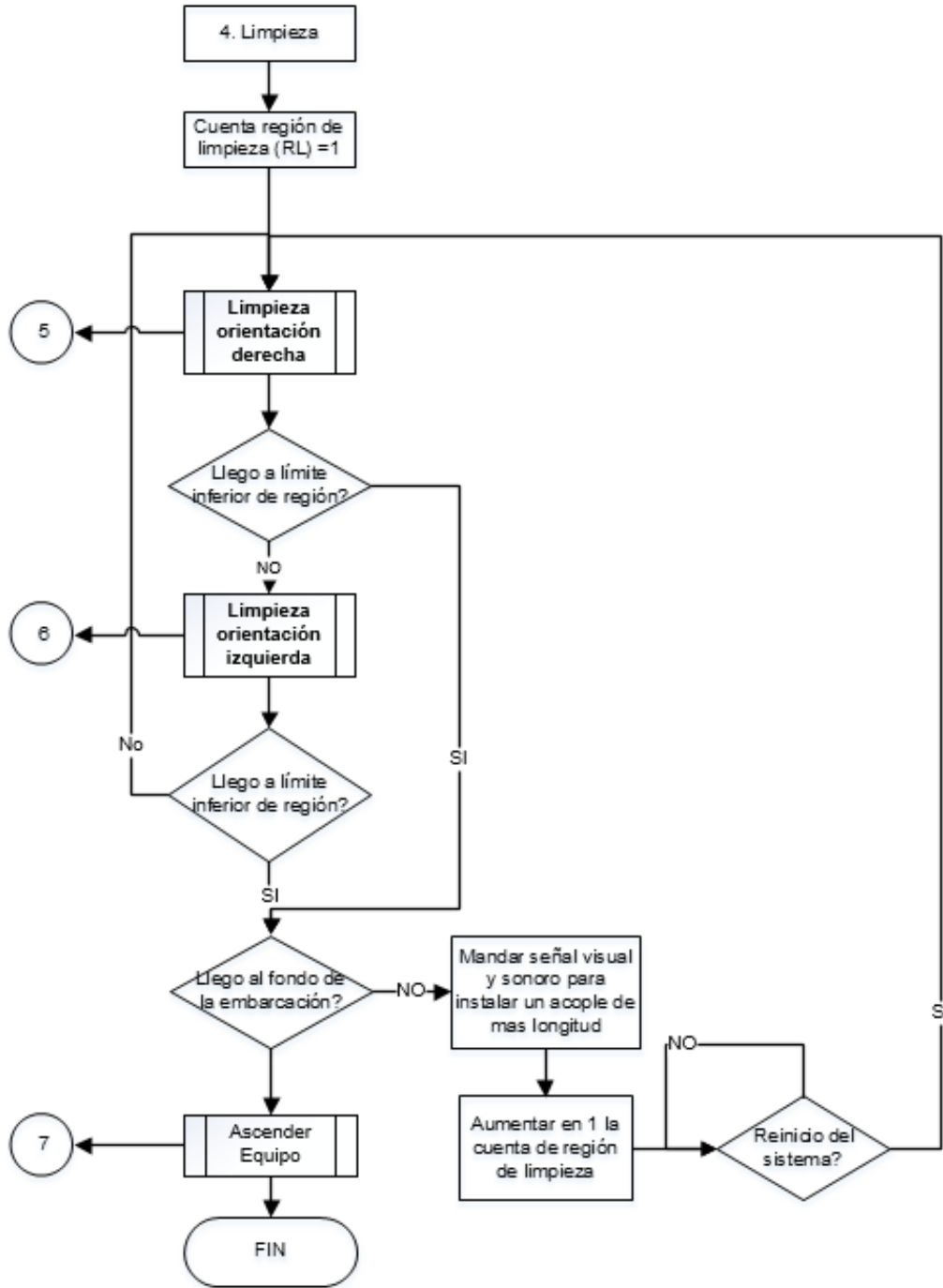


Fig. 3.50 Diagrama de control del subsistema Limpieza

# Capítulo 4

## Presupuesto

### 4.1 Productos Nacionales

La Tabla 4.1 muestra el precio de los componentes nacionales, las proformas de todos los componentes se encuentran en el anexo J

