

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Carrera de Ingeniería Mecatrónica



Automatización de carro dispensador de líquido A

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con  
el grado académico de Licenciatura

Ana Jazmín Gómez Soza

Cartago, junio de 2021



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Costa Rica, 21/06/2021



---

Ana Jazmín Gómez Soza

Céd: 1 1726 0388

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN**  
**ACTA DE APROBACIÓN**

El profesor asesor del presente trabajo final de graduación, indica que el documento presentado por el estudiante cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica para ser defendido ante el jurado evaluador, como requisito final para aprobar el curso Proyecto Final de Graduación y optar así por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica, con el grado académico de Licenciatura.

Estudiante: Ana Jazmín Gómez Soza

Proyecto: Automatización de carro dispensador de líquido A.

**PAULA ELENA  
MONGE  
CHANTO  
(FIRMA)**

Firmado digitalmente  
por PAULA ELENA  
MONGE CHANTO  
(FIRMA)  
Fecha: 2021.06.14  
20:32:27 -06'00'

---

Ing. Paula Monge Chanto

Asesor

Cartago, 21 de junio 2021

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN**  
**ACTA DE APROBACIÓN**

Proyecto final de graduación defendido ante el presente jurado evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, según lo establecido por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Ana Jazmín Gómez Soza

Proyecto: Automatización de carro dispensador de líquido A.

Miembros del jurado evaluador

**JUAN LUIS CRESPO MARIÑO (FIRMA)** Firmado digitalmente por JUAN LUIS CRESPO MARIÑO (FIRMA)  
Fecha: 2021.06.21 17:13:52 -06'00'

**JAIME ALONSO MORA MELENDEZ (FIRMA)** Digitally signed by JAIME ALONSO MORA MELENDEZ (FIRMA)  
Date: 2021.06.22 16:27:05 -06'00'

---

Dr. -Ing. Juan Luis Crespo Mariño

Jurado

---

MSc. -Ing. Jaime Mora Meléndez

Jurado

**JUAN CARLOS BRENES TORRES (FIRMA)** Firmado digitalmente por JUAN CARLOS BRENES TORRES (FIRMA)  
Fecha: 2021.06.21 18:10:39 -06'00'

---

MSc. -Ing. Juan Carlos Brenes Torres

Jurado

Los miembros de este jurado dan fe de que el presente proyecto final de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 21 de junio 2021

## **Resumen**

En el siguiente documento se describe el proceso de diseño de un carro transportador de un químico denominado líquido A y su sistema de toma y análisis de datos. La finalidad de este es facilitar el transporte y llenado de líquido A en las máquinas de testeo disminuyendo los riesgos ergonómicos y de salud que conlleva la labor de transvase de químicos previa al llenado. Se muestra el proceso de diseño de ingeniería llevado a cabo, desde el planteamiento de necesidades hasta el desarrollo final del concepto seleccionado. También es posible observar el análisis respectivo y la validación de la solución final, donde se llevaron a cabo simulaciones de esfuerzos, respuesta del sistema de control ante una entrada escalón, y simulaciones con el sistema de análisis de datos para comprobar la integridad de la información recolectada. A partir de la validación se concluye que sistema permite un flujo máximo de 1240 ml/min y permite que se dispensen 3.79 litros en aproximadamente 3 minutos y 6 segundos. Además, es seguro utilizarlo ya que tiene un factor de seguridad de 6.7 y se necesitan 212.78 N de fuerza para iniciar el movimiento.

Palabras clave: Análisis de datos, diseño mecánico, ergonomía, carro industrial, PID

## **Abstract**

The following document describes the design process of an industrial cart for a chemical called liquid A and its data collection and analysis system. The purpose of this is to facilitate the transport and filling of liquid A in the testing machines, reducing the ergonomic and health risks involved in the work of transferring chemicals prior to filling. The engineering design process carried out is shown, from the needs statement to the final development of the selected concept. It is also possible to observe the respective analysis and validation of the final solution, where stress simulations, response of the control system to a step input, and simulations with the data analysis system were carried out to verify the integrity of the information. collected. From the validation it is concluded that the system allows a maximum flow of 1240 ml / min and allows 3.79 liters to be dispensed in approximately 3 minutes and 6 seconds. Furthermore, it is safe to use as it has a factor of safety of 6.7 and requires 212.78 N of force to initiate movement.

Keywords: Data analysis, mechanical design, ergonomics, industrial cart, PID

## **Dedicatoria**

*A mis padres y hermano por apoyarme y acompañarme durante toda esta etapa.*

## **Agradecimientos**

*A la profesora Paula Monge Chanto, por haberme guiado y apoyado durante la realización del proyecto.*

*A mi novio y mis amigos por motivarme en los momentos difíciles.*

*A todos los profesores que han sido parte de mi educación universitaria por haberme hecho crecer y aprender tanto.*

## Lista de contenidos

Lista de figuras.....	v
Lista de tablas .....	viii
Lista de abreviaciones.....	xii
Capítulo 1 Introducción .....	1
1.1. Contexto .....	1
1.2. Descripción del problema.....	2
1.3. Síntesis del problema .....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.5 Estructura del documento.....	4
Capítulo 2 Marco teórico .....	6
2.1 Manejo de químicos .....	6
2.1.1 Regulaciones de uso de productos químicos en Costa Rica.....	6
2.1.2 Buenas prácticas .....	6
2.1.3 Transvase de líquidos .....	7
2.2 Líquido A .....	8
2.2.1 Sistema de identificación de riesgos (HMIS).....	8
2.2.2 Características del líquido A.....	9
2.3 Consideraciones de cuarto limpio .....	9
2.3.1 Materiales .....	9
2.3.2 Métodos de sujeción .....	10
2.4 Ergonomía .....	10
2.4.1 Manejo manual de cargas .....	10
2.4.2 Carritos, herramientas o material manipulado.....	11
2.5 Tipos de bombas.....	16
2.6 Automatización .....	19

2.7 Baterías recargables AGM Acido Plomo .....	19
2.8 Esfuerzos máximos de Von Mises: .....	20
2.8.1 Factor de Seguridad .....	21
Capítulo 3 Metodología .....	22
3.1 Metodología .....	22
Fase 0: Planeación .....	22
Fase 1: Desarrollo del concepto.....	22
Fase 2: Diseño en nivel de sistema.....	23
Fase 3: Diseño de detalle .....	23
Fase 4: Pruebas y refinamientos .....	23
3.2 Fuentes de información .....	23
3.3 Planeación .....	24
3.3.1 Mercado .....	24
3.3.2 Tipos de tecnologías .....	24
3.3.3 Presupuesto.....	25
3.3.4 Marco de tiempo.....	25
3.4 Desarrollo del concepto.....	25
3.4.1 Necesidades .....	25
3.4.2 Estudio previo.....	29
3.4.3 Especificaciones .....	30
3.4.4 Descomposición funcional .....	36
3.4.5 Exploración sistemática.....	37
3.4.6 Combinación de conceptos.....	46
4.2.7 Estudio de selección de conceptos.....	56
Capítulo 4 Propuesta de diseño.....	59
4.1 Desarrollo en el nivel de sistema.....	59
4.1.1 Arquitectura de producto .....	59

4.2 Diseño de detalle .....	60
4.2.1 Chasis y mecanismo de movimiento .....	60
4.2.2 Mecanismo de llenado .....	63
4.2.3 Interfaz de usuario y control remoto.....	65
4.2.4 Sistema de control .....	70
4.2.5 Almacenamiento y análisis de datos.....	72
4.2.6 Batería.....	77
4.3 Pruebas de funcionamiento .....	80
Capítulo 5 Resultados y análisis .....	82
5.1 Sistema estructural .....	82
5.2 Ergonomía .....	84
5.3 Sistema eléctrico .....	85
5.4 Sistema de control .....	86
5.5 Sistema de almacenamiento y análisis de datos .....	88
5.6 Análisis económico .....	90
Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones .....	94
6.1 Conclusiones .....	94
6.2 Recomendaciones.....	94
Capítulo 7 Referencias bibliográficas .....	95
Capítulo 8 Apéndices.....	103
Apéndice 1: Planos.....	103
Apéndice 2: Modelo del sistema de control .....	128
Apéndice 3: Controlador PID.....	132
Apéndice 4: Conexión del circuito eléctrico .....	134
Capítulo 9 Anéxos.....	136
Anexo 1: Hoja de datos del líquido A.....	136
Anexo 2: Programa de control para Arduino Mega .....	139

Anexo 3: Programa de almacenamiento de datos en Python .....	149
Anexo 4: Resultados de pruebas de análisis de datos .....	150
Anexo 5: Análisis de riesgos de trabajo .....	168

## Lista de figuras

<b>Figura 1. 1</b> Tipos de tanque de máquinas para LTIM. Fuente: Elaboración propia .....	1
<b>Figura 1. 2</b> Entradas hacia el tanque LTIM. Fuente: Elaboración propia.....	2
<b>Figura 1. 3</b> Recipiente de líquido A. Fuente: Maria Mora Fallas, Intel, 2021 .....	3
<b>Figura 2. 1</b> Etiqueta HMIS [10] .....	8
<b>Figura 2. 2</b> Manijas verticales [16] .....	12
<b>Figura 2. 3</b> Configuración de llantas recomendada [16].....	13
<b>Figura 2. 4</b> Configuración de cuatro ruedas giratorias [18].....	14
<b>Figura 2. 5</b> Configuración de dos ruedas rígidas y dos ruedas giratorias [18] .....	14
<b>Figura 2. 6</b> Configuración de cuatro ruedas rígidas ubicadas en forma de diamante [18] .....	14
<b>Figura 2. 7</b> Configuración tipo vagón [18] .....	15
<b>Figura 2. 8</b> Configuración de seis ruedas [18] .....	15
<b>Figura 2. 9</b> Árbol de clasificación de tipos de bombas para desplazar líquido. Fuente: Elaboración propia .....	16
<b>Figura 2. 10</b> Bomba centrífuga [20].....	17
<b>Figura 2. 11</b> Bomba de paletas [20].....	17
<b>Figura 2. 12</b> Bomba peristáltica [20] .....	18
<b>Figura 2. 13</b> Bomba de jeringa [20] .....	18
<b>Figura 2. 14</b> Bombas de membrana [20].....	18
<b>Figura 2. 15</b> Grafica de tiempo de descarga vs corriente de descarga, a una temperatura de 25 grados Celsius. [27] .....	20
<b>Figura 3. 1</b> Proceso de diseño y desarrollo del producto [29] .....	22
<b>Figura 3. 2</b> (a) Diagrama de un carro y (b) su diagrama de cuerpo libre. Fuente: Elaboración propia .....	33
<b>Figura 3. 3</b> Diagrama de descomposición funcional. Fuente: Elaboración propia.....	37
<b>Figura 3. 4</b> Botón de número serial [56].....	45
<b>Figura 3. 5</b> Sensor óptico [59] .....	46
<b>Figura 4. 1</b> Esquema del producto. Fuente: Elaboración propia.....	59
<b>Figura 4. 2</b> Ruedas seleccionadas [63].....	62
<b>Figura 4. 3</b> Carrito dispensador de líquido A. Fuente: Elaboración propia .....	63
<b>Figura 4. 4</b> Bomba peristáltica [64] .....	64
<b>Figura 4. 5</b> Diagrama de tubería e instrumentación. Fuente: Elaboración propia .....	65
<b>Figura 4. 6</b> Diagrama de flujo de la interfaz de usuario. Fuente: Elaboración propia.....	67

<b>Figura 4. 7</b>	Menú principal. Fuente: Elaboración propia.....	68
<b>Figura 4. 8</b>	Pantalla de llenado de líquido A. Fuente: Elaboración propia.....	68
<b>Figura 4. 9</b>	Control remoto por RF. [65].....	69
<b>Figura 4. 10</b>	Botón pulsador. [66].....	69
<b>Figura 4. 11</b>	Panel de control. Fuente: Elaboración propia.....	70
<b>Figura 4. 12</b>	Controlador PID. Fuente: Elaboración propia.....	72
<b>Figura 4. 13</b>	Diagrama de flujo del proceso de transmisión de datos. Fuente: Elaboración propia.....	73
<b>Figura 4. 14</b>	Pantalla de transferencia de datos. Fuente: Elaboración propia.....	74
<b>Figura 4. 15</b>	Consumo por máquina y por día. Fuente: Elaboración propia.....	75
<b>Figura 4. 16</b>	Consumo esperado y porcentaje de consumo por máquina. Fuente: Elaboración propia.....	76
<b>Figura 4. 17</b>	Consumo dentro del límite. Fuente: Elaboración propia.....	76
<b>Figura 4. 18</b>	Circuito de desconexión. [69].....	77
<b>Figura 4. 19</b>	Boceto de la solución completa vista frontal. Fuente: Elaboración propia.....	79
<b>Figura 4. 20</b>	Boceto de la solución completa vista lateral. Fuente: Elaboración propia.....	80
<b>Figura 5. 1</b>	Sección del cajón se va a someter a fuerzas externas. Fuente: Elaboración propia.....	82
<b>Figura 5. 2</b>	Curva de descarga de una batería de 12V y 19 Ah. [71].....	85
<b>Figura 5. 3</b>	Respuesta ante el escalón unitario sin controlador. Fuente: Elaboración propia.....	87
<b>Figura 5. 4</b>	Respuesta ante un escalón con un controlador PID. Fuente: Elaboración propia.....	87
<b>Figura 5. 5</b>	Lectura del botón de paro y el pwm. Fuente: Elaboración propia.....	88
<b>Figura A2.4 1</b>	Circuito interno de un motor de corriente directa. [81].....	129
<b>Figura A2.4 2</b>	Diagrama de bloques del sistema. Elaboración propia.....	130
<b>Figura A3.4. 1</b>	Cálculo de un controlador PID parte 1. Fuente Elaboración propia.....	132
<b>Figura A3.4. 2</b>	Cálculo de un controlador PID parte 2. Fuente Elaboración propia.....	133
<b>Figura B1.2. 1</b>	Valoración HMIS del líquido A.....	136
<b>Figura B2.4. 1</b>	Programa del microcontrolador parte1. Fuente: Elaboración propia.....	139
<b>Figura B2.4. 2</b>	Programa del microcontrolador parte2. Fuente: Elaboración propia.....	140
<b>Figura B2.4. 3</b>	Programa del microcontrolador parte 3. Fuente: Elaboración propia.....	141
<b>Figura B2.4. 4</b>	Programa del microcontrolador parte 4. Fuente: Elaboración propia.....	142
<b>Figura B2.4. 5</b>	Programa del microcontrolador parte 5. Fuente: Elaboración propia.....	143
<b>Figura B2.4. 6</b>	Programa del microcontrolador parte 6. Fuente: Elaboración propia.....	144

<b>Figura B2.4. 7</b>	Programa del microcontrolador parte 7. Fuente: Elaboración propia.....	145
<b>Figura B2.4. 8</b>	Programa del microcontrolador parte 8. Fuente: Elaboración propia.....	146
<b>Figura B2.4. 9</b>	Programa del microcontrolador parte 9. Fuente: Elaboración propia.....	147
<b>Figura B2.4. 10</b>	Programa del microcontrolador parte 10. Fuente: Elaboración propia.....	148
<b>Figura B3.4. 1</b>	Programa de almacenamiento de datos. Fuente: Elaboración propia .....	149
<b>Figura B4.5. 1</b>	Resultado del análisis de datos de la prueba A. Fuente: Elaboración propia	163
<b>Figura B4.5. 2</b>	Resultado del análisis de datos de la prueba 7. Fuente: Elaboración propia	164
<b>Figura B4.5. 3</b>	Resultado del análisis de datos de la prueba 7. Fuente: Elaboración propia	165
<b>Figura B4.5. 4</b>	Resultado del análisis de datos de la prueba 7. Fuente: Elaboración propia	166
<b>Figura B4.5. 5</b>	Resultado del análisis de datos de la prueba 7. Fuente: Elaboración propia	167

## Lista de tablas

<b>Tabla 2. 1</b> Masa de referencia que puede cargar una persona según la norma ISO 11228-1:2003 [14].....	11
<b>Tabla 3. 1</b> Identificación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.....	26
<b>Tabla 3. 2</b> Identificación de necesidades. Fuente: Elaboración propia.....	28
<b>Tabla 3. 3</b> Datos de llenado de líquido A durante 2 semanas. Fuente: Elaboración propia....	29
<b>Tabla 3. 4</b> Métricas. Fuente: Elaboración propia.....	30
<b>Tabla 3. 5</b> Matriz de necesidades y especificaciones. Fuente: Elaboración propia .....	31
<b>Tabla 3. 6</b> Ejemplo de cálculo aproximado de consumo. Fuente: Elaboración propia.....	32
<b>Tabla 3. 7</b> Peso máximo para diferentes coeficientes de fricción con llantas de 101.6 mm de radio para una fuerza de empuje de 220N. Fuente: Elaboración propia.....	34
<b>Tabla 3. 8</b> Valores objetivo y marginales. Fuente: Elaboración propia.....	36
<b>Tabla 3. 9</b> Fuentes de energía [40].....	38
<b>Tabla 3. 10</b> Tipos de almacenamiento de energía. Fuente: Elaboración propia .....	39
<b>Tabla 3. 11</b> Características de distintos tipos de batería. Fuente: Elaboración propia.....	41
<b>Tabla 3. 12</b> Características de distintos materiales [49].....	42
<b>Tabla 3. 13</b> Tecnologías inalámbricas. Fuente: Elaboración propia .....	44
<b>Tabla 3. 14</b> Primera etapa de la generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.....	46
<b>Tabla 3. 15</b> Primera etapa del filtrado de conceptos. Fuente: Elaboración propia .....	49
<b>Tabla 3. 16</b> Segunda etapa de la generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia.....	49
<b>Tabla 3. 17</b> Primera etapa del filtrado de conceptos. Fuente: Elaboración propia .....	51
<b>Tabla 3. 18</b> Filtrado de conceptos de movimiento, ubicación y tipo de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia .....	57
<b>Tabla 3. 19</b> Evaluación de conceptos. Fuente: Elaboración propia .....	58
<b>Tabla 4. 1</b> Lista de partes del chasis. Fuente: Elaboración propia .....	61
<b>Tabla 4. 2</b> Dimensiones relevantes relacionadas a factores ergonómicos. Fuente: Elaboración propia .....	63
<b>Tabla 4. 3</b> Partes del mecanismo de llenado. Fuente: Elaboración propia.....	64
<b>Tabla 4. 4</b> Componentes de la interfaz de usuario. Fuente: Elaboración propia.....	66
<b>Tabla 4. 5</b> Componentes del sistema de control. Fuente: Elaboración propia .....	71
<b>Tabla 4. 6</b> Componentes necesario para la alimentación del sistema. Fuente: Elaboración propia .....	77

<b>Tabla 4. 7</b> Porcentaje de carga de una batería de 12 V para ser utilizada en un vehículo. [70]	78
<b>Tabla 5. 1</b> Fuerzas aplicadas. Fuente: Elaboración propia.....	83
<b>Tabla 5. 2</b> Detalles de factor de seguridad. Fuente: Elaboración propia .....	84
<b>Tabla 5. 3</b> Masa de las partes del sistema. Fuente: Elaboración propia.....	84
<b>Tabla 5. 4</b> Consumo energético de los elementos del circuito. Fuente: Elaboración propia ..	86
<b>Tabla 5. 5</b> Pruebas de almacenamiento de datos. Fuente: Elaboración propia .....	89
<b>Tabla 5. 6</b> Pruebas de repetibilidad. Fuente: Elaboración propia .....	89
<b>Tabla 5. 7</b> Pruebas de variabilidad. Fuente: Elaboración propia .....	90
<b>Tabla 5. 8</b> Costos del proyecto. Fuente: Elaboración propia .....	91
<b>Tabla 5. 9</b> Cálculo de los costos y beneficios totales del proyecto. Fuente: Elaboración propia .....	93
<b>Tabla 5. 10</b> Resumen del análisis económico del sistema. Fuente: Elaboración propia.....	93
<b>Tabla A2.4. 1</b> Constantes del sistema. Elaboración propia.....	131
<b>Tabla B4.5. 1</b> Datos para prueba 1. Fuente: Elaboración propia .....	150
<b>Tabla B4.5. 2</b> Impresión del programa al ejecutar la prueba 1. Fuente: Elaboración propia	150
<b>Tabla B4.5. 3</b> Datos almacenados por el código de Python en la prueba 1. Fuente: Elaboración propia .....	150
<b>Tabla B4.5. 4</b> Datos subidos en la prueba 1 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia .....	150
<b>Tabla B4.5. 5</b> Resultado del análisis de datos de la prueba 1. Fuente: Elaboración propia..	151
<b>Tabla B4.5. 6</b> Datos para prueba 2. Fuente: Elaboración propia .....	151
<b>Tabla B4.5. 7</b> Impresión del programa al ejecutar la prueba 2. Fuente: Elaboración propia	152
<b>Tabla B4.5. 8</b> Datos almacenados por el código de Python en la prueba 2. Fuente: Elaboración propia .....	152
<b>Tabla B4.5. 9</b> Datos subidos en la prueba 2 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia .....	153
<b>Tabla B4.5. 10</b> Resultado del análisis de datos de la prueba 2. Fuente: Elaboración propia	153
<b>Tabla B4.5. 11</b> Datos para prueba 3. Fuente: Elaboración propia .....	153
<b>Tabla B4.5. 12</b> Impresión del programa al ejecutar la prueba 3. Fuente: Elaboración propia .....	154
<b>Tabla B4.5. 13</b> Datos almacenados por el código de Python en la prueba 3. Fuente: Elaboración propia .....	154

<b>Tabla B4.5. 14</b> Datos subidos en la prueba 3 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia .....	155
<b>Tabla B4.5. 15</b> Resultado del análisis de datos de la prueba 3. Fuente: Elaboración propia	155
<b>Tabla B4.5. 16</b> Datos para prueba 4. Fuente: Elaboración propia .....	156
<b>Tabla B4.5. 17</b> Impresión del programa al ejecutar la prueba 4. Fuente: Elaboración propia .....	156
<b>Tabla B4.5. 18</b> Datos almacenados por el código de Python en la prueba 4. Fuente: Elaboración propia .....	156
<b>Tabla B4.5. 19</b> Datos subidos en la prueba 4 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia .....	156
<b>Tabla B4.5. 20</b> Resultado del análisis de datos de la prueba 5. Fuente: Elaboración propia	157
<b>Tabla B4.5. 21</b> Datos para prueba 5. Fuente: Elaboración propia .....	158
<b>Tabla B4.5. 22</b> Impresión del programa al ejecutar la prueba 5. Fuente: Elaboración propia .....	158
<b>Tabla B4.5. 23</b> Datos almacenados por el código de Python en la prueba 5. Fuente: Elaboración propia .....	158
<b>Tabla B4.5. 24</b> Datos subidos en la prueba 5 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia .....	158
<b>Tabla B4.5. 25</b> Resultado del análisis de datos de la prueba 5. Fuente: Elaboración propia	159
<b>Tabla B4.5. 26</b> Datos para prueba 6. Fuente: Elaboración propia .....	159
<b>Tabla B4.5. 27</b> Impresión del programa al ejecutar la prueba 6. Fuente: Elaboración propia .....	159
<b>Tabla B4.5. 28</b> Datos almacenados por el código de Python en la prueba 6. Fuente: Elaboración propia .....	160
<b>Tabla B4.5. 29</b> Datos subidos en la prueba 6 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia .....	160
<b>Tabla B4.5. 30</b> Resultado del análisis de datos de la prueba 6. Fuente: Elaboración propia	160
<b>Tabla B4.5. 31</b> Datos para prueba 7. Fuente: Elaboración propia .....	161
<b>Tabla B4.5. 32</b> Impresión del programa al ejecutar la prueba 7. Fuente: Elaboración propia .....	161
<b>Tabla B4.5. 33</b> Datos almacenados por el código de Python en la prueba 7. Fuente: Elaboración propia .....	161
<b>Tabla B4.5. 34</b> Datos subidos en la prueba 7 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia .....	162

<b>Tabla B4.5. 35</b>	Resultado del análisis de datos de la prueba 7. Fuente: Elaboración propia	162
<b>Tabla B4.5. 36</b>	Datos subidos en la prueba A. Fuente: Elaboración propia .....	163
<b>Tabla B4.5. 37</b>	Datos subidos en la prueba B. Fuente: Elaboración propia.....	164
<b>Tabla B4.5. 38</b>	Datos subidos en la prueba A. Fuente: Elaboración propia .....	165
<b>Tabla B4.5. 39</b>	Datos subidos en la prueba A. Fuente: Elaboración propia .....	166
<b>Tabla B4.5. 40</b>	Datos subidos en la prueba A. Fuente: Elaboración propia .....	167

## **Lista de abreviaciones**

HMIS: Hazardous Materials Identification System (Sistema de identificación de riesgos)

OSHA: Occupational Safety and Health Administration's (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional)

NPCA: National Paint & Coatings Association

SCIJ: Sistema Costarricense de Información Jurídica

SGA: Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos

CCSS: Caja Costarricense del Seguro Social

RF: Radio Frecuencia

QR: Quick response (respuesta rápida)

LOTO: Locked out for safety (bloqueo por seguridad)

PWM: Pulse width modulation (modulación por ancho de pulsos)

IoT: Internet de las cosas

# Capítulo 1 Introducción

## 1.1. Contexto

Intel es una empresa transnacional con presencia en Costa Rica desde 1997, la presencia de la empresa en el país ha traído amplios beneficios, uno de ellos es la inversión directa de empresas extranjeras [1]. A partir del 2014 las instalaciones albergan un centro de investigación y desarrollo con laboratorios especializados para realizar pruebas de distintos productos, luego de que la fábrica de manufactura cerrara. Lugar donde principalmente se realizan pruebas de calidad en los productos, antes de pasar a producción a gran escala [2]. En el año 2020 se reabrió la planta de manufactura de procesadores ampliando considerablemente las labores que se realizan en el país [3].