Tabla 4.1 Precio de componentes nacionales

Componentes mecánicos			
Cantidad	Ítem	Costo unitario	Costo total
4	Boquillas de aspersores	S/.10.50	S/.42.00
4	Rueda loca	S/.2.50	S/.10.00
8	Resortes a tensión	S/.3.00	S/.24.00
8 metros	Jebe 5.5 mm para hermeticidad	S/.3.00 por m	S/.24.00
6	Conector rápido	S/.35.00	S/.210.00
6	Terminal 3/8 x 1/2	S/.3.5	S/.21.00
100	Tornillo M8, M6, M10/arandela	S/.0.96	S/.96.00
4	Fajas síncronas	S/.20.00	S/.80.00
2	Soporte cámara	S/.15.00	S/.30.00
12	Eje de rodaje	S/.80.00	S/.960.00
8	Soporte pivote	S/.25.00	S/.200.00
4	Soporte rodaje	S/.129.00	S/.516.00
2	Soporte para cámara	S/.90.00	S/.180.00
8	Ganchos ajuste motor	S/.60.00	S/.480.00
12	Llantas	S/.11.95	S/.143.40
1	Domo	S/21.89	S/.21.89
1	Mecanizado base principal	S/.220.00	S/.220.00
1	Mecanizado base secundaria	S/.155.00	S/.155.00
2	Recubrimiento largo mecanizado	S/.125.00	S/.250.00
2	Recubrimiento ancho mecanizado	S/.110.00	S/.220.00
Componentes eléctricos, electrónicos			
Cantidad	Ítem	Costo unitario	Costo total
1	Acelerómetro giroscopio	S/.90.00	S/.90.00
1	Válvula solenoide "1/2"	S/.300.00	S/.300.00
1	Alarma	S/.35.00	S/.35.00
1 *	Juego de componentes y circuitos	S/.78.60	S/.78.60
Total			S/.4,386.49

El juego de componentes y circuitos es un conjunto de tarjetas, resistencias, condensadores, diodos, reguladores de voltaje y cables. El detalle se puede ver en la proforma del Anexo J.

#### 4.2 Productos Internacionales de exportación

La Tabla 4.2 muestra el precio de los componentes de exportación, las proformas de todos los componentes incluyen gasto de envío y se encuentran en el anexo J

Tabla 4.2 Precio de componentes importados

Componentes en Euros €			
Cantidad	Ítem	Costo unitario	Costo total
2	Cámara de inspección	€ 15.08	€ 30.16
8	Electroimán	€ 12.59	€ 100.72
2	Controlador PLC M340	€ 35.13	€ 70.26
1	HMI	€225.00	€225.00
1	Sensor de humedad	€ 9.90	€ 9.90
8	Bisagra	€ 3.85	€ 30.80
2	Caucho corrugable	€ 36.27	€ 72.54
10	Escobillas circulares	€ 10.47	€ 104.70
2	Caja de componentes electrónicos	€ 7.02	€ 14.04
Subtotal (€)			€ 658.12
Subtotal de € a S/. (tipo de cambio 4.03 al día 01/12/2014)			S/. 2,652.22
Componentes en Dólares Americanos \$			
Cantidad	Ítem	Costo unitario	Costo total
4	Motor paso a paso	\$36.25	\$145.00
2	Motor DC	\$56.55	\$113.10
4	Electro pistón	\$40.00	\$160.00
4	Manguera (40m)	\$45.20	\$180.80
4	Perno de elevación	\$14.07	\$56.28
4	Codo de "1/2"	\$5.07	\$20.28
3	Conexión en Y	\$7.81	\$23.43
1	Tubería de "1/2" (10m)	\$18.08	\$18.08
10	Engranaje de 100mm diámetro	\$0.65	\$6.50
Subtotal (\$)			\$723.47
Subtotal de \$ a S/. (tipo de cambio 2.94 al día 01/12/2014)			S/.2,127.00
*Todos los componentes incluyen gasto de envío e IVA			
Total			S/.4,779.22

A continuación se analizará el costo de sistema de alimentación del agente limpiador (vapor de agua) y la tensión de alimentación del sistema.

El equipo de alimentación Caldera, Turbina y alternador produce energía suficiente para alimentar a 10 equipos de limpieza paralelamente (detalle Anexo A), por eso en el análisis el coste total de los equipos se fraccionó al 10%. Así la Tabla 4.3 muestra el precio del sub sistema de alimentación del equipo de limpieza y la Tabla 4.4 muestra el costo total de implementación del sistema de limpieza.