En uno de los laboratorios se realizan pruebas de manipulación de la temperatura de los microprocesadores como parte de la validación del funcionamiento de los productos, en la misma es necesario el uso de un químico que por razones de confidencialidad llamaremos líquido A. Este tipo de pruebas son de vital importancia en el desarrollo de nuevos productos ya que disminuye la cantidad necesaria una vez se tiene el producto en las etapas finales lo que permite detectar defectos y eliminarlos.

El líquido A es introducido por un técnico en los tanques de las máquinas cada vez que se activa una alarma que indica que es necesario, en el laboratorio son diecinueve en total, pero hay otros tipos de máquinas que también lo utilizan. La Figura 1. 1 muestra los distintos tipos de tanques que hay en el laboratorio, estos se recargan al abrir la tapa negra y verter el líquido por ahí. Es importante resaltar que la altura y posición de los tanques dificultan el llenado si se necesita manejar un recipiente de gran tamaño y/o peso.



**Figura 1. 1** Tipos de tanque de máquinas para LTIM. Fuente: Elaboración propia

El llenado se hace con un contenedor de un galón de líquido A y no se llevan registros precisos de uso por máquina o en general. La falta de información confiable no permite un

monitoreo adecuado del consumo, lo único que tienen es una lista de las alarmas que notifican las máquinas cada que se activa el sensor del tanque que indica que está vacío, cada semana se sobrescribe dicho registro.

Recientemente se cambió la presentación del contenedor por uno de cinco galones (26x25x37 cm) lo que dificulta el proceso, ya que es muy pesado para ser manipulado por un solo técnico, aproximadamente 17 kilogramos. Con el fin de solucionar el problema temporalmente se estableció un protocolo ergonómico de llenado de recipientes de un galón a partir del recipiente nuevo para el cual se requieren al menos dos personas. Además, en [4] indican que el transvase de sustancias peligrosas es el que causa mayor cantidad de accidentes relacionados al manejo de estos ya que pueden causar: proyecciones, salpicaduras, contactos dérmicos, intoxicaciones y quemaduras por incendios.

Cerca de cada máquina hay dos entradas como se muestra en la Figura 1. 2, de las cuales la principal, lado izquierdo de la Figura 1. 2, puede estar bloqueada con un carro cuando el volumen de pruebas es alto. Esto disminuye el acceso dejando libre únicamente la entrada secundaria, Figura 1. 2 a la derecha, y limita el ancho del espacio de acceso a 700 mm.



**Figura 1. 2** Entradas hacia el tanque LTIM. Fuente: Elaboración propia

## **1.2. Descripción del problema**

En el laboratorio se tienen diecinueve máquinas a las que se les debe poner líquido A regularmente, en un tanque como los que se muestran en la Figura 1. 1 si este se agota se activa una alarma y se bloquea su funcionamiento. Los técnicos que trabajan en la planta realizan dicha labor de manera manual sin llevar registros exactos de la cantidad utilizada ni frecuencia de uso, en consecuencia, no pueden llevar el monitoreo de consumo y funcionamiento del

equipo. Adicionalmente el líquido A también es utilizado en otro tipo de máquinas y el tanque de llenado no se encuentra en una posición estándar entre todas.

En la actualidad a partir de un recipiente de cinco galones, como el que se muestra en la Figura 1. 3, se llenan contenedores pequeños de un litro entre dos personas siguiendo un procedimiento ergonómico. Como resultado, el proceso que antes realizaba una persona ahora requiere de una preparación previa con el doble de personal para poder realizar la labor sin poner en riesgo el bienestar de los trabajadores. La cantidad de tiempo y recurso humano que se está viendo involucrada se duplicó, lo que se traduce en mayor costo para la empresa.



**Figura 1. 3** Recipiente de líquido A. Fuente: Maria Mora Fallas, Intel, 2021

El análisis de datos es necesario para llevar un monitoreo adecuado de las máquinas con el fin de analizar los patrones de consumo generales y por máquina y poder notificar si hay un comportamiento anormal. El proceso actual presenta riesgos al trabajador relacionados a la ergonomía y el trasvase de químicos en el proceso de llenado de líquido A

### **1.3. Síntesis del problema**

Se requiere la elaboración de un sistema que facilite el proceso de llenado de un líquido A al tanque de las diferentes máquinas que lo utilizan y disminuya los riesgos del trabajador al realizar dicho proceso. Es necesario que permita la recolección de datos de consumo para su análisis. La solución debe ser ergonómica y segura para una persona adulta promedio sin importar su género, de manera que pueda ser utilizado por solamente una persona y no varias a la vez como en la actualidad. La solución debe estandarizar y optimizar el proceso para ser replicado en otras plantas.

## 1.4 Objetivos

### Objetivo General

Diseñar un sistema mecánico y de control para dispensar líquido A de manera controlada a distintas máquinas en una planta de trabajo.

### Objetivos Específicos

- Diagnosticar el proceso y equipo actual utilizado en el llenado de líquido A mediante la recopilación de información para el planteamiento de una propuesta de solución a partir de la aplicación del método de diseño de ingeniería.
- Diseñar un sistema mecánico para la movilización de líquido A, que cumpla con los requerimientos de ergonomía de la empresa.
- Diseñar un sistema de control para la cuantificación del suministro de líquido A regulando el flujo y el tiempo de salida, manteniendo un flujo mayor a 0.95 litros por minuto.
- Elaborar un sistema de adquisición de datos para el análisis de consumo de líquido A, a partir de la recolección y procesado de datos, que permita el monitoreo de datos de interés respecto al consumo del Líquido A.

## 1.5 Estructura del documento

A continuación, se presenta una breve explicación del contenido de cada capítulo:

- Capítulo 1 Introducción: En el presente capítulo se abarca inicialmente el contexto bajo el que se desarrolla el proyecto para permitir al lector entender posteriormente el problema. Con base, a dicha información se muestra el objetivo general y los objetivos específicos.
- Capítulo 2 Marco teórico: En el marco teórico incluye la explicación de conceptos importantes que permitan al lector entender el proyecto. Abarca las consideraciones ergonómicas y químicas relevantes a partir de normas tanto nacionales como internacionales.
- Capítulo 3 Metodología: La metodología muestra a detalle el procedimiento realizado para llegar a la solución propuesta. En esta se pueden encontrar los pasos que se siguieron basados en el método de diseño de ingeniería.
- Capítulo 4 Propuesta de diseño: En la propuesta de diseño se desarrolló a fondo la solución iniciando por la identificación de necesidades y métricas. Luego se procedió a generar distintos conceptos con el fin de encontrar la solución más adecuada al

problema. Por último, se pueden encontrar los sistemas: mecánico, de control y de análisis de datos.

- Capítulo 5 Resultados y análisis: Este capítulo contiene los resultados obtenidos del desarrollo de todos los subsistemas del proyecto en conjunto. Además, se abarca el análisis de resultados obtenido de las pruebas de funcionamiento y la viabilidad financiera.
- Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones: En este capítulo se presentan las conclusiones que se logró obtener a partir de la información presentada en todos los capítulos previos. A manera de complemento también se presentan recomendaciones relacionadas al proyecto.
- Capítulo 7 Referencias bibliográficas: Incluye las referencias bibliográficas utilizadas a lo largo de todos los capítulos previos.
- Capítulo 8 Apéndices: Se presentan los documentos producidos durante el proyecto que no se encuentran en el cuerpo del documento. Entre ellos se encuentran el modelo matemático de la bomba con respecto al flujo, los planos y resultados de simulaciones.
- Capítulo 9 Anexos: Estos incluyen los documentos importantes de fuentes externas. Así mismo, se presenta el código que va a utilizar el controlador, el programa de análisis de datos y el manual de usuario.

## **Capítulo 2 Marco teórico**

### **2.1 Manejo de químicos**

#### **2.1.1 Regulaciones de uso de productos químicos en Costa Rica**

El uso de químicos se da de manera global y conlleva riesgos para el usuario y para el medio ambiente por lo que con el fin de disminuir esos riesgos se han impuesto distintas normativas y leyes. Al acatar estas normativas se puede disminuir el riesgo de accidentes relacionados al manejo y almacenamiento de dichos materiales.

En Costa Rica el Sistema Costarricense de Información Jurídica (SCIJ) almacena los decretos oficiales emitidos por el presidente de la República y el Ministerio de Salud concernientes a el manejo de químicos, entre otros. En el decreto del Reglamento para el manejo de productos peligrosos artículo 3 [5] se indica que: “Todo aquel que almacene productos peligrosos, en cualquier etapa o lugar, debe seguir las instrucciones para el almacenamiento contenidas en las etiquetas de los productos y en las hojas de seguridad respectivas”. Esto indica que se deben acatar las instrucciones presentes en la hoja de datos de cada producto de manera obligatoria y que quien tiene potestad sobre los cuidados que se deben tener en el manejo, almacenamiento y transporte de una sustancia es el fabricante o distribuidor y no el usuario.

Según el Reglamento Técnico RTCR 478:2015 [6] que se basa en el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) las hojas de datos o fichas técnicas de los productos deben contener las características físicas, químicas y biológicas indicadas por SGA. Este indica que un producto puede ser considerado no peligroso únicamente si no representa peligro físico, para la salud o para el medio ambiente.

#### **2.1.2 Buenas prácticas**

A pesar de que los lineamientos de almacenamiento y manejo de materiales siempre se deben indicar en la hoja de datos siempre es importante seguir buenas prácticas de almacenamiento seguro. En [7] se mencionan las siguientes prácticas que son indispensables en un lugar que se almacenan productos peligrosos:

1. Mantener únicamente lo que sea estrictamente necesario.
2. Almacenar las sustancias por separado y clasificadas por sus riesgos. Se debe tomar en cuenta la incompatibilidad química que se puede dar entre sustancias.

3. Elegir el material de almacenamiento adecuado para las características de la sustancia almacenada.
4. No dejar recipientes abiertos ya que pueden causar vapores o vertido accidental.
5. Utilizar un cubeto de retención para proteger el medio ambiente en caso de derrame.
6. El lugar debe ser ventilado.
7. Evitar trabajar cerca de productos químicos.
8. Debe contarse con elementos de protección y dispositivos de atención primaria ante contaminación del cuerpo.
9. Los trabajadores deben estar informados de los riesgos que representan los productos con los que trabajan.

Los tanques o cubetos de retención que evitan el derrame deben ser resistente a la sustancia que podría contener. En consecuencia, los materiales que se pueden utilizar [8] varían según el tipo de químico almacenado de la siguiente manera:

- Acero lacado o galvanizado: Se utiliza en sustancias contaminantes no agresivas o líquidos inflamables.
- Plástico polietileno: Útil para almacenar sustancias corrosivas.
- Acero inoxidable: Se utiliza en materiales muy corrosivos o corrosivos e inflamables.

Estos sistemas deben ser capaces de retener el volumen del mayor recipiente o del diez por ciento del volumen de todos los recipientes, el que sea mayor [8].

### **2.1.3 Transvase de líquidos**

Entre las actividades que se realizan al manipular productos químicos se encuentra el transvase que consiste en movilizar un líquido usualmente de un recipiente de mayor tamaño a uno de menor tamaño. Para realizar dicha labor de manera segura se debe tomar en cuenta distintos factores [9] relacionados a los envases:

- Evitar el sobrellenado ya que se puede facilitar un derrame.
- En la manutención de los envases estos deben ser limpiados adecuadamente antes de ser reutilizados. Los envases como botellas con capacidad de un litro suelen ser desechados luego de ser utilizados.
- Con el tiempo los envases plásticos se envejecen de manera irreversible y dejan de estar en condiciones óptimas para satisfacer las funciones para las que han sido fabricados ya que pueden fisurarse o romperse con facilidad.
- Deben tener sistemas de sujeción acordes a su capacidad y tamaño.

- Evitar el trasvase manual para envases con capacidad mayor de 1.5 litros.

## 2.2 Líquido A

### 2.2.1 Sistema de identificación de riesgos (HMIS)

Los sistemas de identificación de riesgos se utilizan para identificar los peligros que puede tener un químico determinado. En consecuencia, es necesario que cuando un químico es peligroso tenga alguno de estos sistemas como identificador para advertir al usuario. Según [10] este fue desarrollado para ayudar a cumplir los requerimientos de comunicación de peligros de la Occupational Safety and Health Administration's (OSHA) y es una marca registrada del National Paint & Coatings Association (NPCA).

En la Figura 2. 1 se muestra como se ve una etiqueta HMIS en donde los colores indican el tipo de peligro que pueden presentar. El azul se relaciona a los peligros de salud, el rojo a los de incendio, el naranja a los riesgos físicos y por último el blanco indica que tipo de equipo de protección es exigida para el manejo del material [10]. Los riesgos de la salud, peligros físicos y protección personal pueden estar acompañados de un pictograma que brinde más información en caso de ser necesario.



Figura 2. 1 Etiqueta HMIS [10]

En los cuadros ubicados a la derecha en cada etiqueta se coloca el número de peligrosidad que pueden alcanzar, dicho valor va desde el cero hasta el número cuatro. Significado de los números:

0. Peligro mínimo.
1. Peligro algo mayor.
2. Peligro moderado.
3. Peligro serio.
4. Peligro grave.

### **2.2.2 Características del líquido A**

El líquido A es un químico por lo que es importante conocer sus características para poder trabajar con él de manera adecuada, en el Anexo 1: Hoja de datos del líquido A se encuentran todos los datos relevantes de este líquido concernientes a este proyecto. Este presenta grado 1 según el HMIS en riesgos para la salud, riesgo de inflamabilidad y peligro físico. Según [10] lo anterior indica que puede causar:

- Daños menores reversibles o irritación por lo que es preferible que no entre en contacto con la piel.
- Es inflamable si es previamente precalentado, tiene un punto de ignición de 107 °C.
- Se puede volver inestable a altas temperaturas o presiones y puede tener reacciones peligrosas con medios de oxidación fuertes.

Este material no se debe almacenar con agentes oxidantes, agua y humedad ya que es incompatible. Se debe mantener el depósito bien cerrado y de forma estancada. Puede resultar en daños a personas y/o al medio ambiente por lo que para su almacenamiento.

La clasificación de la SGA clasifica este producto como peligroso ya que representa peligro para el ambiente y peligro leve para la salud. Sin embargo, no representa peligros físicos ya que su punto de ignición es mayor a 93 °C [6].

## **2.3 Consideraciones de cuarto limpio**

### **2.3.1 Materiales**

Los materiales que son de uso permitido en un cuarto limpio son restringidos debido al ambiente estrictamente controlado que se tiene. Se buscan materiales que sean duraderos, disminuyan la acumulación de suciedad y resistan químicos utilizados para la limpieza, que pueden ser corrosivos. En [11] se explican las principales características relevantes de los siguientes materiales:

- Plásticos: Son especialmente útiles para el transporte de químicos, pero no son durables ni fáciles de limpiar.
- Acero pintado o cromado: Son baratos, resistentes y durables, pero no son resistentes ante algunos químicos y antes la corrosión.
- Acero inoxidable: Es una opción más cara que las dos mencionadas anteriormente, pero ofrece grandes beneficios para su uso en áreas con un ambiente controlado. Combina

los beneficios de resistencia a los químicos y la corrosión del plástico con los del acero de durabilidad, resistencia y facilidad de limpieza.

### **2.3.2 Métodos de sujeción**

Existen distintos métodos de sujeción para fijar o ensamblar estructuras y al igual que los tipos de materiales su aplicación tiene ventajas y desventajas. En [11] se explican los métodos de sujeción y las características de estos:

- Remaches o pernos: Es un método bajo costo y de fácil instalación adecuado para soportar cargas livianas. Sin embargo, este tipo de sujeción de afloja y recolecta suciedad.
- Soldadura: Es un tipo de sujeción permanente y de mayor costo. Este tipo de sujeción no contribuye al almacenamiento de suciedad en el sistema.

En consecuencia, se debe disminuir el uso de pernos al máximo dentro de los cuartos limpios. Esto también se ve reflejado en que el material utilizado debe poder ser soldado. Al combinar el acero inoxidable con la soldadura se tiene la combinación más adecuada para el uso dentro de cuartos limpios.

## **2.4 Ergonomía**

La ergonomía es un factor indispensable que se debe tomar en cuenta si hay personas implicadas en la labor que se va a realizar. En [12] la definen como el estudio de la interacción del hombre con su ocupación con el fin de optimizar el bienestar del ser humano al adecuar los productos, sistemas, puestos de trabajo y entornos característicos, de manera que se optimice el confort, la eficacia y la seguridad. En consecuencia, al diseñar nuevas herramientas o máquinas se debe tomar en cuenta para que no afecte la salud del usuario.

### **2.4.1 Manejo manual de cargas**

El Ministerio de Trabajo y Seguridad Social [13] se indica que en el caso de que los trabajadores tengan que movilizar cargas constantemente deben ser sometidos a un examen por la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS). Además, establece que para hombres y mujeres de veintiún años o más el máximo que se puede cargar es de 20 Kg. Sin embargo, la normativa ISO 11228 [14] recomienda que se utilice como límite general 15 kg para la población trabajadora joven y adulta.

En la Tabla 2. 1 segunda columna se muestra el porcentaje de la población que está protegido al levantar una masa de referencia en la segunda columna. Considerando el valor

para hombres y mujeres con 10 kg un 99% de la población está protegida para movilizar es tipo de cargas. Sin embargo, al aumentar dicha carga a 20 kg se baja un 95 % de la población y dicha disminución es causada por la capacidad de la población femenina. Por dicha razón se plantea que un límite de 15 kg es un valor que protege a la mayoría de la población trabajadora.

**Tabla 2. 1** Masa de referencia que puede cargar una persona según la norma ISO 11228-1:2003 [14]

Field of application	$m_{ref}$ kg	Percentage of user population protected			Population group	
		F and M <sup>a</sup>	F	M		
Non-occupational use	5	Data not available			Children and the elderly	Total population
	10	99	99	99	General domestic population	
Professional use	15	95	90	99	General working population, including the young and old	General working population
	20					
	23					
	25	85	70	95	Adult working population	
	30	See NOTE			Specialized working population	
35						
40						

En [14] se recomienda no exceder los límites de peso recomendados para una persona, los cuales disminuyen según la distancia, el recorrido y la repetitividad de la acción. De manera general se establece 15 kg como límite ya que una labor dentro de un ambiente de trabajo debe poder ser realizada por la mayoría o la totalidad de las personas que trabajen en dicho lugar. Por otra parte, también recomiendan disminuir las actividades de manejo y carga manual al mínimo posible. Para lograrlo se puede recurrir a distintas herramientas tecnológicas mecanizadas o automatizadas.

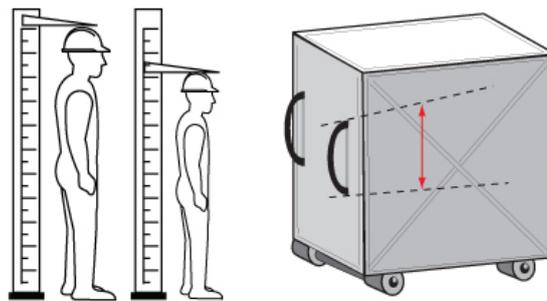
#### 2.4.2 Carritos, herramientas o material manipulado

Manipular objetos siempre lleva riesgos relacionados si no hace de la manera correcta. Según [14] [15] dos factores importantes que afectan en la ergonomía que son las manijas y las llantas de la herramienta que se utiliza. Esto se debe a que dichos factores se relacionan con la cantidad de fuerza necesaria para mover la herramienta y la afectan la postura del usuario.

#### Acoples y manijas

Según la normativa ISO 11228 [14] las manijas de un carrito deben estar entre la altura de la cadera y los codos (entre 900 mm y 1150mm). Para facilitar el agarre las manijas deben

ser cómodas para el agarre y el diámetro debe encontrarse entre 30 mm y 45 mm con un mínimo de 6 cm libres alrededor para facilitar el agarre. El ergonomista Tom Albin en [15] y el Canadian Centre of Occupational Health and safety (OSHA) en [16] indican que las manijas deben estar a una distancia de al menos entre 335 mm y 447 mm de manera horizontal. En caso de que el agarre se encuentre en posición horizontal debe encontrarse a una altura de entre 91 cm y 112 cm [17]. En la Figura 2. 2 se muestra un ejemplo del tipo de manija recomendada, dado a que las manijas tienen una longitud amplia se muestra como un trabajador puede tomarlas sin problemas independientemente de si es de alta o baja estatura.