Tabla 4.3 Precio del subsistema de alimentación del equipo

Cantidad	Componente	Precio	Tasa de cambio	Precio en soles
1	Caldera a combustión	\$500.00	2.94	S/. 1,470.00
1	Generador a vapor	\$5,499.99	2.94	S/. 16,169.97
1	Alternador	€ 598.96	4.03	S/. 2,413.81
Precio total del sistema de alimentación al 100% (10 equipos)				S/. 20,053.78
Precio total del sistema de alimentación al 10% (1 equipo)				S/. 2,005.38

Tabla 4.4 Costo total del equipo de limpieza

Componentes Nacionales	S/. 4,386.49
Componentes Importados	S/. 4,779.22
Sistema de alimentación	S/. 2,005.38
Costo total en S/.	S/. 10,264.34
Costo total en \$ (tipo cambio 2.94)	\$ 3,491.27

Sumando todos los gastos que incurren en la limpieza, alcanzan un costo mensual de S/. 3,005.75 (El detalle de los gastos se encuentra en el Anexo I)

Entonces queda evidenciado las ventajas que refleja el equipo de limpieza en relación a un costo normal de servicio de limpieza.

La Tabla 5.5 muestra la diferencia en precio entre la limpieza tradicional y el nuevo sistema de limpieza automático.

Tabla 4.5 Comparación económica entre sistemas de limpieza

Característica	Servicio de limpieza tradicional	Limpieza con el equipo automático de limpieza
Costo	S/. 13,782.60	S/ 3,005.75
Tiempo	20 horas	13 horas

Finalmente la diferencia en el costo es de S/. 10776.85 y ya que la limpieza se realiza cada 2 meses aproximadamente, luego de la segunda limpieza se recupera la inversión para la implementación del sistema.

# Capítulo 5

## Conclusiones

1. El sistema propuesto cumple con los requerimientos mecánicos (flexibilidad y tamaño), eléctricos (alimentación de potencia independiente) para la limpieza del casco de la embarcación y permite evidenciar las ventajas comparativas entre el diseño propuesto y el servicio de limpieza tradicional tanto en operatividad, costo, seguridad y eficiencia.
2. La geometría del equipo dificulta la limpieza de los extremos de la embarcación, pues la proa y la popa cuenta con superficies de áreas agudas. Sin embargo las áreas críticas de limpieza son babor y estribor pues son las regiones que producen mayor consumo de combustible cuando se encuentran contaminadas [5].
3. La implementación del equipo de limpieza asciende a un costo mensual de S/ 3,005.75 y el tiempo de trabajo es de 13 horas. Además el equipo puede trabajar con la embarcación en funcionamiento.



# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Carles Tonisastre (2007) "Estudio Técnico Económico del Slow Steaming como Medida de Reducción Inmediata de las Emisiones Contaminantes de un Buque Mercante". [Online] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/18039/1/.pdf>
- [2] Lappa (May 6-10, 2013) "A new type of robot for underwater non-magnetic and complex hull cleaning". D. Souto, A. Faifia, F. Lopez-Pefia, Member, IEEE and R. J. Duro, Senior Member, IEEE. International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Karlsruhe, Germany.
- [3] Hull Surface Treatment (HST)(2012) "A Truly Remarkable Anti-Fouling Technology". [Online] <http://www.tcmarine.com.au/HST>
- [4] A34419 (1997) "Normas de Seguridad para el ejercicio de actividades subacuáticas". [Online] <http://www.boe.es/boe/dias/1997/11/22/pdfs/A34419-34456.pdf>
- [5] Kenzei Ishizu, (2009) "Ship Hull Inspection Using A Small Underwater Robot With A Mechanical Contact Mechanism", Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University Kusatsu City, Shiga
- [6] GEF-UNDP-IMO (2013) "GloBallast Partnerships Programme and WMU, Identifying and Managing Risks from Organisms Carried in Ships' Ballast Water. GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships", Londres (Reino Unido) y WMM, Malmö (Suecia). GloBallast Monograph No. 21.
- [7] Modelismo Naval (2012) [Online] <http://www.mnaustral.com/taller.php?nombre=Nomenclatura+de+las+partes+de+un+barco&tallerid=14>
- [8] BIC Humbolt-Imarpe (2011) "Desarrollo de proyectos de innovación naviera para Cruceros de Evaluación de Recursos Pelágicos, Demersales e Invertebrados". [Online] [http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id\\_seccion=1011200000000](http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=1011200000000)
- [9] Tecnologías (2014) "Eficiencia energética en generación y distribución de vapor (máquinas a combustión)". [Online] <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/vapor.pdf>
- [10] BSL Operador Logística (Octubre 2014) "Tipos de buques" [Online] [http://www.bsl.com.mx/docspdf/tipo\\_de\\_buques.pdf](http://www.bsl.com.mx/docspdf/tipo_de_buques.pdf)
- [11] Manual Acelerómetro y giroscopio MPU 6050 (Noviembre 2014) [Online] <http://www.invensense.com/mems/gyro/documents/PS-MPU-6000A-00v3.4.pdf>
- [12] Karcher (Setiembre 2014), "Deep cleaning without chemicals" [Online] [http://www.karcher.es/es/Productos/Home\\_\\_Garden/limpiadoras\\_de\\_vapor/Limpieza\\_con\\_vapor.htm](http://www.karcher.es/es/Productos/Home__Garden/limpiadoras_de_vapor/Limpieza_con_vapor.htm)
- [13] Bandolberica (2014) "Instalación de correas de transmisión para rodamientos" [Online] <http://es.slideshare.net/Bandolberica/catlogo-bando-en-castellano>
- [14] Polygal (Setiembre 2014) "Propiedades del Policarbonato" [Online] <http://www.polygalsud.cl/documentacion/POLYGAL%20Manual%20de%20Especificaciones%20tecnicas.pdf>