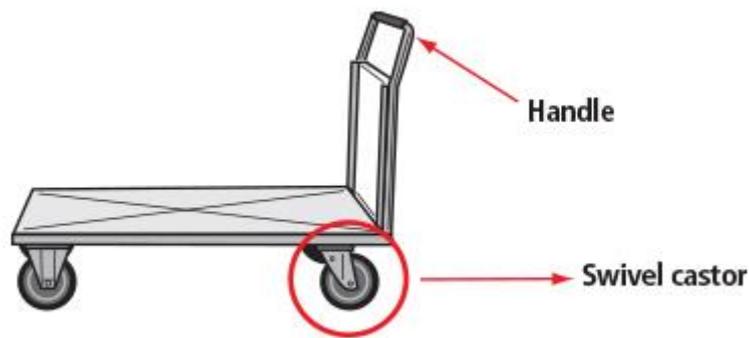


**Figura 2. 2** Manijas verticales [16]

Además, se recomienda empujar los objetos en lugar de jalarlos ya que los riesgos para salud son menores. Por otra parte, la posición de las manijas debe habilitar un intervalo de posturas corporales y ángulos de articulaciones amplio por lo que se recomienda el uso de dos manijas verticales en lugar de una horizontal [14] [15] [16].

### **Tipo de llantas**

La selección de las ruedas para equipos que las usan influye directamente en la fuerza necesaria para mover ese equipo dado al tamaño y la composición de estas. En [14] [17] indican que si se utilizan ruedas giratorias deben estar ubicadas en el extremo donde se aplique la fuerza (ver Figura 2. 3) para permitir una maniobrabilidad adecuada, según [16] esto puede ayudar a disminuir hasta en un 10% la fuerza necesaria para empujar o jalar el carro.



**Figura 2. 3** Configuración de llantas recomendada [16]

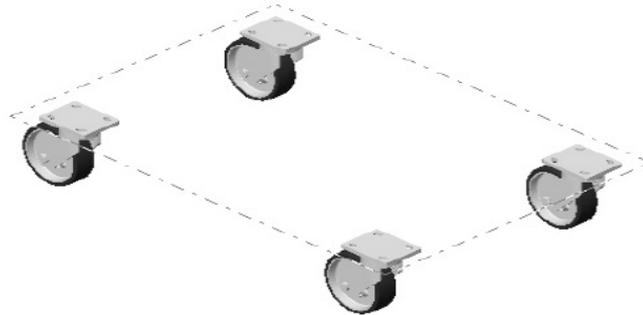
El tamaño de las llantas también afecta la ergonomía ya que al ser más grandes disminuye la fuerza necesaria para mover el carro y además disminuye la fuerza intraabdominal. Además, los materiales más duros en las llantas disminuyen la fuerza de empuje o jale requerida [15]. La configuración adecuada de las llantas se puede conseguir al analizar las necesidades y seleccionar tamaños adecuados al uso.

Para seleccionar el material y el tipo de rueda que se va a usar se debe tomar en cuenta que cada una debe ser capaz de soportar una tercera parte de la carga total del carro. También se debe tomar en cuenta la velocidad que tendrá el carro, si es manual o motorizado. La condición del piso es otro factor que afecta a las llantas ya que los defectos del suelo pueden causar daño. Por último, también se debe analizar si se va a exponer a condiciones ambientales particulares como altas temperaturas o lugares mojados [18]. Por lo tanto, no hay un material que se considere que tenga características superiores a los otros ya que todos presentan ventajas y desventajas según el ambiente en el que se utilizan.

Para la selección del material se debe tomar en cuenta la dureza del material ya que si se utilizan ruedas que sean más duras que el piso están lo van a dañar. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la cantidad de fuerza necesaria para mover el carro se ve modificada por el material de la rueda, a mayor dureza menor fuerza necesaria [18]. En consecuencia, para pisos duros como concreto resultan más adecuados materiales de mayor dureza y para pisos con menor dureza como la cerámica se requieren de menor dureza ya que de lo contrario se puede dañar el piso con el uso constante.

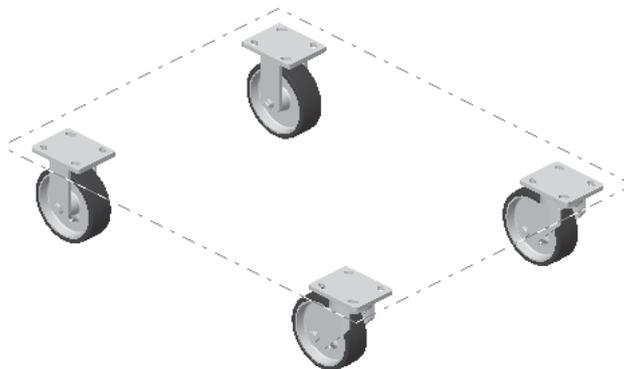
La combinación de las ruedas en un carro se permite obtener distintas ventajas. Entre los posibles tipos de combinaciones se encuentran las siguientes [18] [19]:

- Cuatro ruedas giratorias: La configuración mostrada en la Figura 2. 4 permite que el carro se puede mover en cualquier dirección, pero dificulta el avance en línea recta. Este método es adecuado para manejar cargas livianas y maniobrar el carro en lugares pequeños.



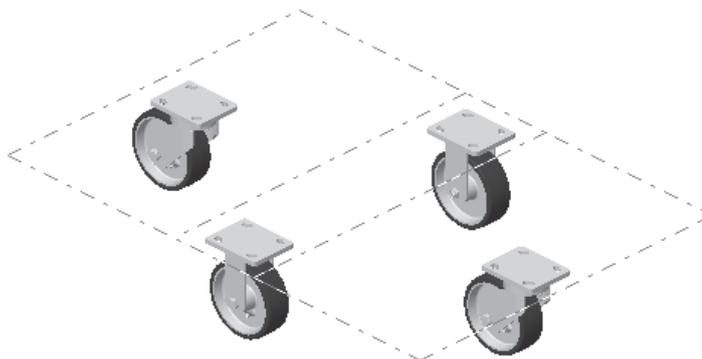
**Figura 2. 4** Configuración de cuatro ruedas giratorias [18]

- Dos ruedas rígidas y dos ruedas giratorias: En la Figura 2. 5 se muestra una configuración que permite girar fácilmente pero no se puede mover libremente en cualquier dirección debido a sus ruedas rígidas.



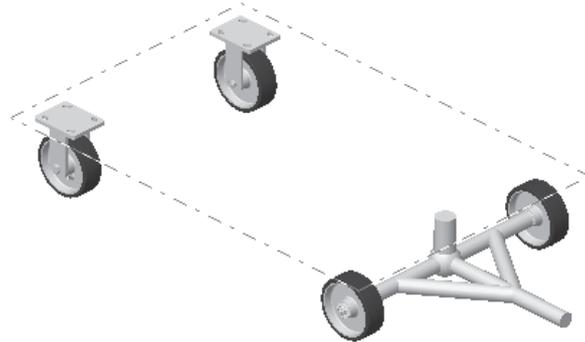
**Figura 2. 5** Configuración de dos ruedas rígidas y dos ruedas giratorias [18]

- Cuatro ruedas rígidas ubicadas en forma de diamante: Permite hacer giros de hasta trescientos sesenta grados, pero no puede ser desplazado de lado. En la Figura 2. 6



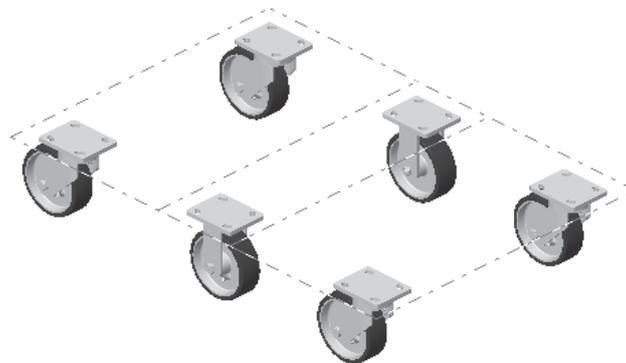
**Figura 2. 6** Configuración de cuatro ruedas rígidas ubicadas en forma de diamante [18]

- Tipo vagón: Como se observa en la Figura 2. 7 hay dos ruedas conectadas en la parte de adelante y dos ruedas rígidas en la parte de atrás. Permite manejar cargas pesadas, pero es difícil de manejar de manera manual.



**Figura 2. 7** Configuración tipo vagón [18]

- Seis ruedas: En la Figura 2. 8 se muestra la configuración con seis ruedas, esta puede cargar pesos pesados y es recomendado para carros largos.



**Figura 2. 8** Configuración de seis ruedas [18]

## Carga

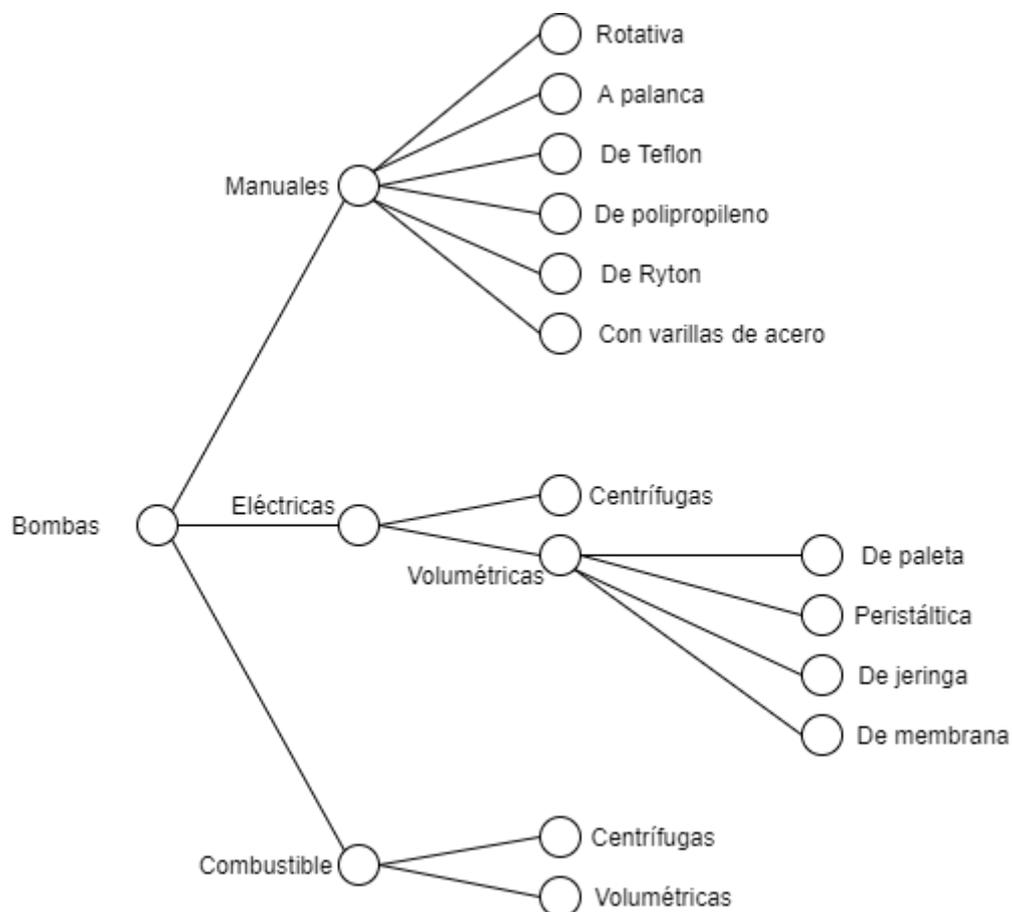
La carga permitida va a depender de factores como el tipo de carro, la frecuencia de uso, la distancia que se va a recorrer, las características del lugar y el tipo de ruedas. Lo recomendado es que la carga no debe exceder los 200 kg y un carro manual no debe ser utilizado más de 200 veces al día en intervalos de 30m a 35m. Además, se recomienda que la fuerza realizada para el movimiento inicial no sobrepase los 220N y la fuerza para perpetuar el movimiento no sobrepasen los 130N [17]. Al igual que en el caso de las cargas manuales los movimientos de empujar y jalar van a depender tanto de las capacidades físicas como de las características ambientales que definen el trabajo por dicha razón se plantean límites aceptables para la mayoría de la población.

## Dimensiones

Las dimensiones del carro también afectan la dificultad del manejo de este, cuando son muy grandes no deben ser usados en lugares con pasillos angostos. Se considera que un carro es grande si excede una longitud de 1.3 m o es más ancho que 1 m [17]. En casos particulares dependiendo del lugar donde se deba manipular el carrito las dimensiones permitidas por el espacio pueden ser menores.

## 2.5 Tipos de bombas

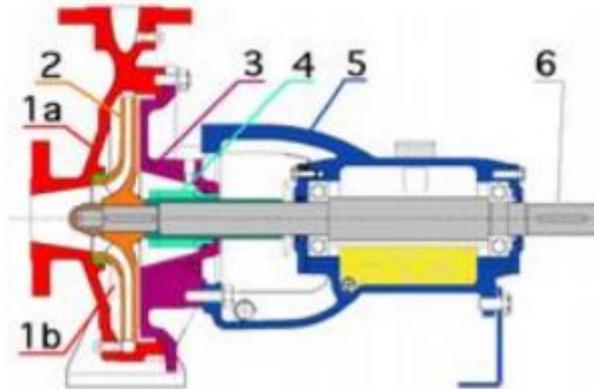
Según [20] [21] [22] los tipos de bombas se pueden clasificar en manuales, eléctricas y de combustible dependiendo de cual se su principio de funcionamiento. En la Figura 2.9 se puede observar dicha clasificación dividida en subramas según su modo de funcionamiento.



**Figura 2.9** Árbol de clasificación de tipos de bombas para desplazar líquido. Fuente: Elaboración propia

Los tipos de bombas eléctricas se describen de manera más detallada a continuación [20]:

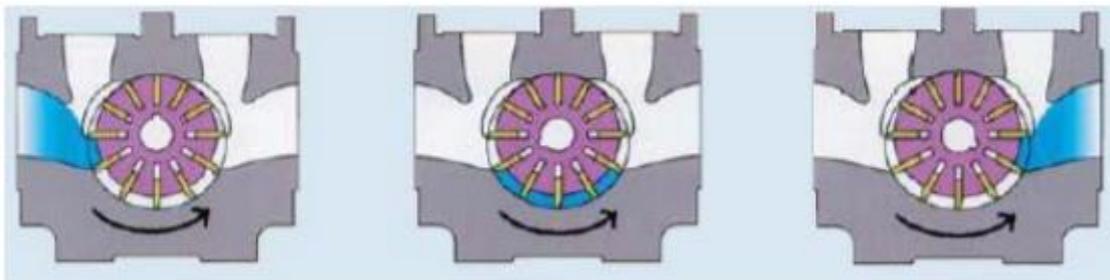
A. Centrífugas: Se incrementa la cinética del líquido a partir de movimiento angular y luego se transforma en presión al disminuir la velocidad del líquido, la **Figura 2. 10** muestra a grandes rasgos una bomba centrífuga.



**Figura 2. 10** Bomba centrífuga [20]

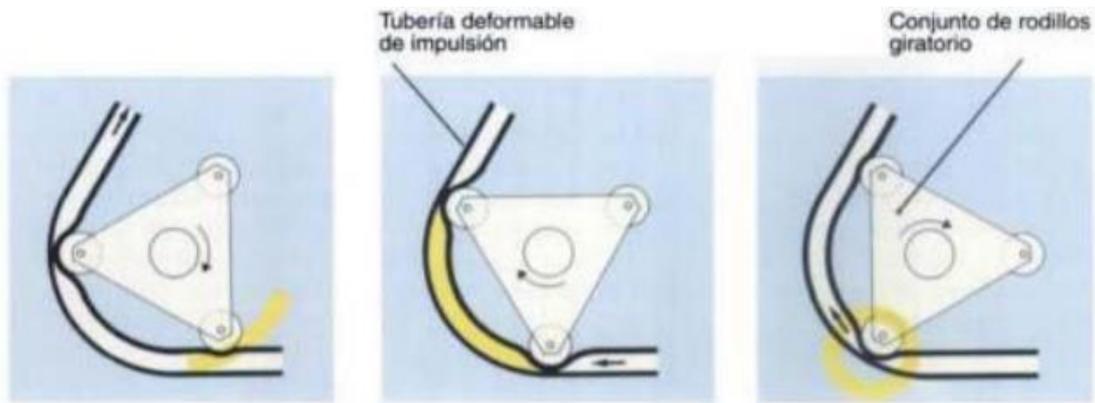
B. Volumétricas: Funcionan al desplazar el líquido que se encuentra en una cámara con ayuda de émbolos, engranes, entre otros. Son menos rápidas que las bombas centrífugas, pero tienen mayor capacidad de succión. Algunos tipos son:

- Bombas de paleta: La **Figura 2. 11** muestra este tipo de bomba, el rotor tiene paletas adheridas que al girar provoca transferencia de fluido dentro del cuerpo de la bomba.



**Figura 2. 11** Bomba de paletas [20]

- Bombas peristálticas: Como se muestra en la **Figura 2. 12** el fluido pasa en el interior de un tubo flexible y es desplazado gracias a una serie de rodillos que presionan el tubo y desplazan el líquido. Este tipo de bombas representa ventajas en términos de mantenimiento ya que al líquido solo entrar en contacto con el tubo es la única pieza que requiere ser reemplaza con cierta frecuencia y sin importar el material que transporte no daña la integridad de la bomba.



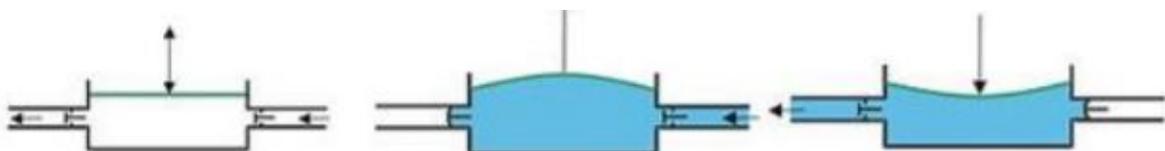
**Figura 2. 12** Bomba peristáltica [20]

- Bombas de jeringa: Consisten en un cilindro lleno de líquido que es desplazado por un émbolo con ayuda de un motor a pasos como se muestra en la **Figura 2. 13**. Este tipo de bomba es muy precisa y suele ser utilizada para movilizar cantidades pequeñas de fluido.



**Figura 2. 13** Bomba de jeringa [20]

- Bombas de membrana: Logran aumentar la presión aumentando y disminuyendo el volumen de la cámara alternativamente gracias al empuje de unas paredes elásticas. En la Figura 2. 14 se puede observar su principio de funcionamiento, a este se atribuye uno de sus mayores beneficios que es que funciona perfectamente a pesar de que a tubería este llena de aire



**Figura 2. 14** Bombas de membrana [20]

## **2.6 Automatización**

La automatización de un sistema permite acelerar los procesos a la vez que se aumenta la precisión de la labor que se implementa. En muchos casos es más conveniente que automatizar el proceso de forma completa ya que según [23] automatizar un método de manera completa requiere de mucho trabajo, tiempo y dinero. Estos factores no siempre están disponibles para cualquier proyecto, por lo que si se requiere de los beneficios se puede realizar una automatización parcial que se adapte a los recursos del proyecto.

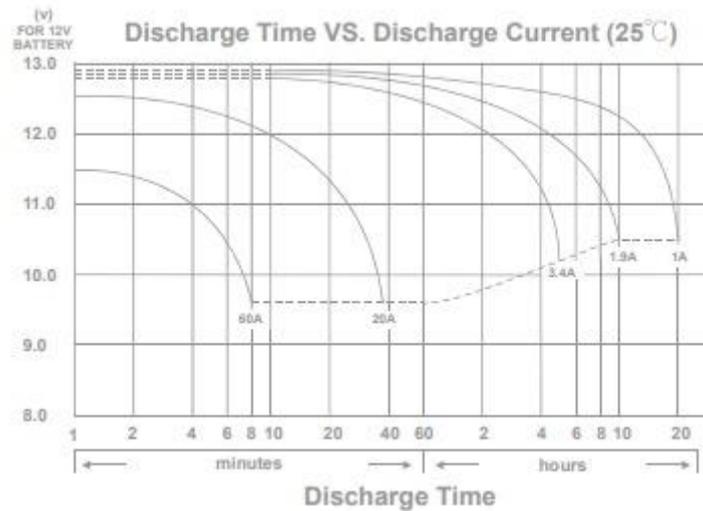
Este proceso presenta otro tipo de beneficios menos directos como los son:

- **Análisis de datos:** Esta área puede ser automatizada al implementar sistemas computacionales para el análisis y toma de datos con muy poca o nula intervención humana. Estos mecanismos pueden tomar decisiones importantes y enviar un resumen de lo analizado con la información importante a una persona en caso de que se requiera alguna acción externa. Este tipo de procesos pueden ahorrar el tiempo de trabajo de los empleados en labores innecesarias y que pueden ser mejor desempeñadas por una computadora, dejando únicamente al ser humano la toma de decisiones [24].
- **Monitoreo por condición:** Es una técnica que puede llegar a reducir el coste del mantenimiento de equipo y ayudar a detectar problemas. Consiste en la medición de una variable física de manera no invasiva y periódica, que se considere representativa y compararla con valores que indiquen si el equipo está bien o se presenta alguna anomalía [25]. Este tipo de modelo es particularmente útil cuando se implementa en un sistema automatizado ya que permite detectar anomalías y notificarlas al usuario sin necesidad de revisiones constantes sobre el factor a medir. A partir de este monitoreo se pueden detectar desperfectos, fugas o comportamientos extraños permitiendo ser tratados en una etapa temprana y evitando una falla definitiva del sistema.

## **2.7 Baterías recargables AGM Acido Plomo**

Las baterías de ácido plomo son baterías recargables, una de sus principales características es la capacidad de suministrar una alta corriente por un breve periodo de tiempo, lo que las hace ideales en automóviles y motocicletas para llevar a cabo el arranque [26]. Sin embargo, este tipo de baterías también se pueden utilizar para suministrar una corriente menor por un tiempo prolongado. Esto se muestra en la Figura 2. 15, donde se puede observar como

una batería de 12V con capacidad de 20Ah es capaz de suministrar durante 20h una corriente de 1A o 1.9A durante 10h, en condiciones ideales.



**Figura 2. 15** Grafica de tiempo de descarga vs corriente de descarga, a una temperatura de 25 grados Celsius. [27]

Estas baterías poseen en su interior un electrolito de ácido sulfúrico, y electrodos de plomo esponjoso y peróxido de plomo. Una vez que en las terminales de la batería se conecta una carga, se transfieren electrones del electrodo de plomo esponjoso al electrodo de peróxido de plomo [26], la corriente eléctrica que circula entre la batería y la carga externa hace que la composición química de ambos electrodos cambie, de forma que se obtiene sulfato de plomo. Este proceso es reversible, y es por esto por lo que la batería es recargable, al pasar una corriente a través de la batería desde una fuente externa es posible transformar el sulfato de plomo en los materiales originales, obteniendo así dióxido de plomo y plomo esponjoso nuevamente.

## 2.8 Esfuerzos máximos de Von Mises:

El criterio de esfuerzo máximo de Von Mises se basa en la teoría de Von Mises-Hencky. Esta teoría establece que un material dúctil empieza a ceder en un determinado punto cuando el esfuerzo Von Mises se vuelve igual al esfuerzo de fluencia del material. Es decir:

$$\sigma_{vonMises} \geq \sigma_y \quad (2. 1)$$

El esfuerzo de Von Mises se describe a partir de los esfuerzos principales,  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , por la siguiente fórmula:

$$\sigma_{vonMises} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (2.2)$$

### 2.8.1 Factor de Seguridad

El factor de seguridad es un término que se utiliza para describir la relación entre la resistencia última de un material y un esfuerzo admisible o de trabajo [28]. Al trabajar con el esfuerzo Von Mises, el factor de seguridad se puede calcular como:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{vonMises}} \quad (2.3)$$

El esfuerzo  $\sigma_y$ , es el esfuerzo de fluencia del material y este depende de las cargas a las que se someta el material. Para que el sistema tenga un factor de seguridad mayor a uno el esfuerzo de fluencia debe ser menor al esfuerzo de von Mises.

## Capítulo 3 Metodología

### 3.1 Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo del proyecto está basada en [29] donde el proceso se divide en 6 fases, como se muestra en la Figura 3. 1. De las cuales se desarrollan cinco a lo largo de este documento, se excluye la fase 5 de inicio de producción debido a que no se encuentra dentro de los alcances del proyecto.



Figura 3. 1 Proceso de diseño y desarrollo del producto [29]

#### Fase 0: Planeación

Esta fase consiste en la identificación de una oportunidad en donde se plantean la misión y metas del proyecto. Este paso fue realizado parcialmente por Intel al identificar la necesidad de este proyecto y es complementado en esta etapa.

La planeación incluye la definición de aspectos importantes como el mercado al cual está dirigido y su extensión. También incluye de la evaluación de nuevas tecnologías que podrían ser útiles para el proyecto.

#### Fase 1: Desarrollo del concepto

Desarrolla la identificación de necesidades a partir de lo que indican la asesora industrial y tres técnicos, que son quienes utilizaran el proyecto, con respecto al problema. La interpretación de las necesidades permite desarrollar especificaciones con métricas apropiadas que permiten definir lo que se necesita en el proyecto.

Una vez se han definido las métricas se presenta la descomposición funcional del sistema y se divide el problema en subsistemas y sus etapas con las respectivas interconexiones que requieren. A partir de esto se inicia la investigación de posibles soluciones a los problemas que representa cada subsistema. La búsqueda de información va a abarcar artículos, libros, patentes, documentos en internet y productos existentes.

Los resultados de dicha búsqueda dan lugar a la generación de múltiples conceptos que proponen una idea base para la solución del problema. Con base a distintas características necesarias para obtener una solución adecuada se elige el concepto con mayor puntaje dado a la evaluación de las características de: mantenimiento, capacidad energética, costo, rango, facilidad de uso, fuerza y tamaño.

## **Fase 2: Diseño en nivel de sistema**

El diseño en nivel de sistema desarrolla la descomposición del producto en subsistemas con sus respectivos componentes. Incluye el diseño geométrico, la explicación funcional de los subsistemas y el proceso preliminar para el ensamble final.

## **Fase 3: Diseño de detalle**

La fase de diseño de detalle consiste en definición la geometría de las piezas, los materiales y tolerancias. Además, se definen los procesos de fabricación de las piezas y se completa la documentación del sistema.

## **Fase 4: Pruebas y refinamientos**

En esta sección se plantean simulaciones que permiten evaluar la confiabilidad del sistema. A partir, de estas se determina si es necesario implementar cambios en el diseño en caso de que no se tengan resultados adecuados en alguna de las pruebas.

### **3.2 Fuentes de información**

La búsqueda de información será realizada a partir de tesis de grado, artículos de internet, libros y patentes según sea adecuado. Se utilizan principalmente las siguientes bases de datos:

- Science Direct
- Google Académico
- Research Gate
- IEEE
- Google patents

De manera complementaria también se consultan expertos en distintos temas para obtener más información en caso de ser requerido. La información será analizada y en caso de ser aplicable a las normativas de Intel será considera.

### **3.3 Planeación**

#### **3.3.1 Mercado**

El mercado interesado en encontrar una solución para el problema planteado en el capítulo 1 se compone de todos laboratorios de pruebas y fábricas de manufactura de la empresa Intel que requieran líquido A o algún otro químico en las máquinas que utilizan, si el líquido es entregado en una presentación no adecuada para la manipulación manual. En [1] se indica que Intel tiene 15 fábricas de manufactura alrededor de mundo, por lo cual en el proceso de solucionar riesgos ergonómicos y automatizar la toma y análisis de los datos del consumo que se da en fábricas y laboratorios la solución es apropiada para todos estos lugares.

#### **3.3.2 Tipos de tecnologías**

##### **Sistema de tuberías**

Los sistemas de tubería representan una alta inversión inicial, debido la gran cantidad de factores que se deben de tomar en cuenta tanto para su diseño inicial, como a la hora de llevar a cabo la compra de materiales, mano de obra para la instalación y el enjuague requerido para su puesta en marcha final. Tal y como se muestra en el ejemplo presentado por parte de una empresa encargada de este tipo de diseños e instalaciones en [30] dependiendo de la complejidad, diámetros de tuberías, longitud, si requiere soldadura o no, entre otros factores, el costo final sobre pasa los límites establecidos en el presupuesto.

A pesar de que este sistema permite exitosamente transportar el líquido sin representar riesgos de salud, y a su vez es también hace posible realizar el análisis de datos requerido, una vez terminada la instalación de este, requiere de activos que deben ser reemplazados constantemente y representan una inversión extraordinaria. Además, se debe tener en cuenta que este tipo de sistemas debe ser realizado a la medida del lugar donde se necesita y en consecuencia, su costo termina por ser muy elevado para el presupuesto de este proyecto.

##### **Carrito**

Los carritos son una solución ampliamente utilizada en lo que es el transporte interno de sustancias, principalmente cuando estas se encuentran en garrafas. Esta alternativa permite evitar riesgos como lo son los goteos del recipiente a la hora de transportarlos a mano, los cuales pueden pasar desapercibidos por los operarios [31].

Además, entre sus ventajas se tiene su bajo costo en comparación con los sistemas de tuberías, y su versatilidad, ya que permiten el transporte seguro en espacios y pasillos pequeños.

Si se diseña bajo los criterios de ergonomía este no representa ningún peligro para la salud del usuario. Al automatizar la salida del líquido a partir del carrito se puede llevar una recolección y análisis de datos adecuada.

### **Transvase**

En [9] se indica que el transvase de líquidos consiste en movilizar líquido de un recipiente de mayor tamaño a uno de menor tamaño, usualmente. Las tecnologías para realizar transvase de manera automatizada permiten distribuir líquidos de manera rápida, precisa y sin arriesgar el bienestar de los trabajadores. Sin embargo, utilizarlos requiere de recipientes que deben ser limpiados luego de cada uso para evitar su envejecimiento prematuro. A pesar de que este tipo de tecnología soluciona el problema en términos de ergonomía no tiene manera de abarcar la parte de recolección y análisis de datos.

#### **3.3.3 Presupuesto**

El presupuesto que se tiene para la construcción del proyecto es de \$1400 y esto no incluye los componentes que Intel brinde. Entre estos pueden encontrarse computadoras (de ser necesario), y otros que se tengan en bodega por lo que no deben ser incluidos en la cotización. Por otra parte, el presupuesto tampoco incluye el salario que se recibe por el trabajo de diseño del sistema.

#### **3.3.4 Marco de tiempo**

El proyecto debe ser concluido en un tiempo de 16 semanas iniciando en semana uno en el calendario del Instituto Tecnológico de Costa Rica, primer semestre del a.

### **3.4 Desarrollo del concepto**

#### **3.4.1 Necesidades**

En la Tabla 3. 1 se presentan las necesidades identificadas a partir de múltiples entrevistas con la asesora industrial y tres de los técnicos que trabajan en el laboratorio. En esta tabla se tienen una columna de preguntas o sugerencias, otra con el enunciado del cliente ante el tema correspondiente y por último la interpretación como una necesidad de cada enunciado.

**Tabla 3. 1** Identificación de necesidades. Fuente: Elaboración propia

Pregunta/sugerencia	Enunciado del cliente	Necesidad
Descripción del proceso de poner líquido A	Se lleva el recipiente a la máquina se abre una tapa, se vierte la botella y se vuelve a cerrar. Todo sucede dentro del laboratorio.	El sistema dispensa líquido A.
		Es adecuado para uso dentro del laboratorio.
		Funciona con electricidad.
¿Cuánto dura le proceso?	Dura alrededor de 4 minutos	Se mantiene o disminuye el tiempo del proceso.
¿Cada cuanto se hace?	Cada que el sistema envíe una alarma, depende del uso de las máquinas y del tipo de pruebas que realicen.	El sistema se puede utilizar sin restricción de espacio.
		El sistema se puede utilizar sin restricción de tiempo de uso.
¿Hay diferencia entre las máquinas?	Hay 3 tipos.	El sistema funciona para distintos tipos de máquina.
¿Guardan datos?	No lo hacen. Pero se está en proceso de implementar documentación, para eso las máquinas deben estar debidamente identificadas	Se reconoce y almacena con cual máquina se está trabajando.
		Se almacenan los datos.
¿Hay medidas especiales para manejar el líquido A?	No hay riesgos importantes ver la hoja de datos. Representa peligro físico leve.	El líquido A no tiene contacto con la piel.
Dimensiones del recipiente	Es de 5 galones y mide 37*26*25 cm.	Existe un área de almacenamiento para el recipiente de líquido A.
¿Alguien ha presentado alguna molestia?	Se tiene un proceso ergonómico para evitar lesiones, se hace entre 2 personas. De los recipientes grandes se llenan los pequeños.	Sistema manipulable por una sola persona.
		La manipulación del sistema es ergonómica.
¿Cuántas máquinas son?	Hay 19 y otros tipos de máquinas también lo utilizan.	El sistema permite movilizar el líquido hasta su destino.
¿Alguna máquina presenta diferencias o una característica que modifique el proceso?	El tanque queda a una altura distinta dependiendo del tipo.	La salida del líquido A se puede utilizar a alturas variables.
Replicabilidad	El sistema va a ser utilizado en otros laboratorios en la misma planta y en el área de manufactura se planea implementar una réplica. Es posible que se implemente en sedes en otros países.	Funciona para plantas con diferente cantidad de máquinas.
		Es replicable.
Presupuesto	Se tienen como \$1300 pero si fuera necesario se podría agregar un poquito.	Los materiales se mantienen dentro del presupuesto.
Requerimientos del proceso	El tubo tiene que poder estirarse y volver a su lugar sí que resulte incómodo.	La salida del líquido se acomoda correctamente luego de terminar el proceso.
	El tanque tiene una capacidad máxima aproximada de 4.73 litros.	El usuario puede decidir cuanto líquido A se utiliza.
		No se excede la capacidad del tanque.
	Tiene que poder transportarse por cualquier persona.	El tamaño del usuario no influye en la capacidad de manipulación.

		Se requiere poca fuerza para mover el sistema.
	Hay ocasiones en las que se bloquea el paso por un lado para llegar hasta el tanque.	Se puede operar, aunque haya obstáculos en el camino principal. Es lo más angosto posible.
Restricciones	Los datos tienen que transmitirse a una de las computadoras del laboratorio desde cualquier parte del laboratorio.	Tiene comunicación inalámbrica.
	Los pasillos son amplios, pero para llegar al tanque en los días ocupados se bloquea el paso (nunca en los pasillos).	Funciona a pesar de que el paso hasta el tanque se encuentre bloqueado Es lo más compacto posible.
¿Qué se requiere en cuanto a recolección y análisis de datos?	Es necesario almacenar la cantidad de líquido que consumen tanto las máquinas del laboratorio como las otras	Se registra la cantidad de líquido que pone en el tanque
		Se registra el momento en el que se realiza el llenado
	Debe ser posible identificar cuando las máquinas del laboratorio alcanzan un límite y notificarlo.	Se analizan los datos recibidos Notifica cada vez que se sobrepasa el límite impuesto

### Jerarquía de necesidades

Las necesidades identificadas previamente se dividen en primarias y secundarias. Las primarias son generales mientras las secundarias son más específicas. En la Tabla 3. 2 se muestra las necesidades principales en negrita seguidas por las necesidades secundarias correspondientes las cuales se evalúan. La importancia de las necesidades secundarias se indica por el número de asteriscos; tres asteriscos (\*\*\*) denotan necesidades de importancia crítica y a menor cantidad de asteriscos menor es la importancia. Las necesidades que tengan un signo de admiración (!) son latentes.

**Tabla 3. 2** Identificación de necesidades. Fuente: Elaboración propia

#	Necesidad	Importancia
1	El sistema dispensa líquido A	
2	Se mantiene o disminuye el tiempo del proceso	*
3	La salida del líquido se acomoda correctamente luego de terminar el proceso.	**
4	El usuario puede decidir cuanto líquido A se utiliza	**
5	No se excede la capacidad del tanque	*
6	El sistema se puede utilizar sin restricción de espacio	
7	Funciona para plantas con diferente cantidad de máquinas.	***
8	El sistema se puede utilizar sin restricción de tiempo de uso	***!
9	El sistema permite movilizar el líquido hasta su destino	
10	Existe un área de almacenamiento para el recipiente de líquido A	**
11	Sistema manipulable por una sola persona	***
12	La manipulación del sistema es ergonómica	***!
13	Es replicable	
14	El sistema funciona para distintos tipos de máquina	***
15	La salida del líquido A se puede utilizar a alturas variables	**
16	Se almacenan los datos	
17	Se reconoce y almacena con cual máquina se está trabajando	**
18	Se registra la cantidad de líquido que pone en el tanque	**
19	Se registra el momento en el que se realiza el llenado	**
20	Se analizan los datos recibidos	**
21	Notifica cada vez que se sobrepasa el límite impuesto	***
22	Los materiales se mantienen dentro del presupuesto	
23	Tiene comunicación inalámbrica	**
24	El tamaño del usuario no influye en la capacidad de manipulación	
25	Se requiere poca fuerza para mover el sistema	**
26	Es lo más compacto posible	*
27	Es lo más angosto posible.	***
28	Funciona a pesar de que el paso hasta el tanque se encuentre bloqueado	
29	Se puede operar distancia	**
30	Es adecuado para uso dentro del laboratorio.	
31	El líquido A no tiene contacto con la piel	***!
32	Funciona con electricidad	*

### 3.4.2 Estudio previo

#### Consumo del líquido A

No se lleva un registro de consumo del líquido A en el laboratorio en la actualidad, el único registro que se tiene es cuando se activa una alarma indicando que es necesario rellenar el tanque. Sin embargo, estos registros se borran automáticamente todos los domingos lo que imposibilita la recolección de información previa.

Por dicha razón se hizo un pequeño estudio, el cual no es significativo por la poca cantidad de datos, pero permite tener una idea del uso que se va a tener del proyecto. En la Tabla 3. 3 se muestra la cantidad de veces que rellenó un litro de líquido A y la cantidad de testers asociados al proceso.

**Tabla 3. 3** Datos de llenado de líquido A durante 2 semanas. Fuente: Elaboración propia

Semana	1	2	3	4	5	6	7
Cantidad	13	8	11	6	7	13	12

Es importante rescatar que durante estas dos semanas se monitoreo la necesidad de líquido en las diecinueve máquinas y de estas solo nueve en total necesitaron nuevo líquido durante las dos semanas. Mientras algunas llegaron a ser rellenadas hasta cuatro veces otras no lo necesitaron del todo, dicho fenómeno se debe a que las máquinas realizan distintos trabajos según sea necesario y en consecuencia no se puede esperar el mismo patrón de consumo para todas. Asumiendo que estos datos son confiables se puede plantear que se va a rellenar con líquido A el tanque de aproximadamente siete máquinas a la semana y es esperado que en semanas de mucho trabajo esto aumente.

#### ¿Cómo se puede alimentar el sistema?

El objetivo fundamental de almacenar la energía es tenerla a disposición cuando se necesite. Según [32] almacenarla se deben tener dos características principales en cuenta: la potencia que es capaz de almacenar y el tiempo que se puede hacerlo sin tener pérdidas significativas. La capacidad de almacenamiento se mide en Amperios-hora (Ah), lo que indica la cantidad de Amperios que puede brindar en una hora o a lo largo de un periodo de tiempo o capacidad de descarga [33].

En la selección de un método de alimentación para un sistema se debe tomar en cuenta el rendimiento del sistema, la vida útil, el uso que se le va a dar y si va a funcionar como

almacenamiento a corto o largo plazo. Por otra parte, estos valores se relacionan directamente con el precio que va a tener. En [32] indican que es importante tomar en cuenta las repercusiones sociales que podría llegar a tener sobre las personas a su alrededor y las repercusiones ambientales por su fabricación o utilización.

### ¿Cómo se puede medir el consumo de las máquinas?

Todos los aparatos eléctricos tienen una potencia eléctrica asociada a su consumo que se mide en Watts (W). Esta se puede calcular de la siguiente manera [34]:

$$Potencia (W) = Voltaje(V) * Corriente(A) \quad (3.1)$$

Al multiplicar dicha cantidad por el tiempo que se consume se obtiene el consumo de potencia en la cantidad de tiempo deseada. Por facilidad se utiliza en horas ya que es la unidad que se indica en las baterías.

### 3.4.3 Especificaciones

En la segunda etapa del proceso de diseño se desarrollan las especificaciones. Cada una está relacionada a ciertas necesidades mostradas en la Tabla 3. 4 y a partir de ellas se genera una métrica a la cual se le asignan las unidades con la que se medirá. Además, se indica la importancia en una escala del 1 al 5 siendo 1 el valor más bajo y 5 el más alto.

**Tabla 3. 4** Métricas. Fuente: Elaboración propia

#	Métrica	Área	Necesidad	Importancia	Unidades
1	Tiempo de llenado	Llenado	2,4,32	2	min
2	Cantidad de llenado	Llenado	1,4,5	3	l
3	Capacidad energética	Llenado	7,32	4	Wh
4	Largo	Ergonomía	6,8,9,10,24,26	1	mm
5	Ancho	Ergonomía	6, 8,9,10,24,27	4	mm
6	Alto	Ergonomía	8,9,10,24,26	4	mm
7	Fuerza necesaria	Ergonomía	8,11,24,25,30	5	N
8	Capacidad de la batería	Llenado	7,12	3	Ah
9	Rango de funcionalidad	Llenado	3,5,6,13,14,15,28,29,31	2	m
10	Almacenamiento de datos	Adquisición y análisis de datos	16,17,18,19	3	Binario
11	Precio	Viabilidad financiera	22	4	\$
12	Notificación de consumo	Adquisición y análisis de datos	16,17,18,19,20,21	4	litros
13	Rango de transmisión de datos	Transmisión de datos	23	4	m
14	Existencia de identificadores relacionados a cada máquina	Adquisición y análisis de datos	16,17,20	3	Binario

Para una mejor comprensión de las necesidades y como se relacionan con las especificaciones se tiene la matriz de necesidades y especificaciones de la Tabla 3. 5. En esta se presentan ambas listas de datos y se interrelacionan a través de un punto en donde se cruza la columna con la fila correspondiente.

**Tabla 3. 5** Matriz de necesidades y especificaciones. Fuente: Elaboración propia

Necesidades		Métrica													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	El sistema dispensa líquido A		•												
2	Se mantiene o disminuye el tiempo del proceso	•													
3	La salida del líquido se acomoda correctamente luego de									•					
4	El usuario puede decidir cuanto líquido A se utiliza	•	•												
5	No se excede la capacidad del tanque		•							•					
6	El sistema se puede utilizar sin restricción de espacio				•	•				•					
7	Funciona para plantas con diferente cantidad de máquinas.			•					•						
8	El sistema se puede utilizar sin restricción de tiempo de uso				•	•	•	•							
9	El sistema permite movilizar el líquido hasta su destino				•	•	•								
10	Existe un área de almacenamiento para el recipiente de				•	•	•								
11	Sistema manipulable por una sola persona							•							
12	La manipulación del sistema es ergonómica								•						
13	Es replicable									•					
14	El sistema funciona para distintos tipos de máquina									•					
15	La salida del líquido A se puede utilizar a alturas variables									•					
16	Se almacenan los datos									•		•			•
17	Se reconoce y almacena con cual máquina se está trabajando									•		•			•
18	Se registra la cantidad de líquido que pone en el tanque									•		•			
19	Se registra el momento en el que se realiza el llenado									•		•			
20	Se analizan los datos recibidos											•			•
21	Notifica cada vez que se sobrepasa el límite impuesto											•			
22	Los materiales se mantienen dentro del presupuesto											•			
23	Tiene comunicación inalámbrica													•	
24	El tamaño del usuario no influye en la capacidad de manipulación				•	•	•	•							
25	Se requiere poca fuerza para mover el sistema							•							
26	Es lo más compacto posible				•		•								
27	Es lo más angosto posible.					•									
28	Funciona a pesar de que el paso hasta el tanque se encuentre bloqueado									•					
29	Se puede operar distancia									•					
30	Es adecuado para uso dentro del laboratorio.							•							
31	El líquido A no tiene contacto con la piel									•					
32	Funciona con electricidad	•	•												

## Valores objetivo y marginales

El tiempo que se dura vertiendo 1 litro de líquido A es de aproximadamente cuatro minutos según información brindada por las personas que se encargan de este trabajo. Con la implementación del sistema se desea poder llenar el tanque, que tiene capacidad de 4.73 litros, a al menos 2 litros y mantener el tiempo que se dura realizando dicha labor. Se plantea este valor ya que no excede la capacidad del tanque, en caso de que esto suceda se activa un sensor que evita que la máquina funcione y podría desbordarse el líquido, y no aumenta tanto el consumo inicial cuando se implemente el cambio.

Para definir el consumo energético se va a realizar un aproximado ya que no existen productos similares en el mercado que sirvan de referencia y tampoco se puede sacar el valor real ya que no se ha definido una solución. Se tomaron como ejemplo un de un controlador de uso común llamado Arduino UNO, 4 módulos compatibles con dicho controlador, un motor de 12V y una pantalla. En la Tabla 3. 6 se muestra el consumo aproximado en Watts según [35] [36] [37], dichos valores son utilizados únicamente como referencia para obtener un valor aproximado y no forman parte de la solución.

**Tabla 3. 6** Ejemplo de cálculo aproximado de consumo. Fuente: Elaboración propia

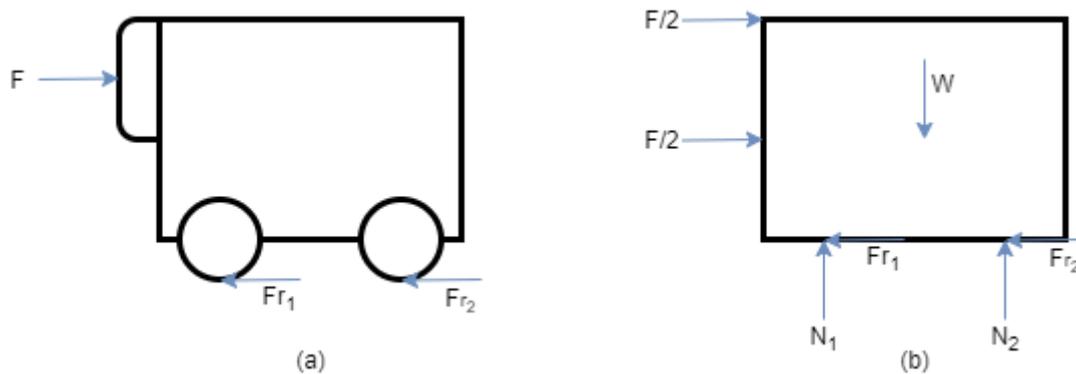
Cantidad	Componente	Corriente (A)	Tensión(V)	Potencia (W)
1	Microcontrolador	0.046	5	0.23
3	Módulos	0.050	5	0.75
1	Motor	1.500	12	18
1	Pantalla	0.075	5	0.375
Total				19.355

Se espera que el carro tenga la capacidad de funcionar entre 1 y 2 semanas según la cantidad de trabajo por lo que se espera que se puede usar al menos 14 veces antes de requerir ser cargado de nuevo. Funcionando 14 veces en lapsos de 5 minutos es consumo sería de 19.4 Wh durante al menos una hora y diez minutos, dicho valor va a ser el límite inferior para el consumo energético que debe permitir la batería. Esta además debe ser capaz de entregar al menos 1.62Ah.