- [15] IEC 60529 (2001). "Technical application guide IP codes in accordance" [Online] <http://www.osram.com/media/resource/hires/342330/technical-application-guide---ip-codes-in-accordance-with-iec-60529-gb.pdf>
- [16] Harry Brearley (1948) "Propiedades físicas de Acero inoxidable" [Online] <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3319/4/55868-4.pdf>
- [17] Kruger (2013) "Limpieza Industrial con vapor de agua" [Online] <http://www.kruger.es/productos-3/generadores-vapor/3-productos/generadores-vapor.html>
- [18] Dresser (2012) Características del generador a vapor [Online] <http://www.dresser-rand.com/products/steam/singlestage/RLHA.php>
- [19] Características de la caldera generadora de vapor (Noviembre 2014) [Online] <http://spanish.alibaba.com/product-gs/oil-fired-steam-generators-wholesale-266145269.html>
- [20] Servicios (2014) "Limpieza de cascos de embarcaciones" [Online] <http://www.milanuncios.com/anuncios/limpieza-casco-barco.htm?pagina=2>
- [21] Envirotech (Noviembre 2014) "Consumo de combustible en Calderas convencionales" [Online] <http://www.envirotech-la.com/sites/default/files/RFolletoVitalizer.pdf>
- [22] INDEXMUNDI (Noviembre 2014) "Combustible Diésel, índice de precio mensual" [Online] <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=diesel&moneda=pen>
- [23] Vila García (2014) "Costo de mantenimiento de equipos marinos" [Online] <http://www.marinavilagarcia.com/tarifas.htm>
- [24] PRODUCT GS (2014) "Válvula solenoide" [Online] <http://spanish.alibaba.com/product-gs/2w-160-15-electric-solenoid-valve-668446790.html>
- [25] SCHNEIDER (2012) "PLC M340" [Online] [http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER\\_ELECTRIC/content/live/FAQS/28000/FA28444/es\\_ES/Unity\\_v4.1\\_M340\\_Procesadores\\_Bastidores\\_y\\_Fuentes\\_de\\_Alimentacion.pdf](http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/28000/FA28444/es_ES/Unity_v4.1_M340_Procesadores_Bastidores_y_Fuentes_de_Alimentacion.pdf)
- [26] Siemens (2013) "Simatic HMI OP77B" [Online] [http://cache.automation.siemens.com/dnl/TQ/TQyMzc1MTcA\\_21084916\\_HB/ba\\_op7xx\\_en\\_en-US.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/TQ/TQyMzc1MTcA_21084916_HB/ba_op7xx_en_en-US.pdf)
- [27] SHIGLEY, J. (1997) "Análisis cinemático de mecanismos" Segunda Edición. Editorial McGraw Hill
- [28] PAUL LEAN SIFUENTE (2011) "Introducción a la Ingeniería de Materiales". PUCP -Publicaciones para la docencia.