Las dimensiones recomendadas indican que no se debe exceder los 1300 mm de largo y no se tienen limitaciones ergonómicas que indiquen de un tamaño mínimo necesario. En cuanto a las dimensiones del ancho no se pueden exceder los 1000 mm, dicho valor se reduce a 700 mm ya que es el espacio más angosto por el que se debe maniobrar el carro en caso de que la entrada principal se encuentre bloqueada. Pero, debe tener un ancho mayor a 355 mm

debido a que es necesaria la colocación de manijas, para mantener el sistema lo más compacto posible se plantea el límite superior en 460 mm, separación máxima entre las manijas. Por último, la altura máxima planteada es de 1180 mm ya que se debe tener espacio suficiente para colocar las manijas.

El peso que se puede movilizar va a depender de distintos factores como en el modelo de un carro simplificado como se muestra en la Figura 3. 2. Ya que el momento en el que se requiere más fuerza para mover un objeto es al inicio se plantea como límite de fuerza aplicable 220 N.



**Figura 3. 2** (a) Diagrama de un carro y (b) su diagrama de cuerpo libre. Fuente: Elaboración propia

Además, se tiene que la fórmula de la fricción para una rueda es la siguiente:

$$F_r = \mu * \frac{W}{4} * \frac{1}{r} \quad (3.2)$$

Donde:

W: Es el peso total del carro ( $m * g$ )

r: Es el radio de la llanta

$\mu$ : Es el coeficiente de fricción

En la Figura 3. 2 se puede observar que la normal de cada llanta se denota con N y es el equivalente a una cuarta parte del peso del carro para cada llanta. Para encontrar el valor de peso deseado se va a utilizar un valor de 101.6 mm para las llantas ya que es un tamaño común. También se van a considerar los siguientes valores de coeficiente de fricción, los cuales son de materiales comunes para llantas [38]:

- Caucho= 0.35 - 0.45
- Nylon= 0.03 - 0.04

- Poliuretano= 0.04- 0.08

En donde al asumir que todas las llantas son iguales se tiene por sumatoria de fuerzas que

$$F = 4F_r \quad (3.3)$$

Al sustituir ( 3. 2 ) en ( 3. 3 ) de tiene que

$$\frac{F}{4} = \mu * \frac{m * g}{4} * \frac{1}{r}$$

$$F = \mu * \frac{m * g}{r} \quad (3.4)$$

Al despejar la masa de la ecuación ( 3. 4 ) se puede observar que la carga que se puede llevar no va a depender únicamente de la fuerza aplicada sino también de las características de las ruedas del carro.

$$m = \frac{F * r}{\mu g} \quad (3.5)$$

En la Tabla 3. 7 se observan la masa que se puede cargar sin exceder el límite de fuerza para coeficientes de fricción de distintos materiales, a partir de la ecuación ( 3. 5 ). En consecuencia, se sabe que la fuerza necesaria para iniciar el movimiento del carro va a depender del tamaño de las llantas, el coeficiente de fricción que tenga el material de las llantas con el piso de cerámica del laboratorio y del peso del carro más el peso del recipiente que contiene el líquido.

**Tabla 3. 7** Peso máximo para diferentes coeficientes de fricción con llantas de 101.6 mm de radio para una fuerza de empuje de 220N. Fuente: Elaboración propia

$\mu$	m (kg)
0.45	5.07
0.35	6.52
0.08	28.51
0.04	57.02
0.03	76.03

Ya que se identifica la posibilidad de que no se tenga suficiente espacio para poder ingresar hasta la zona donde se recarga en ocasiones específicas se plantea la posibilidad de poder dejar el carro a cierta distancia del tanque. La distancia a la que se tendría que dejar el dispositivo cuando esto sucede es de entre 2 y 3 metros. En consecuencia, debe ser capaz de funcionar en dicho rango ya sea para depositar el líquido y/o para controlar el sistema.

Por otra parte, se necesita un rango de transmisión amplio para comunicarse poder enviar los datos de consumo con su respectiva identificación y cantidad. Este rango de transmisión debe ser lo más amplio posible por lo que se desea alcanzar un rango mayor a los 30 metros y en caso de que esto no se posible de al menos 10 metros. Los identificadores mencionados hacen referencia a en cual máquina se realiza el proceso, para evitar el error humano y aumentar la complejidad del controlador estos deben leerse directamente por sistema.

Según lo mencionado en el capítulo 2 y el anexo 1 el líquido A se puede almacenar a en un alto rango de temperaturas sin ningún problema. En Costa Rica la temperatura promedio ronda entre los 17 °C a 28 °C [39]. En consecuencia, un rango de entre 10 °C a 40 °C se va a mantener bajo condiciones naturales sin poner en peligro a el usuario o el líquido A.

Dadas las características contaminantes del químico hacia el medio ambiente en caso de derrame y los posibles daños que podría ocasionar al ser humano se deben evitar las fugas del sistema. Ya sea por medios de contención en caso de que de alguna manera se derrame del recipiente y el sistema de por donde se desplaza el líquido debe pasar por pruebas que confirme que no hay fugas.

Todos los puntos anteriores deben ser considerados en términos económicos ya que se disponen aproximadamente de \$1300 para realizar el proyecto. Se plantea tener \$100 como presupuesto de emergencia, pero dentro de lo posible se debe mantener el presupuesto inicial. La Tabla 3. 8 se resumen todos puntos anteriores definiendo un valor ideal que es el que se desea respetar, un valor marginal que es aceptable pero no el deseado y las unidades en las que se miden dichos valores para cada métrica.

**Tabla 3. 8** Valores objetivo y marginales. Fuente: Elaboración propia

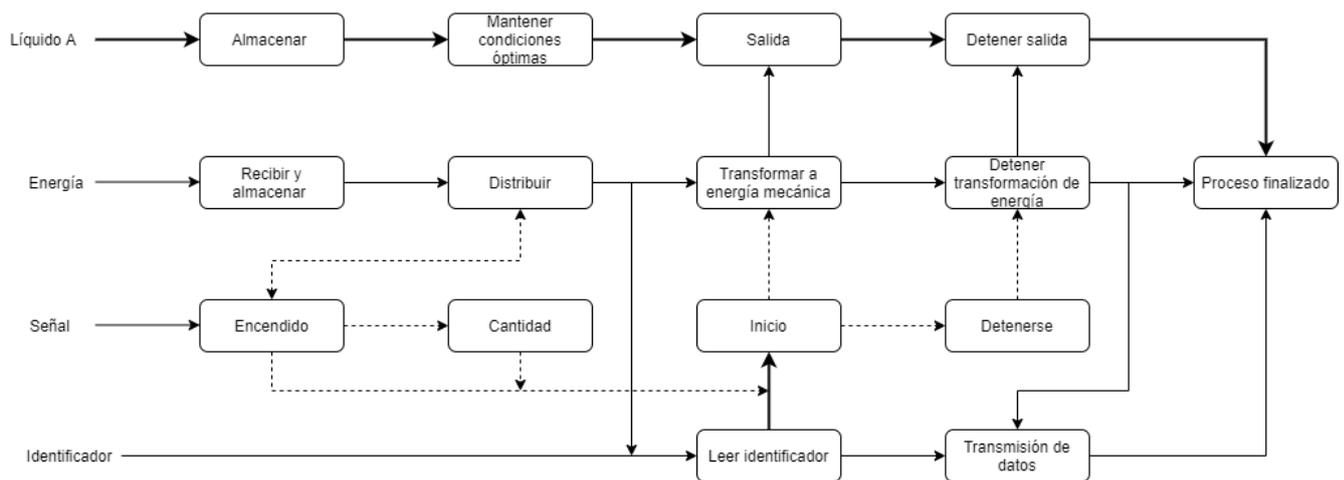
#	Métrica	Valor ideal	Valor Marginal	Unidades
1	Tiempo de llenado	4-5	6-7	min
2	Cantidad de llenado	min 3.79	max 4.7	l
3	Capacidad energética	min 25	min 19.4	Wh
4	Largo	max 1000	max 1200	mm
5	Ancho	355-460	max 700	mm
6	Alto	max 1180	max 1200	mm
7	Fuerza necesaria	max 200	max 220	N
8	Capacidad de la batería	min 1.8	min 3	Ah
9	Rango de funcionalidad	2-3	1-2	m
10	Almacenamiento de datos	sí	sí	Binario
11	Precio	max 1300	1300-1400	\$
12	Notificación de consumo	sí	sí	Binario
13	Rango de transmisión de datos	min 35	min 20	m
14	Existencia de identificadores relacionados a cada máquina	sí	sí	Binario

A continuación, se divide el problema en subsistemas para lograr realizar un diseño más detallado. Los subsistemas principales son los siguientes:

1. Manejo energético: Recibe, almacena y distribuye la energía a los subsistemas que lo necesitan.
2. Estructural: Almacena los otros subsistemas y el líquido A de manera adecuada.
3. Llenado: Transforma la energía almacenada en energía mecánica para desplazar el líquido A del recipiente al tanque deseado.
4. Control: Se encarga del recibir las señales del operador y realizarlas.
5. Comunicación: Permite la transmisión de datos para su análisis previo.

### 3.4.4 Descomposición funcional

En la Figura 3. 3 se muestra el diagrama de descomposición funcional en el que se combinan los sistemas descritos anteriormente. En este se pueden observar las conexiones necesarias entre distintas partes del sistema.



**Figura 3. 3** Diagrama de descomposición funcional. Fuente: Elaboración propia

El proceso que se sigue inicia con almacenar el recipiente de líquido A en un lugar especializado para que se mantenga seguro, el cual evite las fugas en caso de un imprevisto. Esto va a ser parte del subsistema estructural. El subsistema energético como se puede observar recibe, almacena y distribuye la energía a la parte de llenado, control y comunicación. El sistema de control al ser encendido se encarga de recibir instrucciones y distribuir señales que le indican al sistema que hacer. El llenado se realiza utilizando el líquido A almacena en la parte estructural, el cual es movilizado al convertir la energía a energía mecánica cuando se recibe la señal correspondiente. Por último, la comunicación se realiza al recolectar los datos del identificador y de la cantidad de líquido que se introdujo en la máquina.

### 3.4.5 Exploración sistemática

En esta sección se desarrollan posibles soluciones que buscan resolver problemas que se encuentran dentro de cada uno de los subsistemas planteados anteriormente. Una vez se tienen definidas distintas opciones de solución se procede a la generación de conceptos.

#### Manejo energético

##### 1) Recibir energía

Los sistemas eléctricos se componen de tres partes: generación, distribución y consumidores. Hay distintos sistemas de generación eléctricos convencionales, en la Tabla 3. 9 se muestra un resumen de la mayoría de los sistemas:

**Tabla 3. 9** Fuentes de energía [40]

<b>Fuente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Carbón	Se produce por la compactación y endurecimiento de residuos vegetales.	Es la fuente de energía más abundante en el planeta.	Las mayores reservas se ubican en Estados Unidos, Rusia y China. Es una fuente de energía no renovable.
Gas Natural	Hydrocarburo gaseoso altamente inflamable.	Segunda fuente de energía más abundante en el planeta. Es la fuente de energía primaria más eficiente y barata.	Es una fuente de energía no renovable.
Petróleo	Mezcla de hidrocarburos que se puede encontrar de manera líquida, gaseosa o sólida.	Existen grades reservas alrededor del mundo.	Es una fuente de energía no renovable.
Nuclear	Se genera en plantas de generación termoeléctrica. Usan Uranio como principal fuente de energía.	Gran capacidad de generación.	Necesita plantas de transformación grandes. Es una fuente de energía no renovable.
Hídrica	Utiliza grandes cantidades de agua para obtener energía potencial al ponerla en movimiento.	Puede cubrir picos de demanda rápidamente. Es una fuente de energía renovable.	Necesita plantas de transformación grandes.
Eólica	Se obtiene gracias a el movimiento de grandes masas de aire debido a los cambios de temperatura producidos por el sol.	Es una fuente de energía renovable.	Perfil de generación impredecible e inestable.
Solar	Se captura la energía que proviene del sol y transforma en electricidad.	Es la mayor fuente de energía renovable del planeta, en 90 minutos el sol produce la energía que el planeta requiere en un año.	Perfil de generación impredecible e inestable.

La posibilidad de utilizar estos tipos de energía va a depender del país en el que se esté. Sólo implementar un generador de energía para cualquiera de las fuentes mencionadas se sale del presupuesto del proyecto, debe tomarse en cuenta que el sistema a realizar se va a encontrar dentro de un edificio. En ese sentido la forma más viable de obtener energía en Costa Rica es por medio del ICE.

En dicho país el 99.06 % de la energía eléctrica proviene de fuentes de energía limpia o renovables. Las tres con mayor impacto son la energía hidráulica, la energía eólica y la energía geotérmica [41].

## 2) Almacenar la energía

Debido a los requerimientos del problema se van a descartar métodos que requieran gran cantidad de espacio, sean muy poco eficientes o puedan afectar al usuario. A continuación, se presenta la Tabla 3. 10 que contiene la descripción de distintos tipos de almacenamiento de energía según [42] [43] y la viabilidad para su uso en el proyecto.

**Tabla 3. 10** Tipos de almacenamiento de energía. Fuente: Elaboración propia

Tipo	Descripción	Viabilidad
Batería	Pueden almacenar energía por medio de reacciones químicas. Son escalables por lo que son adecuadas para distintos funcionamientos.	Si
Almacenamiento químico	Se realiza por un proceso de electrólisis que utiliza agua y electricidad, produce hidrogeno que se produce se almacena en tanques. También se realiza con la producción de metano.	No, requiere de infraestructura nueva.
Acumulación por bombeo	Se utiliza por las centrales hidroeléctricas para acumular energía durante horas.	No, requiere la infraestructura de una central hidroeléctrica.
Aire comprimido	Se comprime aire en cavernas especiales de almacenamiento.	No, requiere infraestructura nueva.
Almacenamiento térmico	Acumula energía gracias a cambios de temperatura.	No, requiere de combustibles para cambios de temperatura.
Supercondensadores	Almacenan grandes cantidades de energía y la liberan rápidamente.	No, se necesita liberar la energía de manera controlada.
Volantes de inercia	Disco mecánico que gira.	No, se requiere energía eléctrica.

Debido a la poca viabilidad de la mayoría de los métodos de almacenamiento de energía se considera que la batería es el método adecuado para el almacenamiento. El mayor factor que influencia el descarte es la necesidad de infraestructura de la que no se dispone y aunque se hiciera se complicaría la utilización, en la mayoría de los casos, ya que el sistema debe ser utilizado dentro de un laboratorio.

Las baterías son capaces de almacenar energía en celdas electroquímicas que convierten la energía química a energía eléctrica. Estas poseen una capacidad de carga determinada según su composición que se mide en Ah. Además, van a tener un ciclo de vida que indica la cantidad de tiempo a veces que puedan utilizarse antes de dañarse, pero también existen baterías de un solo ciclo que no se pueden recargar [44].

Algunos tipos de batería según [43] [44] son:

- Alcalinas: Son desechables, pero sumamente estables y con una vida muy corta.

- **Ácido-plomo:** Se suele utilizar en vehículos ya que son recargables y se puede usar cíclicamente hasta que la batería ya no sea capaz de realizar las reacciones químicas. Utilizan materiales tóxicos, pero pueden ser recicladas al final de su vida útil. La relación coste rendimiento es buena.
- **Sodio-azufre:** Este tipo de batería requiere de altas temperaturas (entre los 300 y 350 °C) para mantener los materiales activos en estado líquido. Este tipo de batería tiene muchas ventajas con respecto a otra ya que no usa materiales tóxicos, tiene altas densidades de energía y una larga vida útil.
- **Níquel-hierro (Ni-Fe):** Eran de larga duración, pero tenían alto costo y bajo rendimiento por lo que se dejaron de fabricar.
- **Níquel-cadmio (Ni-Cd):** Son perfectamente recargables, pero pueden almacenar poca energía. Su producción es muy contaminante y si se cargan parcialmente van perdiendo capacidad de carga.
- **Níquel-hidruro (Ni-MH):** Son perfectamente recargables y mejoran la capacidad de almacenamiento de energía, disminuyen el efecto memoria de carga y son menos contaminantes que las de níquel – cadmio.
- **Iones de litio (Li-ION):** Tienen buena densidad energética, rendimiento y poco efecto de memoria. Su vida máxima es de 3 años y pueden explotar al sobrecalentarse por lo que son caras para poder incorporar elementos de seguridad.
- **Polímero de litio (LiPo):** Son una variación de la anterior con mayor densidad energética y mejor tasa de descarga. Este tipo de batería deja de funcionar si se descarga por debajo de un 30%. Además, al igual que la anterior puede sobrecalentarse y explotar por lo que se recomienda mantenerlas lejos de sustancias inflamables o deben ser vigiladas constantemente.

De los tipos de batería investigados hay algunos que no son adecuados para el uso que se desea darles. Entre estos se encuentran las baterías alcalinas ya que no son recargables y las níquel-hierro por han sido descontinuadas. Las baterías de sodio-azufre no se pueden utilizar ya que necesitan temperatura s muy altas de trabajo que no son compatibles con el químico utilizado. También se descartan las baterías de níquel-cadmio ya que son sumamente contaminantes.

En la Tabla 3. 11 se muestran diferentes baterías con datos como el voltaje que tienen, la cantidad de Ah que pueden entregar, el precio y la cantidad de ciclos que se pueden recargar. Se recopiló información de productos en [45] [46] [47] [48] para poder compararlos entre sí en las próximas etapas.

**Tabla 3. 11** Características de distintos tipos de batería. Fuente: Elaboración propia

Tipo	Marca	Vcc (V)	Ah	Precio (\$)	Ciclos
Batería sellada de ácido-plomo	STEREN	12	24	61900	10000
Batería sellada de ácido-plomo	STEREN	12	12	33500	10000
Batería sellada de ácido-plomo	STEREN	12	7	21900	10000
Batería sellada de ácido-plomo	STEREN	12	4	18000	10000
NiMH (AAA)	STEREN	1.2	0.6	5390.01	
NiMH (AA)	STEREN	1.2	2.5	11390	
NiMH (AA)	STEREN	1.2	1.3	6490.01	
NiMH (AAA)	STEREN	1.2	1.1	6090.01	
NiMH (C)	STEREN	1.2	3	8090.01	
NiMH (AA)	Energizer	1.2	2.2	7895	500
NiMH (AA)	AmazonBasics	1.2	2.4	\$14.49 + 32.36	
Litio CR-P2	STEREN	6	1.2	8100	
Ion de Litio	Kedanone	12	14	\$45.91 o 28096.7	
Ion de Litio	Antigravity	12.8	9	\$161.99	
Ion de Litio	NaiLite	12	8.8	\$35.48 o 21713.59	
Polimero de Litio	ADAFRUIT	3.7	0.5		
*Polimero de Litio	WPS	12			3000
Polimero de Litio	Ionic Batteries	12	12	\$ 119.00	
Polimero de Litio	VENOM	7.4	5	\$ 50.86 + \$ 21.35 envío	
Polimero de Litio	Zeee	14.8	6	\$54.99	10000

Dado al valor ideal de consumo de 30 Wh planteado en las métricas en la sección 4.2.3 las únicas baterías adecuadas son las de ácido-plomo y las de litio. Debido al uso un químico inflamable en el carro donde estará la batería no es adecuado el uso de baterías de litio y en consecuencia se seleccionan las baterías de plomo-ácido como las únicas que se adecuan a los requerimientos.

### **Subsistema encargado del movimiento**

Tomando en cuenta los efectos que causa la colocación de las ruedas hay ciertas configuraciones que no son adecuadas para la solución necesaria. Por esa razón la

configuración de 6 ruedas no es adecuada ya que no se está buscando un carro particularmente largo. De la misma manera se descarta el modo vagón ya que no es necesario el manejo de cargas pesadas. Por último, se descarta la topología de diamante ya que la movilidad que se pierde por ganar vueltas de 360 ° no es adecuada para el carro. Las opciones restantes serán consideradas en la sección 4.2.6 en la parte de generación de conceptos.

Como se mencionó anteriormente las llantas pueden ser de diferentes materiales los cuales tienen distintas características. En la Tabla 3. 12 se muestra una lista de materiales con distintas características de materiales evaluadas del 1 al 10, siendo 10 lo más bueno y 0 lo más malo.

**Tabla 3. 12** Características de distintos materiales [49]

REQUERIMIENTOS TIPO DE RUEDA	DUREZA	CAPACIDAD CARGA	RESISTENCIA A LA RODADURA	PROTECCIÓN DEL SUELO	CHOQUES Y VIBRACIÓN	DESGASTE Y DURACIÓN
HF: Hierro fundido	10	9	10	1	1	8
AM: Acero mecanizado	9	10	9	2	2	10
TL/TX/TT/NY: Resinas y Nylon	8	7	8	3	3	9
NP/AP: Nylon / Aluminio-Poliuretano	7	6	7	4	5	6
HV: Hierro-Vulkollan	6	8	6	5	6	7
PG/EG: Plástico / Estampado-Goma	5	2	2	8	4	2
HG: Hierro-Goma	4	5	4	6	7	3
AC: Aluminio-Caucho	3	4	5	7	8	4
NC: Nylon-Caucho	2	3	3	9	9	5
EN: Estampado-Neumática	1	1	1	10	10	1

En cuanto a los materiales de las llantas se debe tomar en cuenta que la dureza no debe ser mayor que la del suelo de cerámica que tiene el laboratorio. Se deben evitar materiales duros como el hierro o el acero ya que estos desgastan el piso cerámico [50]. Además, si la dureza es similar a la del piso el desgaste de las llantas va a ser menor. Por otra, también se sabe que a mayor tamaño de la llanta y a mayor coeficiente de fricción es necesaria menos fuerza para mover el carro [18]. Tampoco es aceptable utilizar llantas que se desgasten rápidamente por lo que se descartan las que tengan una calificación de 5 o menos en dicho factor. Las llantas que se utilicen no pueden tener diseños con agujeros que permitan la acumulación de suciedad ya que deben ser aptas para su uso en un cuarto limpio.

## **Llenado**

- 1) Movilizar el líquido A desde el recipiente de almacenamiento al tanque.

No es aceptable utilizar bombas manuales debido a que las cantidades de líquido que la solución no estaría estandarizada y no se podría llevar un control preciso del consumo de líquido A. Por otra parte, se descarta el uso de bombas de combustible porque ya fue anteriormente definido que se trabajará únicamente con electricidad.

Todas las bombas mencionadas anteriormente cumplen con la función deseada sin embargo por la necesidad de manejar un químico que puede contaminar el ambiente o dañar al ser humano no todas son adecuadas para esta aplicación. Con el fin de poder mantener el químico limpio y disminuir la posibilidad de riesgos en ante limpieza o mantenimiento del equipo se considera que la bomba peristáltica es la adecuada para este objetivo.

## Transmisión de datos

- 1) Subsistema encargado de enviar la información recolectada a una computadora.

La transmisión de datos es necesaria para que la información recolectada por el carro llegue a una computadora donde se hará el análisis de datos. En la actualidad existen muchos tipos de tecnologías inalámbricas que permiten la transmisión de datos a la distancia deseada. En la Tabla 3. 13 encuentra un resumen de las principales tecnologías inalámbricas [51] [52] [53] [54].

**Tabla 3. 13** Tecnologías inalámbricas. Fuente: Elaboración propia

<b>Tecnología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango (m)</b>
Wi-Fi (LAN)	Es ampliamente utilizado y permite acceso a internet para muchos tipos de dispositivos	0-100
Bluetooth (WPAN)	Permite transmitir información a cortas distancias	0-10
Radio Frecuencia (RF)	Se transmiten ondas electromagnéticas con bajas frecuencias. Su rango depende de muchos factores como la antena, tipo, tamaño de onda, entre otros.	Variable
Infrarrojo	Suporta dos conexiones únicamente y permite transmitir información de manera bidireccional	0.2-1
Near Field Communication (NFC)	Permite radio comunicación entre 2 dispositivos al tocarse o estar a algunos centímetros de distancia	0-0.2
ZigBee (WPAN)	Es pequeño, de bajo precio y adecuado para dispositivos que necesitan una larga vida de la batería y tienen baja densidad de transmisión de datos.	0-100
Wireless Body Area Networks (WBAN)	Conecta nodos independientes a cortas distancias, se utiliza mayormente en aplicaciones médicas.	-
LoRa (LPWAN)	Es un sistema robusto y de bajo costo y consumo que tiene alta eficiencia.	5000-15000
Insteon	Es un tipo de comunicación híbrida que utiliza cables y señales de radio, se utiliza principalmente en casas inteligentes.	0-120
WirelessHART	Utiliza el protocolo digital HART para comunicación en ambas direcciones mientras el canal no se encuentre ocupado.	0-225
ANT+	Es un protocolo que funciona a 2.4Ghz y tiene bajo consumo de batería.	0-30
RuBee	Permite la transmisión de datos bajo demanda al operar en banda de longitud de onda larga utilizando el campo magnético. Son de bajo consumo y se clasifican como controladores y respondedores.	0-30
SigFox (LPWAN)	Tiene alta cobertura de área y se utiliza para aplicación que necesitan poca transmisión de datos.	0-40000

Entre la comunicación inalámbrica también se encuentran las siguientes tecnologías celulares [52]:

- 2G: Primer standard digital para celulares
- 3G: Diseñada para enviar y recibir servicio multimedia a altas tasa de bits.
- 4G: Sobrepasa a las tecnologías 2G y 3G y tiene mayores velocidades de datos.
- LTE/LTE-A/LTE-A Pro: Proporcionan aumento en la capacidad y velocidad de datos con ayuda de nuevas técnicas de modulación.
- 5G: Continúa el camino de la tecnología LTE y mejora los sistemas de redes dejando atrás a la tecnología 5G.

Dado a las necesidades del sistema se descartan las tecnologías celulares para la transmisión de datos. Además, las tecnologías que tienen rangos de km se consideran innecesarios. Por el contrario, RF, infrarrojo, bluetooth, NFC, WBAN, ANT+ y RuBee también son descartadas porque su rango puede llegar a ser insuficiente para cumplir la métrica

planteada en la sección 4.2.3 que indica que debe tener un rango de entre dos y tres metros. De igual manera se descarta la tecnología Insteon debido a la utilización de cables. En consecuencia, las opciones posibles se reducen a Wi-Fi, ZigBee y WirelessHART.

En cuanto al control si se da de manera inalámbrica las únicas 2 tecnologías que cumplen los requerimientos son bluetooth y RF ya que las otras tienen un rango insuficiente o muy elevado por lo que podría llegar a ser peligroso que se active un control por accidente estando a una distancia donde no sea notorio.

El uso de RF se ve limitado, esta tecnología presenta grandes ventajas ya que puede optimizar el espacio la potencia y el rendimiento. Pero consigo lleva factores importantes asociados como lo es el costo, que en caso de querer un servicio personalizado se requeriría de una producción de al menos 100 000 para que sea rentable. Existen compañías que venden esta tecnología a precios bajos y con un buen funcionamiento. En consecuencia, este tipo de control es más viable para este proyecto.

## 2) Identificador de máquina

En el ámbito industrial se utilizan diferentes métodos para la identificación de máquinas, productos, entre otros. A continuación, se presentan algunos de los métodos más utilizados:

- Botón de número serial: Es un número de registro electrónico que permite identificación automática al contacto. En la Figura 3. 4 se muestra el identificador, cubierto por un plástico negro, el cual debe tener una batería y se necesita un lector, se muestra en la esquina inferior izquierda de la imagen, para poder leer el registro del identificador [55] [56] [57].



**Figura 3. 4** Botón de número serial [56]

- **Sensores ópticos:** Puede ser un código de barras que almacena información y está compuesto por barras [58]. También existen los códigos QR que pueden guardar información que se puede escanear con la cámara de un teléfono o con un lector especial como el de la Figura 3. 5. Tienen ventajas sobre los códigos de barras debido a la cantidad de información que pueden almacenar [59] [60].



**Figura 3. 5** Sensor óptico [59]

### 3.4.6 Combinación de conceptos

En esta etapa se realiza la combinación de conceptos, esta se dividió en dos etapas para disminuir la complejidad del problema. En la primera se consideran los factores que se relacionan a la funcionalidad del carro a la distancia según se requiere, los cuales se encuentran en la Tabla 3. 14. La segunda etapa considera los factores externos del proyecto que van a definir características importantes en torno a la interacción que deberá tener el usuario con el carro. Luego se presenta una etapa de filtrado previa en la que se seleccionarán las dos mejores opciones de la etapa 1 y tres de la etapa 2, luego serán combinadas dando lugar a 6 soluciones finales.

**Tabla 3. 14** Primera etapa de la generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia

Tipo de control	Comunicación	Tubo
Panel de control	Wi-Fi	En forma de resorte
Control remoto (RF)	ZigBee	Carrucha
	WirelessHART	

Concepto A: Se propone un modo de control únicamente con un panel fijo en el carro. Para la transmisión de datos se propone el uso de Wi-Fi. Por último, para el tubo se plantea que tenga forma similar a un resorte con el fin de estirarse y colocarse de vuelta en su lugar.

Concepto B: Se propone un modo de control únicamente con un panel fijo en el carro. Para la transmisión de datos se propone el uso de Wi-Fi. Por último, para el tubo se plantea un sistema de carrucha que permita enrollar el tubo según la distancia que se necesite.

Concepto C: Se propone un modo de control únicamente con un panel fijo en el carro. Para la transmisión de datos se propone el uso de ZigBee. Por último, para el tubo se plantea que tenga forma similar a un resorte con el fin de estirarse y colocarse de vuelta en su lugar.

Concepto D: Se propone un modo de control únicamente con un panel fijo en el carro. Para la transmisión de datos se propone el uso de ZigBee. Por último, para el tubo se plantea un sistema de carrucha que permita enrollar el tubo según la distancia que se necesite.

Concepto E: Se propone un modo de control únicamente con un panel fijo en el carro. Para la transmisión de datos se propone el uso de WirelessHART. Por último, para el tubo se plantea que tenga forma similar a un resorte con el fin de estirarse y colocarse de vuelta en su lugar.

Concepto F: Se propone un modo de control únicamente con un panel fijo en el carro. Para la transmisión de datos se propone el uso de WirelessHART. Por último, para el tubo se plantea un sistema de carrucha que permita enrollar el tubo según la distancia que se necesite.

Concepto G: Se propone un modo de control con un panel fijo en el carro y un pequeño control remoto conectado por RF con las funciones básicas únicamente. Para la transmisión de datos se propone el uso de Wi-Fi. Por último, para el tubo se plantea que tenga forma similar a un resorte con el fin de estirarse y colocarse de vuelta en su lugar.

Concepto H: Se propone un modo de control con un panel fijo en el carro y un pequeño control remoto conectado por RF con las funciones básicas únicamente. Para la transmisión de datos se propone el uso de Wi-Fi. Por último, para el tubo se plantea un sistema de carrucha que permita enrollar el tubo según la distancia que se necesite.

Concepto I: Se propone un modo de control con un panel fijo en el carro y un pequeño control remoto conectado por RF con las funciones básicas únicamente. Para la transmisión de datos se propone el uso de ZigBee. Por último, para el tubo se plantea que tenga forma similar a un resorte con el fin de estirarse y colocarse de vuelta en su lugar.

Concepto J: Se propone un modo de control con un panel fijo en el carro y un pequeño control remoto conectado por RF con las funciones básicas únicamente. Para la transmisión de datos se propone el uso de ZigBee. Por último, para el tubo se plantea un sistema de carrucha que permita enrollar el tubo según la distancia que se necesite.

Concepto K: Se propone un modo de control con un panel fijo en el carro y un pequeño control remoto conectado por RF con las funciones básicas únicamente. Para la transmisión de datos

se propone el uso de WirelessHART. Por último, para el tubo se plantea que tenga forma similar a un resorte con el fin de estirarse y colocarse de vuelta en su lugar.

Concepto L: Se propone un modo de control con un panel fijo en el carro y un pequeño control remoto conectado por RF con las funciones básicas únicamente. Para la transmisión de datos se propone el uso de WirelessHART. Por último, para el tubo se plantea un sistema de carrucha que permita enrollar el tubo según la distancia que se necesite.

Con el fin de poder seleccionar los conceptos más adecuados se evalúan las siguientes características:

- Mantenimiento: Necesidad de cambio de piezas y mantenimiento preventivo.
- Capacidad energética: Cantidad de usos que se le puede dar con una sola carga de la batería.
- Costo: Precio de las partes.
- Rango: Distancia desde la que se puede utilizar el sistema.
- Facilidad de uso: Complejidad de control y uso.

En la Tabla 3.15 hace el primer filtrado de conceptos en el que se eligen los 2 mejores de este grupo. Se toma como referencia el concepto C por lo que todas sus casillas se evalúan con 0 y para los otros conceptos se evalúan con un 0 si no representan ventajas o desventajas en el aspecto a evaluar, un signo de más (+) si son mejores o un signo de menos (-) si son peores.

**Tabla 3. 15** Primera etapa del filtrado de conceptos. Fuente: Elaboración propia

Criterios de selección	Conceptos											
	A	B	C (R)	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Mantenimiento	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
Capacidad energética	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo	+	+	0	0	-	-	+	+	0	0	-	-
Rango	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+
Facilidad de uso	0	-	0	-	0	-	+	0	+	0	+	0
Suma +	1	1	0	0	0	0	3	2	2	1	2	1
Suma 0	4	3	5	4	4	3	1	2	2	3	1	2
Suma -	0	1	0	1	1	2	1	1	1	1	2	2
Evaluación neta	1	0	0	-1	-1	-2	2	1	1	0	0	-1
Lugar	2	5	5	9	9	12	1	2	2	5	5	9
¿Continuar?	Si	No	No	No	No	No	Sí	No	No	No	No	No

De esta etapa única los conceptos G y A pasan a formar parte del grupo de conceptos finales. Entre los conceptos que empatan en el segundo lugar se decide proceder con el A ya que es el más distinto y se desea preservar la variabilidad de las soluciones.

En la segunda etapa se combinan los conceptos restantes mostrados en la Tabla 3. 16.

**Tabla 3. 16** Segunda etapa de la generación de conceptos. Fuente: Elaboración propia

Llantas	Manijas	Identificador
4 ruedas giratorias	Manijas verticales	iButton
2 ruedas giratorias	Manija horizontal	Óptico

Concepto A': Esta solución utiliza 4 ruedas giratorias, una en cada esquina. En uno de los extremos se encuentran dos manijas en posición vertical. A los testers se les asigna una identificación iButton y en el carro se coloca un lector para los iButton.

Concepto B': Esta solución utiliza 4 ruedas giratorias, una en cada esquina. En uno de los extremos se encuentran dos manijas en posición vertical. En este caso la identificación de los testers se realiza por medio de un código QR asignado a cada uno y un lector en el carro.

Concepto C': Esta solución utiliza 4 ruedas giratorias, una en cada esquina. En uno de los extremos tiene una manija horizontal que sirve para empujar el carro. A los testers se les asigna una identificación iButton y en el carro se coloca un lector para los iButton.

Concepto D': Esta solución utiliza 4 ruedas giratorias, una en cada esquina. En uno de los extremos tiene una manija horizontal que sirve para empujar el carro. En este caso la identificación de los testers se realiza por medio de un código QR asignado a cada uno y un lector en el carro.

Concepto E': Para movilizar el carro se tienen 2 ruedas giratorias y 2 que no giran, las ruedas giratorias se encuentran en el mismo extremo que las manijas. En uno de los extremos se encuentran dos manijas en posición vertical. A los testers se les asigna una identificación iButton y en el carro se coloca un lector para los iButton.

Concepto F': Para movilizar el carro se tienen 2 ruedas giratorias y 2 que no giran, las ruedas giratorias se encuentran en el mismo extremo que las manijas. En uno de los extremos se encuentran dos manijas en posición vertical. En este caso la identificación de los testers se realiza por medio de un código QR asignado a cada uno y un lector en el carro.

Concepto G': Para movilizar el carro se tienen 2 ruedas giratorias y 2 que no giran, las ruedas giratorias se encuentran en el mismo extremo que las manijas. En uno de los extremos tiene una manija horizontal que sirve para empujar el carro. A los testers se les asigna una identificación iButton y en el carro se coloca un lector para los iButton.

Concepto H': Para movilizar el carro se tienen 2 ruedas giratorias y 2 que no giran, las ruedas giratorias se encuentran en el mismo extremo que las manijas. En uno de los extremos tiene una manija horizontal que sirve para empujar el carro. En este caso la identificación de los testers se realiza por medio de un código QR asignado a cada uno y un lector en el carro.

En la Tabla 3.17 se realizó un filtrado de conceptos previo en el que los 3 mejores se utilizaron para los conceptos completos. El concepto A' se toma como referencia. Se evaluaron las siguientes características:

- Mantenimiento: Necesidad de cambio de piezas y mantenimiento preventivo.
- Fuerza: Fuerza necesaria para manejar el carro.
- Tamaño: Dimensiones del dispositivo.
- Costo: Precio de las partes.
- Facilidad de uso: Complejidad de control y uso.

**Tabla 3. 17** Primera etapa del filtrado de conceptos. Fuente: Elaboración propia

Criterios de selección	Conceptos							
	A' (R)	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'
Mantenimiento	0	0	0	0	+	+	+	+
Fuerza	0	0	-	-	+	+	0	0
Tamaño	0	0	+	+	0	0	+	+
Costo	0	-	0	-	+	0	+	0
Facilidad de uso	0	0	-	-	+	+	0	0
Suma +	0	0	1	1	4	3	3	2
Suma 0	0	4	2	1	1	2	2	3
Suma -	0	1	2	3	0	0	0	0
Evaluación neta	0	-1	-1	-2	4	3	3	2
Lugar	5	6	6	8	1	2	2	4
¿Continuar?	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No

A partir de las calificaciones de la tabla se continúa con los conceptos E', F' y G' los cuales se describen a continuación como conceptos completos

Concepto 1: G y E'

El carro se desplazará con 4 ruedas, una en cada extremo, de las cuales 2 será giratorias y se ubicarán al lado de las manijas. Además, se tendrán dos manijas en posición vertical separadas a una distancia ergonómica para el usuario. Por otra parte, la identificación de la máquina con la cual se trabaja se realizará por medio de un identificador iButton. En este concepto se plantea el uso de un panel de control fijo en el carro y un pequeño control remoto que se conecte por medio de RF y permita realizar funciones básicas. Además, se cuenta con un tubo que tiene forma de resorte el cual se puede estirar para alcanzar lugares más alejados y vuelve a su forma original lo que evita desorden. La transmisión de datos se realizará por medio de Wi-Fi lo que permite enviar los datos a la computadora que los analizará.

Partes:

- 2 ruedas giratorias
- 2 ruedas no giratorias
- Cubeto de retención
- Paredes de aleación de aluminio

- Manijas
- Panel de control
- Módulo RF
- Botones
- Microcontrolador
- Sensor inductivo
- iButton
- Lector de iButton
- Bomba
- Batería
- Tubo
- Módulo wifi

#### Concepto 2: G y F'

El carro se desplazará con 4 ruedas, una en cada extremo, de las cuales 2 será giratorias y se ubicarán al lado de las manijas. Además, se tendrán dos manijas en posición vertical separadas a una distancia ergonómica para el usuario. La identificación de las máquinas se realizará por medio de un sensor óptico que puede leer un código QR asignado a cada máquina. En este concepto se plantea el uso de un panel de control fijo en el carro y un pequeño control remoto que se conecte por medio de RF y permita realizar funciones básicas. Además, se cuenta con un tubo que tiene forma de resorte el cual se puede estirar para alcanzar lugares más alejados y vuelve a su forma original lo que evita desorden. La transmisión de datos se realizará por medio de Wi-Fi lo que permite enviar los datos a la computadora que los analizará.

#### Partes:

- 2 ruedas giratorias
- 2 ruedas no giratorias
- Cubeto de retención
- Paredes de aleación de aluminio
- Manijas
- Panel de control
- Módulo RF
- Botones
- Microcontrolador

- Sensor inductivo
- Lector de QR
- Bomba
- Batería
- Tubo
- Módulo wifi

### Concepto 3: G y G'

El carro se desplazará con 4 ruedas, una en cada extremo, de las cuales 2 serán giratorias y se ubicarán al lado de las manijas. Se tiene una manija horizontal a uno de los lados del carro que permite empujarlo. Por otra parte, la identificación de la máquina con la cual se trabaja se realizará por medio de un identificador iButton. En este concepto se plantea el uso de un panel de control fijo en el carro y un pequeño control remoto que se conecte por medio de bluetooth y permita realizar funciones básicas. Además, se cuenta con un tubo que tiene forma de resorte el cual se puede estirar para alcanzar lugares más alejados y vuelve a su forma original lo que evita desorden. La transmisión de datos se realizará por medio de Wi-Fi lo que permite enviar los datos a la computadora que los analizará.

### Partes:

- 2 ruedas giratorias
- 2 ruedas no giratorias
- Cubeto de retención
- Paredes de aleación de aluminio
- Manija horizontal
- Panel de control
- Microcontrolador
- Sensor inductivo
- iButton
- Lector de iButton
- Bomba
- Batería
- Tubo
- Módulo wifi

#### Concepto 4: A y E'

El carro se desplazará con 4 ruedas, una en cada extremo, de las cuales 2 será giratorias y se ubicarán al lado de las manijas. Además, se tendrán dos manijas en posición vertical separadas a una distancia ergonómica para el usuario. Por otra parte, la identificación de la máquina con la cual se trabaja se realizará por medio de un identificador iButton. Se plantea el uso de un panel de control fijo en el carro. Además, se cuenta con un tubo que tiene forma de resorte el cual se puede estirar para alcanzar lugares más alejados y vuelve a su forma original lo que evita desorden. La transmisión de datos se realizará por medio de Wi-Fi lo que permite enviar los datos a la computadora que los analizará.

#### Partes:

- 2 ruedas giratorias
- 2 ruedas no giratorias
- Cubeto de retención
- Paredes de aleación de aluminio
- Manija horizontal
- Panel de control
- Microcontrolador
- Sensor inductivo
- iButton
- Lector de iButton
- Bomba
- Batería
- Tubo
- Módulo wifi

#### Concepto 5: A y F'

El carro se desplazará con 4 ruedas, una en cada extremo, de las cuales 2 será giratorias y se ubicarán al lado de las manijas. Además, se tendrán dos manijas en posición vertical separadas a una distancia ergonómica para el usuario. La identificación de las máquinas se realizará por medio de un sensor óptico que puede leer un código QR asignado a cada máquina. Se plantea el uso de un panel de control fijo en el carro. Además, se cuenta con un tubo que tiene forma de resorte el cual se puede estirar para alcanzar lugares más alejados y vuelve a su forma original lo que evita desorden. La transmisión de datos se realizará por medio de Wi-Fi lo que permite enviar los datos a la computadora que los analizará.

Partes:

- 2 ruedas no giratorias
- Cubeto de retención
- Paredes de aleación de aluminio
- Manijas
- Panel de control
- Microcontrolador
- Sensor inductivo
- Lector de QR
- Bomba
- Batería
- Tubo
- Módulo wifi

Concepto 6: A y G'

El carro se desplazará con 4 ruedas, una en cada extremo, de las cuales 2 será giratorias y se ubicarán al lado de las manijas. Se tiene una manija horizontal a uno de los lados del carro que permite empujarlo. Por otra parte, la identificación de la máquina con la cual se trabaja se realizará por medio de un identificador iButton. Se plantea el uso de un panel de control fijo en el carro. Además, se cuenta con un tubo que tiene forma de resorte el cual se puede estirar para alcanzar lugares más alejados y vuelve a su forma original lo que evita desorden. La transmisión de datos se realizará por medio de Wi-Fi lo que permite enviar los datos a la computadora que los analizará.

Partes:

- 2 ruedas no giratorias
- Cubeto de retención
- Paredes de aleación de aluminio
- Manija horizontal
- Panel de control
- Microcontrolador
- Sensor inductivo
- iButton
- Lector de iButton

- Bomba
- Batería
- Tubo
- Módulo wifi

#### **4.2.7 Estudio de selección de conceptos**

A continuación, se realiza la selección de los conceptos finalizados. Se evalúan a partir de las siguientes características:

- Mantenimiento: Necesidad de cambio de piezas y mantenimiento preventivo.
- Capacidad energética: Cantidad de usos que se le puede dar con una sola carga de la batería.
- Costo: Precio de las partes.
- Rango: Distancia desde la que se puede utilizar el sistema.
- Facilidad de uso: Complejidad de control y uso.
- Fuerza: Fuerza necesaria para manejar el carro.
- Tamaño: Dimensiones del dispositivo.

#### **Filtrado de conceptos**

A continuación, se presenta la Tabla 3.18 con la calificación de conceptos con respecto a las propiedades de movimiento, ubicación y tipo de almacenamiento, en esta tabla se toma como referencia el concepto 6, denotado con (R) de referencia. El criterio de selección de costo no se toma en cuenta ya que fue considerado en el filtrado anterior.

**Tabla 3. 18** Filtrado de conceptos de movimiento, ubicación y tipo de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia

Criterios de selección	Soluciones					
	1 (R)	2	3	4	5	6
Mantenimiento	0	+	0	0	+	0
Capacidad energética	0	0	0	0	0	0
Costo	0	-	0	+	-	+
Rango	0	0	0	-	-	-
Facilidad de uso	0	0	-	0	0	-
Fuerza	0	0	-	0	0	-
Tamaño	0	0	+	0	0	+
Suma +	0	1	1	1	1	2
Suma 0	7	5	4	5	4	2
Suma -	0	1	2	1	2	3
Evaluación neta	0	0	-1	0	-1	-1
Lugar	1	1	4	1	4	4
¿Continuar?	Sí	Sí	No	Sí	No	No

A partir de los resultados obtenidos de la tabla anterior se tienen los conceptos que se van a evaluar en la siguiente etapa. Estos son los conceptos 1, 2 y 4.

### **Evaluación de conceptos**

En Tabla 3. 19 se encuentra la evaluación de conceptos en la que se le asignó un peso a cada rubro. Cada solución va a ser evaluada en la columna de calificación (C) entre 1 y 5, siendo 5 la mejor. En la columna E se encuentra la evaluación que obtiene cada concepto relacionado a la calificación y el peso de cada rubro. El concepto con mayor calificación es el que se desarrollará. En este caso se utiliza el concepto 4 como referencia ya que al utilizar el concepto 1 en el filtrado sirvió como una referencia neutral.

**Tabla 3. 19** Evaluación de conceptos. Fuente: Elaboración propia

			Concepto					
			Concepto 1		Concepto 2		Concepto 4 (Referencia)	
de	Peso	C	E	C	E	C	E	
Mantenimiento	10%	3	0.3	4	0.4	3	0.3	
Capacidad energética	10%	2	0.2	2	0.2	3	0.3	
Costo	20%	2.5	0.5	1	0.2	3	0.6	
Rango	20%	4	0.8	4	0.8	3	0.45	
Facilidad de uso	20%	4	0.8	4	0.8	3	0.45	
Fuerza	10%	3	0.3	3	0.3	3	0.3	
Tamaño	10%	3	0.3	3	0.3	3	0.3	
	Total		3.2		3		3	
	Lugar		1		2		2	
¿Continuar?		Sí		No		No		

Como resultado de la evaluación de conceptos se decide continuar con el concepto 1. Sin embargo, por lineamientos de la empresa se debe hacer un cambio en el modo de transferencia de datos. Este consiste en realizar la transferencia de datos por conexión serial a una computadora de donde se hará el envío de datos. Este se debe a protocolos necesarios y la falta de tecnologías aprobadas en la empresa para el uso de IoT.

## Capítulo 4 Propuesta de diseño

En este capítulo se desarrolla detalladamente la solución seleccionada en el capítulo 3. Se describen los materiales, componentes, lineamientos y decisiones que explican el desarrollo de la solución. Inicialmente se presenta el desarrollo a nivel de sistema que explica las partes del sistema y como se relacionan entre ellas. Luego se presenta el desarrollo de detalle en el que se explica a fondo la composición de los sistemas y las decisiones que llevaron a ellos.

### 4.1 Desarrollo en el nivel de sistema

#### 4.1.1 Arquitectura de producto

A partir del concepto seleccionado se desarrolló el esquema del producto que se puede ver en la Figura 4. 1. En él se plantean subsistemas y las interconexiones tienen entre ellos que pueden ser de envía o recepción de señales, flujo de líquido A y flujo de fuerza o energía.

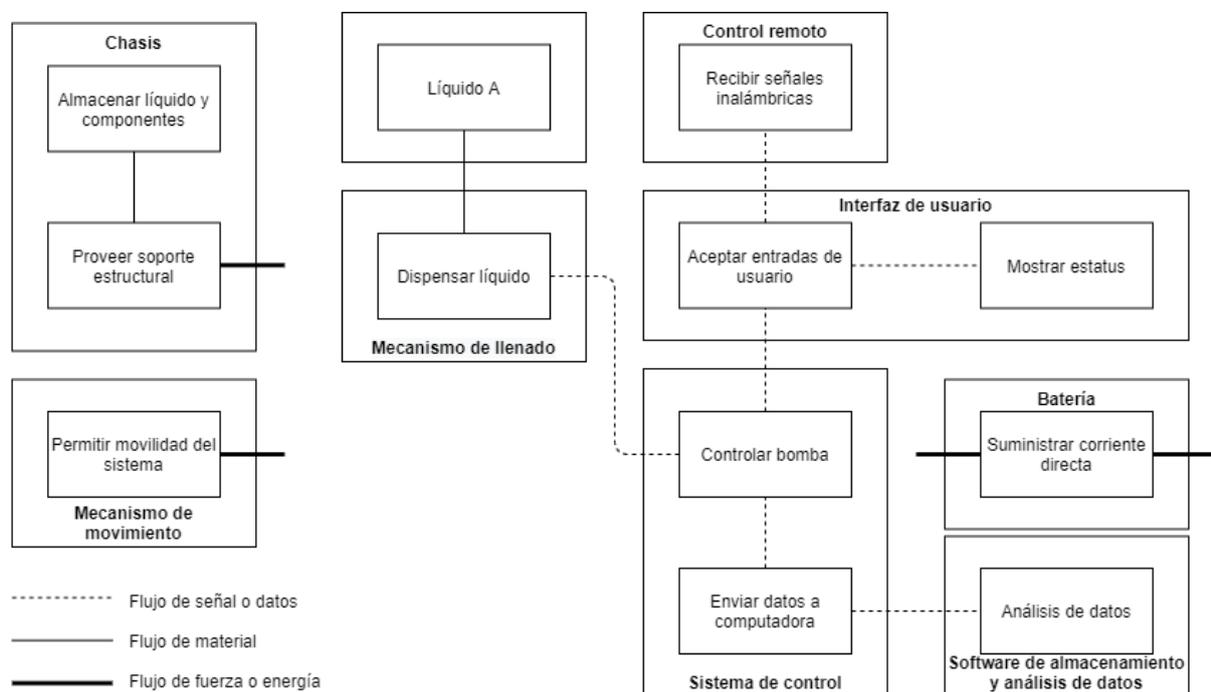


Figura 4. 1 Esquema del producto. Fuente: Elaboración propia

El chasis se compone por la estructura que almacena el líquido A, evitando fugas y el soporte estructural necesario. Incluye la carcasa de para el carro y un cubeto de retención para evitar accidentes en caso de derrame. El sistema de movimiento está formado por cuatro llantas, dos fijas y dos móviles al lado de las dos manijas verticales. Estos dos subsistemas se

encuentran unidos entre ellos y permiten a una persona movilizar el líquido alrededor del laboratorio sin riesgos.

El mecanismo de llenado se va a conectar directamente al recipiente en el que se tiene el líquido A y por medio de tubos se va a conectar a la bomba que va a movilizar el líquido al tanque. La bomba va a ser manipulada por el sistema de control que a su vez va a recibir datos de los distintos componentes que monitoreen el funcionamiento del sistema. Por otra parte, el sistema de control recibe la información necesaria que le indica como funcionar por medio de una interfaz de usuario que se encuentra fija en el carrito y permite indicar al sistema lo que se desea hacer. Además, la interfaz de usuario está conectada con un control remoto que permite iniciar y detener el sistema sin necesidad de estar en el panel de control.

El sistema de control a su vez se encarga de la transmisión de datos a una computadora, esto se realiza mediante una conexión serial. Una vez en la computadora los datos son almacenados y analizados. En el programa de análisis de datos se lleva un registro de consumo total y por máquina. Este también reporta al usuario de manera automática cuando se ha excedido las expectativas de consumo semanales.

La batería se encarga de alimentar todo el sistema, con ayuda de un convertidor de voltaje se alimentan las partes del circuito que no funcionan a 12 voltios. Debido al uso de la batería se debe cargar cuando esta llega a un límite de voltaje para que no se dañe. El sistema de carga consiste en conectar un cargador a un puerto del carro y un tomacorriente.

## **4.2 Diseño de detalle**

En esta sección del capítulo 4 se presentan los detalles de la solución descritos de manera detallada luego de una explicación general de la solución. Además, se incluye el análisis de los factores que llevaron a tomar las decisiones de selección de componentes y tecnologías para cada sistema.

### **4.2.1 Chasis y mecanismo de movimiento**

Como se mencionó en el capítulo 2 en las consideraciones de material para cuartos limpios se utiliza acero inoxidable como material principal. En [61] indican que AISI 304 es recomendado para el uso deseado debido a que posea alta resistencia a la corrosión y además es fácil de limpiar debido a que la porosidad es muy baja y no recolecta suciedad. De dicho material se fabrican las piezas correspondientes al chasis que no son estandarizadas, se eligió un calibre 20 ya que al tener un espesor bajo el peso no representa un problema y a su vez es lo suficientemente gruesa para ser soldada sin dañarla. El método de soldadura que se utiliza

para la sujeción de piezas es TIG la cual según [62] utiliza un electrodo no consumible y puede o no utilizar material de aporte, en caso de ser utilizado debe ser similar al material de las piezas soldadas. En el caso del acero inoxidable se recomienda el uso de corriente continua ya se con polaridad directa o inversa con una intensidad de entre 100 A y 200 A, al utilizar un electrodo de 2 mm de diámetro.

En la Tabla 4. 1 se encuentran las piezas utilizadas para la elaboración de la carcasa o chasis del sistema, los detalles de esos elementos se encuentran en la sección Apéndice 1: Planos.

**Tabla 4. 1** Lista de partes del chasis. Fuente: Elaboración propia

Parte	Material	Cantidad
Cajón	AISI 304	1
Puerta	AISI 304	1
Cubeto	AISI 304	1
Base para llantas	AISI 304	2
Base para panel	AISI 304	1
Tapa lateral	AISI 304	1
Manija	AISI 304	2
Panel de control	Acrílico	1
Bisagra	N/A	2
Rueda fija	Poliuretano y acero	2
Rueda móvil	Poliuretano y acero	2
Tornillos M5	N/A	8
Tornillos M10	N/A	16
Tornillos M3	N/A	4
Panel	Acrílico	1

Al igual que la carcasa las llantas deben ser de un material adecuado para su uso en un cuarto limpio y deben ser capaces de cumplir con los requerimientos de carga del sistema. En [63] se indica que las no deben tener hendiduras que permitan almacenar suciedad y deben ser de un material adecuado según el uso que se les da. Por dicha razón se eligieron llantas con partes de metal que cumplen los requerimientos mencionados y con la rueda de poliuretano que no dañan el piso, funcionan con distintos materiales y funciona en la mayoría de los tipos de piso. Otros factores también son importantes como los es el radio, se eligió de 10 mm ya que comercialmente es muy común y disminuye considerablemente el esfuerzo necesario para mover el carrito que otras con diámetros menores. Por otra parte, cada una aguanta una carga de más de 100 kg lo que cubre el requerimiento de soportar al menos una tercera parte del peso del sistema. En la Figura 4. 2 se muestran las llantas seleccionadas para el mecanismo de movimiento.



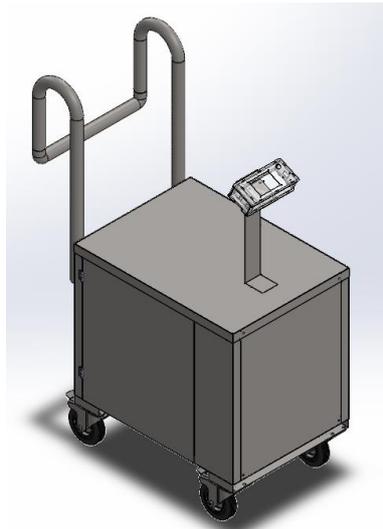
**Figura 4. 2** Ruedas seleccionadas [64]

En la Figura 4. 3 se muestra el chasis del carrito junto con el sistema de movimiento. Estos incluyen el cuerpo del sistema que posee dos compartimentos, uno para el líquido A y otro para componentes eléctricos que requieran ir dentro del sistema. El compartimento del líquido tiene una puerta que permite el rápido acceso para reemplaza el líquido. El compartimento de la parte electrónica se cierra con una tapa para evitar que una persona pueda sufrir un accidente y se puede abrir desatornillando la tapa en caso de ser necesario.

La carcasa del panel de control se encuentra fija, en posición inclinada, en la parte superior del carro a una placa de acero, lo que permite que se encuentre a una altura cómoda para el usuario ya que de lo contrario tendría que agacharse o estar en una posición no ergonómica para usarlo. El panel se encuentra al lado contrario de las manijas para que sea más fácil observar la información que hay en él y a su vez manejarlo ya que este es lado que se va a encontrar más cerca del tanque que se necesita recargar.

Se utiliza acrílico para la elaboración del panel ya que es un material adecuado para uso en cuarto limpio, no aumenta de manera significativa el peso del sistema y es fácil de trabajar por medio de corte laser. La resistencia del material no es un problema ya que no se encuentra en un punto donde deba ser sometido a esfuerzos considerables. Debido a que este material no se puede soldar va a utilizar tornillos como método de sujeción, independientemente del material esto es necesario para poder abrir el sistema en caso de que se desee realizar un cambio o una reparación.

En cuanto a la manija, se decidió utilizar una con dos agarraderas en posición vertical ya que es lo recomendado para herramientas que se empujen. Al igual que la carcasa es de acero inoxidable y se suelda a la estructura en la parte superior de uno de los lados. Tiene una unión entre ambos lados para evitar que se abran y dejen de ser paralelos entre sí.



**Figura 4. 3** Carrito dispensador de líquido A. Fuente: Elaboración propia

A partir del diseño detallado que se muestra en el Apéndice 1: Planos se obtiene la Tabla 4. 2 que muestra resumidos los datos más relevantes para que el sistema se considerado ergonómico. Como parte de los requerimientos estas no exceden a los límites planteados en el Capítulo 2 o en la Tabla 3. 8.

**Tabla 4. 2** Dimensiones relevantes relacionadas a factores ergonómicos. Fuente: Elaboración propia

Característica de interés	Dimensiones	Límite
Largo	819.09 mm	1000 mm
Ancho	459.75 mm	355 - 460 mm
Alto	1129.45 mm	1180 mm
Manijas	900-1129.45 mm	900 - 1150 mm
Distancia entre manijas	400 mm	335 - 447 mm
Masa	55.15 kg	N/A
Diámetro de las manijas	35 mm	30 - 45 mm

#### 4.2.2 Mecanismo de llenado

Este subsistema gira en torno a la bomba seleccionada en este caso es una bomba peristáltica marca Kamoer modelo KKDD-12S18A, como la que se observa en la Figura 4. 4 que funciona a 12 V y 1.2 A. La bomba tiene una relación de reducción a la velocidad del motor de 1:20 y utiliza tubo de silicona con un diámetro interno de 7.9 mm (5/16 in) y un diámetro externo de 11.1 mm (7/16 in) [64]. La selección de este tipo de bomba se realizó principalmente porque a diferencia de otros tipos de bomba presenta la ventaja de que el líquido toca únicamente el tubo y en consecuencia el único mantenimiento que requiero es remplazar él tuvo periódicamente.



**Figura 4. 4** Bomba peristáltica [65]

Los otros dos componentes importantes del sistema son un sensor de flujo y una válvula manual, ambos con un diámetro interno de 6.35 mm (1/4 in). Estos tienen un diámetro interno distinto al de la bomba ya que no fueron encontrados con las características necesarias, esto no representa un problema ya que se solucionó con el uso de acoples.

En la Tabla 4. 3 se muestra la lista de partes necesarias para ensamblar el sistema, exceptuando los componentes que funcionan con electricidad ya que estos son considerados propios del sistema de control.

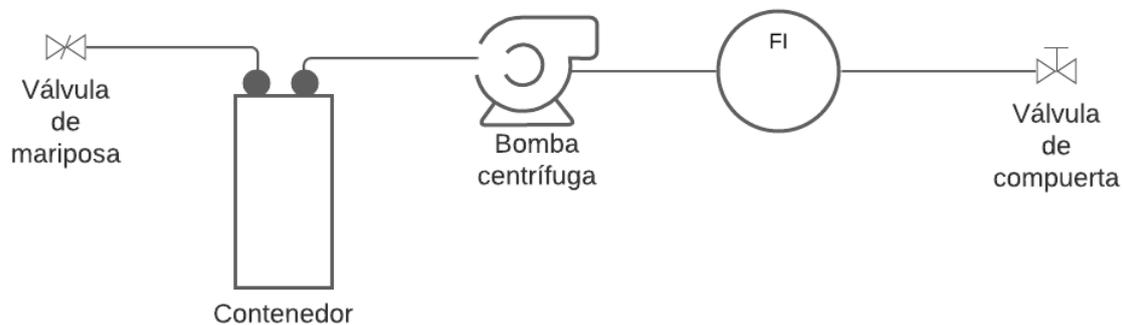
**Tabla 4. 3** Partes del mecanismo de llenado. Fuente: Elaboración propia

Parte	Descripción	Cantidad
Tubo rígido	Plástico ¼ pulgada ID	1
Tubo flexible	Silicona ¼ pulgada ID	3
Tubo en espiral	¼ pulgada ID	1
Adaptador 1/4 in a 5/16 in	1/4 rosca a 5/16	4
Conector 3/8 in	Compresión a NPTF	1
Válvula ¼ in	Válvula manual	1

La Figura 4. 5 muestra el esquema de conexión del mecanismo de llenado que permite que el líquido A circule desde su recipiente original hasta el tanque de la máquina deseada. El sistema tiene una válvula manual de 6.35 mm (1/4 in) de diámetro uno de sus extremos se encuentra libre con el fin de permitir la entrada de aire al recipiente cuando se la bomba se encuentra activa y el otro extremo de acopla a un adaptador de rosca. La válvula es manual ya que las automáticas funcionan con solenoides y el consumo de energía es muy elevado lo que disminuiría el tiempo de funcionamiento del sistema previo a necesitar recargarse. Esta válvula debe permanecer cerrada siempre que el sistema de llenado no se encuentre en uso ya que de lo contrario podrían escapar vapores del líquido A al medio ambiente. El otro extremo del acople se inserta en un trozo del tubo flexible y se asegura con una brida de plástico. El tubo se encuentra fijo a la tapa del recipiente de cinco galones.

La tapa que se utiliza es parte del sistema y se reutiliza cada vez que se reemplace el recipiente. Dicha tapa tiene otro agujero en el que por medio de un acople de compresión se conecta un tubo rígido que se encuentra dentro del recipiente y permite el drenado del líquido. El acople mencionado se encuentra fijo a la tapa y del otro extremo se conecta por medio de rosca a otro acople permite la conexión con un trozo de tubo flexible. El tubo conecta directamente al acople que tiene la bomba y se asegura en ambos extremos con bridas.

Del otro extremo de la bomba se fija otro tubo y un acople de la misma manera que del primer extremo. Al extremo roscado del último acople se le coloca el sensor de flujo y al sensor de flujo se le conecta un tubo en espiral con un acople del mismo tipo del que se utilizó al otro extremo. Por último, dicho tubo se conecta a una pistola que permite el paso al ser presionado el gatillo.



**Figura 4. 5** Diagrama de tubería e instrumentación. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4. 5 se encuentra el diagrama de conexión de tuberías del sistema que fue descrito previamente. Todas las tuberías indicadas son flexibles, la única rígida se encuentra dentro de recipiente. Los puntos representan los enlaces mecánicos que se explicaron previamente. El objetivo de la parte delo lado de la derecha es únicamente permitir el flujo de aire hacia dentro y fuera del recipiente mientras la bomba se encuentra activa.

### 4.2.3 Interfaz de usuario y control remoto

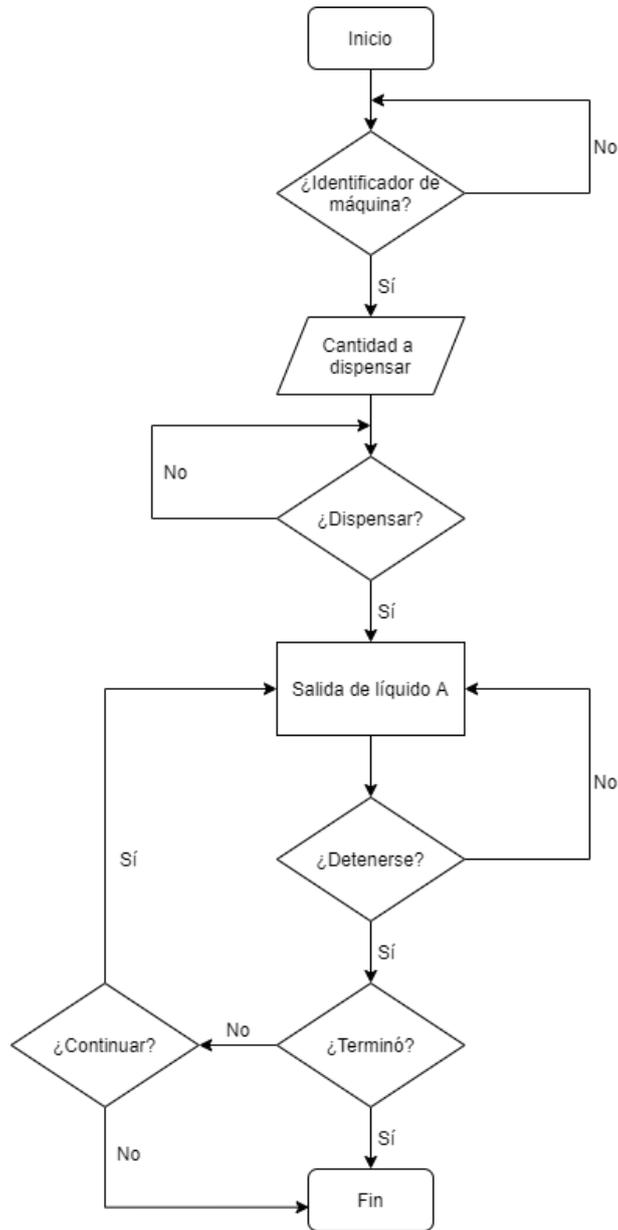
El carro cuenta con un panel de control que permite al usuario interactuar con el sistema según sea necesario. La implementación de una interfaz de usuario se considera necesaria debido a que el sistema es capaz de funcionar con distintos tipos de máquina y por ende el funcionamiento no siempre va a ser el mismo. Además, este permite mostrar información que es útil para el usuario.

En la Tabla 4. 4 se muestran los componentes que necesarios para que la interfaz de usuario sea funcional. Esta se compone de una pantalla LCD táctil que funciona a 3.3 V y un tablero que le permite conectarse directamente a un Arduino Mega. El uso de una pantalla de este tipo tiene la ventaja de que permite mostrar datos importantes mientras y a su vez puede recibir instrucciones.

**Tabla 4. 4** Componentes de la interfaz de usuario. Fuente: Elaboración propia

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Pantalla	LCD táctil 3.2 pulgadas	1
LCD board	Circuito de conexión para la pantalla	1
Lector de sonda	Permite leer iButtons	1
Control remoto	Control con un botón	1
Módulo de RF	Recibe señales del control	1
Botón	Botón que cambia de estado al ser presionado	1
RTC	Reloj de tiempo real	1

Como se muestra en la Figura 4. 6 el primer paso al utilizar el sistema consiste en registrar la máquina que se va a llenar por medio de un iButton, de lo contrario el sistema no podrá ser iniciado ya que es esencial el registro de datos para su análisis posterior. Luego el usuario puede seleccionar cuanto líquido desea dispensar entre las opciones de 3.79 litros (un galón) o la cantidad deseada al pulsar el botón donde se indica la cantidad lo que va a causar que se empiece en cero y se aumente 0.5 litros cada vez que se presiona el botón.



**Figura 4. 6** Diagrama de flujo de la interfaz de usuario. Fuente: Elaboración propia

Para poder acceder al modo de dispensar líquido se debe presionar el botón del menú principal de la interfaz que lo permite. En la Figura 4. 7 se observan las dos funcionalidades que ofrece el menú principal. Con presionar el botón correspondiente se accede a la pantalla que permite realizar lo que se indica.



**Figura 4. 7** Menú principal. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Proteus

La pantalla de llenado, ver Figura 4. 8, tiene un botón rojo que permite volver al menú principal, en caso de que se haya realizado alguna acción este botón también activa la acción de guardar datos. En la parte superior muestra el título de la pantalla e inmediatamente abajo el identificador de la máquina que se va a utilizar una vez fue escaneado su identificador. Debajo de la palabra “target” se encuentra la cantidad de líquido a dispensar, dicho recuadro también funciona como botón para cambiar la cantidad. Luego, en color cian oscuro se presenta un botón que permite iniciar o detener el proceso de dispensar líquido. Por último, al lado derecho se imprime el volumen que se ha dispensado hasta el momento, en la Figura 4. 8 se puede observar se lleva dos litros, valor se actualiza constantemente.



**Figura 4. 8** Pantalla de llenado de líquido A. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Proteus

Luego de decidir la cantidad deseada el sistema puede iniciar ya sea al ser activado directamente en el panel de control o de manera remota con el control que se muestra en la Figura 4. 9. Cuando se presiona el botón que tiene se activa o detiene la bomba dependiendo del estado en el que se encuentre, siempre que se haya introducido previamente la cantidad que se desea dispensar. El sistema también puede detenerse de manera forzada al presionar un botón de paro de emergencia rojo, como los de la Figura 4. 10, que se encuentra en el panel de control o por medio de un botón equivalente que se encuentra en la pantalla.



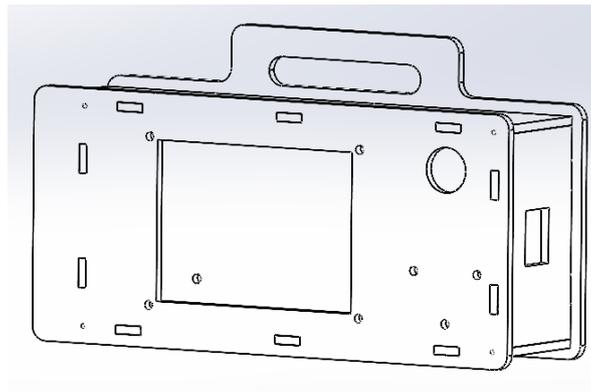
**Figura 4. 9** Control remoto por RF. [66]



**Figura 4. 10** Botón pulsador. [67]

En caso de que el sistema sea detenido antes de finalizar se puede continuar si así se desea. De lo contrario se termina el proceso y almacenan los datos de la cantidad de líquido que se dispensó. Lo mismo sucede si el sistema termina de dispensar la cantidad indicada inicialmente. Junto con la cantidad de líquido se almacena el número de máquina obtenido del lector serial y la fecha que indica el reloj de tiempo real. En el Anexo 5 se muestra el código de Arduino que controla todas las acciones descritas previamente en conjunto con el sistema de control que se describe en la siguiente sección.

En la Figura 4. 11 se muestra el modelo del panel de control elaborado en el programa SolidWorks. En la parte frontal tiene agujeros para una pantalla, un botón de paro de emergencia, un lector de número serial y tornillos. Al costado derecho tiene un agujero para un interruptor de apagado y encendido. Al lado izquierdo tiene una tapa que puede girar y da acceso a los conectores de alimentación y comunicación del microcontrolador. En la parte de arriba se encuentra una parte con un agujero que está destinada a colocar en control y la salida del tubo cuando no se estén utilizando.



**Figura 4. 11** Panel de control. Fuente: Elaboración propia

Elaborado en SolidWorks

#### 4.2.4 Sistema de control

Para que el sistema funcione necesita un microcontrolador que pueda cumplir con las funciones que se han asignado. Otros factores importantes que se tomaron en cuenta fueron el balance precio–capacidad, el consumo energético y la cantidad de puertos necesarios para implementar todo el sistema. Además, se tomó en cuenta que a futuro se desea cambiar el método de transmisión de datos por lo que se tomó en cuenta que el controlador utilice un lenguaje común y que no requiera de elementos difíciles de conseguir o caros como programadores especiales. A partir de este análisis se eligió el Arduino Mega 2560 Rev3, el mismo cuenta con suficientes pines de tanto analógicos como digitales, tiene un precio intermedio y para la programación lo único que se necesita es una computadora.

En la Tabla 4. 5 se muestra la lista de los componentes electrónicos relacionados al control del sistema. De estos la bomba utiliza para movilizar el líquido A y es controlada por un puente H que recibe una señal de control de un PID por medio del Arduino.

El objetivo del sensor de flujo es registrar la cantidad de líquido que se deposita en el tanque para así poder llevar un registro y a su vez detener la bomba cuando se llega al límite

deseado. El sensor seleccionado es modelo GR-R401 marca GREDIA el cual permite medir desde 0.3 a 6 litros por minuto. Es de tipo hall por lo que da como salida una frecuencia digital según la cantidad de flujo, el flujo que detecta es igual a la frecuencia entre un factor de 98 y tiene un posible error de 3%. La tensión de funcionamiento del sensor es de entre 5 y 24 voltios [68].

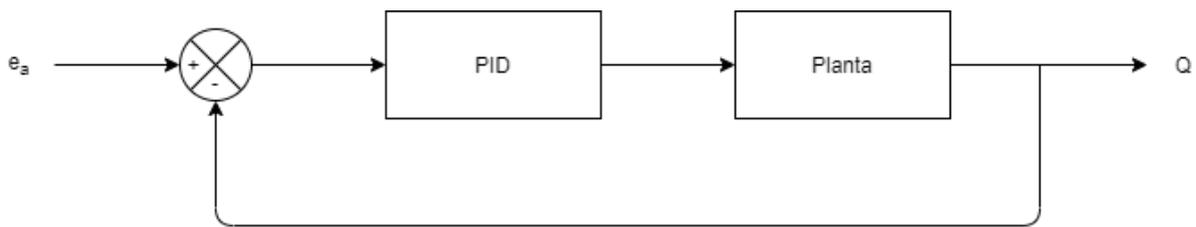
El sensor de nivel se encarga de verificar que el recipiente aún tenga líquido y de lo contrario alerta al usuario sin necesidad de tener que revisar dentro del carro. El modelo seleccionado es XKC-Y25-NPN que es un sensor que se encuentra apagado en caso de que no se detecte líquido. No es necesario el contacto con el líquido ya que este es capaz de detectar hasta a una distancia de 20 mm. Funciona en un rango de entre 5 y 12 V y tiene una protección IP 67 lo que significa que no le entra polvo y puede sumergirse hasta 30 minutos en líquido sin dañarse [69].

**Tabla 4. 5** Componentes del sistema de control. Fuente: Elaboración propia

Componente	Descripción	Cantidad
Arduino Mega	Microcontrolador	1
Bomba peristáltica	12 V	1
Sensor de flujo	Diámetro interno de 6.35 mm	1
Puente H	Controlador de la bomba	1
Sensor de nivel	Indica si el recipiente contiene líquido	1

En el Apéndice 2 se muestra la deducción matemática del modelo del sistema y la obtención de la función de transferencia. Al analizar la función de transferencia obtenida se identificó un error de estado estacionario muy elevado. Para corregirlo se implementó un controlador PID en serie con la planta (ver Figura 4. 12) con una realimentación unitaria que busca que el sistema mantenga un flujo de 1.24 litros. Tomando en cuenta que el sistema es estable y no se somete a perturbaciones un controlador con realimentación unitaria es suficiente para corregir el error de estado estacionario. Agregar una realimentación no unitaria permitiría al sistema dar una salida más exacta, pero por el tipo de aplicación que se está realizando no se considera necesario ya que el sensor de flujo permite obtener los datos necesarios. Otra razón por la que no se implementó una realimentación no unitaria es porque para lograrlo se requiere un convertidor de frecuencia (salida del sensor de flujo) a tensión (entrada del sistema) y esto aumentaría los gastos del sistema de manera innecesaria.

$$G(s) = \frac{1.10}{s^2 + s \cdot 1426 + 3.06 \times 10^5} \quad (A2.4. 1)$$



**Figura 4. 12** Controlador PID. Fuente: Elaboración propia

Ya que la función de transferencia obtenida es de segundo orden se obtuvo el controlador por el método de asignación de polos. En esta se encuentran dos polos dominantes y un polo no dominante que se encuentra a 10 veces la magnitud de los polos dominantes de distancia al cero. Para poder realizar los cálculos se definieron las especificaciones de diseño con el máximo sobre impulso de 5% y un error de estado igual a cero.

Al finalizar el proceso se calcula el controlador PID mostrado en la función

$$C(s) = \frac{s^2 2.26 + s 1117 + 2.46 \times 10^5}{s^2 9.11 \times 10^{-8} + s 0.0045} \quad (A3.4. 1)$$

Los factores del PID separados son:

$$k_p = 2.463 \times 10^5$$

$$k_i = 5.45 \times 10^7$$

$$k_d = 496.63$$

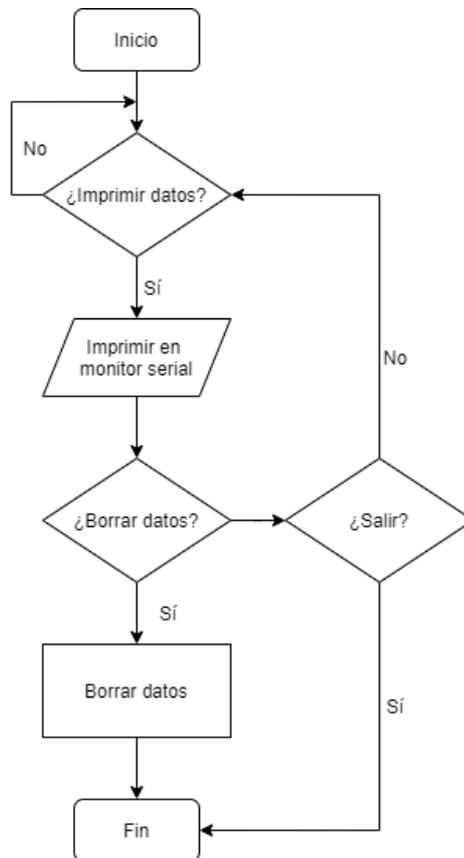
#### 4.2.5 Almacenamiento y análisis de datos

Cada vez que se utiliza el sistema para dispensar líquido al finalizar se almacenan los siguientes datos:

- Máquina: Se obtiene con un identificador de número serial que se encuentra en el panel de control
- Cantidad (en litros): Se registra el consumo por medio de un sensor de caudal a la salida de la bomba.
- Fecha: Se almacena automáticamente del microcontrolador.

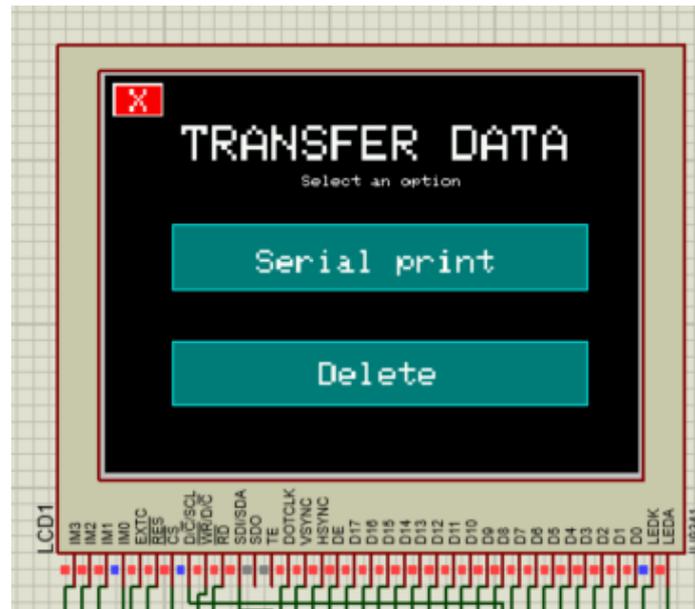
Los datos van a ser almacenados en el microcontrolador en forma de una lista hasta que se pasen a la computadora por transmisión serial. Se puede almacenar los datos de múltiples usos sin necesidad de pasarlos a la computadora. En la Figura 4. 13 se muestra el proceso que se sigue para transferir los datos. Una vez se ha conectado el cable de comunicación entre la

computadora y el Arduino se procede a presionar la opción de imprimir datos. Esta permite ir a la interfaz para imprimir los datos en el monitor serial y luego eliminarlos del sistema para que no ocupen espacio innecesario en la memoria. La opción de eliminarlos es manual ya que el usuario debe cerciorarse que los datos han sido almacenados antes de eliminarlos del sistema.



**Figura 4. 13** Diagrama de flujo del proceso de transmisión de datos. Fuente: Elaboración propia

La transmisión de datos se compone de dos etapas: impresión y borrado. En la Figura 4. 15 se pueden observar los botones respectivos, el objetivo de que se encuentren separados es evitar pérdidas de datos en caso de la impresión serial no se realice de manera correcta. Además, esta pantalla cuenta con un botón rojo con una “X” que le permite volver al menú.



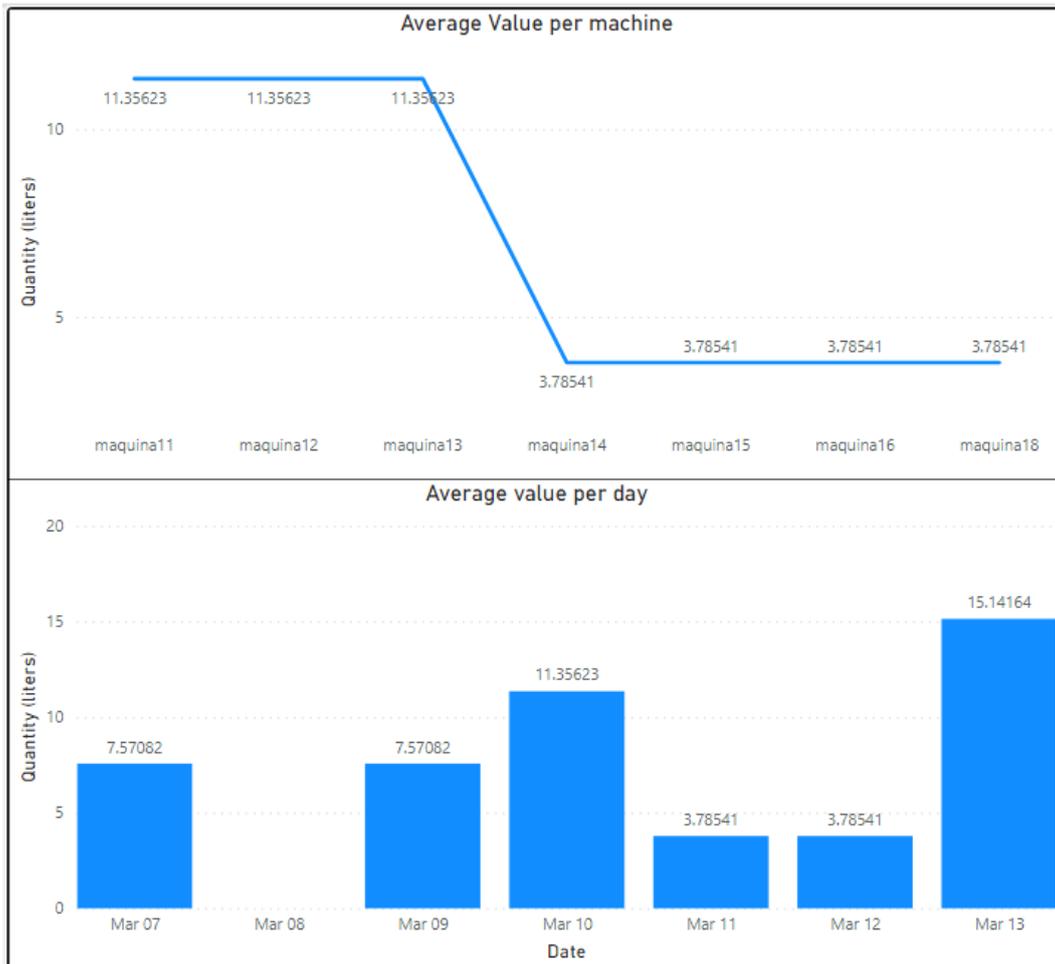
**Figura 4. 14** Pantalla de transferencia de datos. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Proteus

Al imprimir los datos en el monitor serial son almacenados en un documento de texto de formato de valores separados por comas con ayuda de un programa de Python. El documento siempre se almacena en el mismo lugar y en él se agregan los datos al final del documento a menos de que se encuentren repetidos, caso en el que son ignorados ya que esta anomalía se debe a que no se borraron los datos luego de imprimirlos. Dichos datos se agregan de forma automática y periódica a una base de datos en línea para ser analizados.

Para el análisis de datos se utiliza la herramienta Power BI ya que es un software de análisis de datos líder en el mundo y desarrollado por Microsoft. Entre los puntos que lo colocaron como el software seleccionado se encuentra su bajo costo, la facilidad de uso y la facilidad que presenta para compartir datos [70] [71]. En contraste con ser uno de los mejores en el área su uso es conveniente ya que Intel cuenta con la licencia correspondiente.

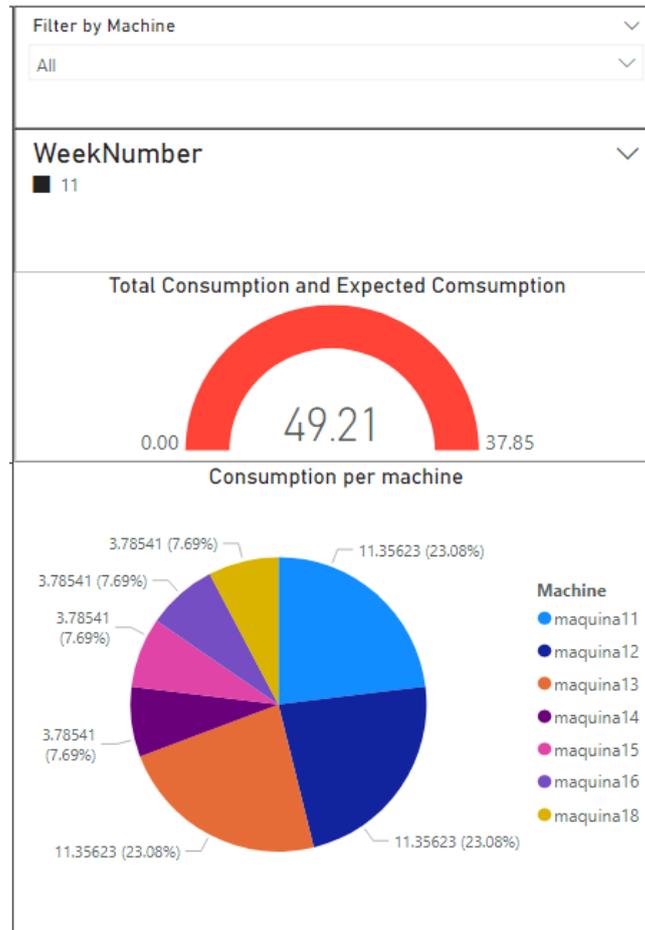
En la Figura 4. 15 se muestra una parte de cómo se ven los datos almacenados. En la parte superior se tiene el consumo del líquido A en litros por máquina. En la gráfica de abajo se muestra un diagrama de barras el consumo total por día. Dichos valores permiten al usuario detectar anomalías en el consumo. Por ejemplo, que un día se duplique el consumo o que una máquina requiera más cantidad de líquido que las otras, esto le permite analizar si los datos coinciden con el uso que se está dando o se detecta alguna falla o fuga debido al comportamiento inusual.



**Figura 4. 15** Consumo por máquina y por día. Fuente: Elaboración propia

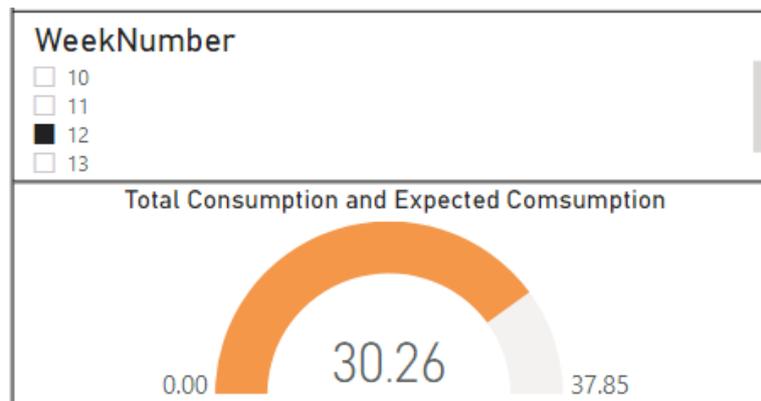
Elaborado con Power BI

Los datos se muestran por semana del año, formato utilizado en Intel, la cual calcula automáticamente en la aplicación. En la Figura 4. 16 se observa que de arriba hacia abajo se puede filtrar las máquinas de interés y la semana. Luego se ubica un gráfico de consumo total el cual muestra la cantidad en litros utilizada en la semana seleccionada y a la derecha muestra la cantidad esperada de 37.85 litros que es el equivalente a 10 galones. La última figura permite comparar gráfica y numéricamente el porcentaje de consumo por máquina de la semana seleccionada.



**Figura 4. 16** Consumo esperado y porcentaje de consumo por máquina. Fuente: Elaboración propia  
Elaborado con Power BI

En caso de que se exceda el límite de consumo deseado se enviará una alerta de manera automática a través de correo electrónico. De lo contrario, la gráfica que muestra el valor total de consumo por semana se verá como la de la Figura 4. 17, la barra ya no se encuentra en color rojo y tampoco toca el final.



**Figura 4. 17** Consumo dentro del límite. Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.6 Batería

En el capítulo 3 se planteó que el sistema debe ser móvil y no depender de la existencia de un tomacorriente cerca para funcionar. En consecuencia, se utilizan dos baterías una de 3.3 V para el control remoto y una de 12 V para la alimentación del resto del sistema. Sin embargo, no todos los componentes funcionan a 12 V por lo que se utiliza un controlador de voltaje para disminuir la tensión y poder alimentar los componentes que lo necesitan. El convertidor de voltaje digital seleccionado es de la marca DROK y es tipo *buck*, permite una entrada desde 5 a 32 V y una salida desde 0 V a 30 V [72]. Los otros componentes de la Tabla 4. 6 son parte del circuito mecanismo de carga.

**Tabla 4. 6** Componentes necesario para la alimentación del sistema. Fuente: Elaboración propia

Componente	Descripción	Cantidad
Batería de 12 V	Batería para el sistema	1
Batería de 3.3 V	Batería para el control remoto	1
Convertidor de voltaje	Variable para alimentación del Arduino	1
Cargador de computadora	Cargador de V y A	1
Circuito de desconexión	Desconecta al sobrepasar límite	1

La batería seleccionada es plomo- ácido con capacidad de 12 V y 19 Ah. Esta se carga con ayuda de un cargador para computadora de 15 V y 3 A, el cargador se va a conectar a un adaptador para su entrada en uno de los extremos del carro. El adaptador se va a conectar al circuito de desconexión que se ve en la Figura 4. 18 que permite cortar la alimentación cuando se sobre pasa el voltaje programado. Se decidió realizar la compra de este tipo de componentes para evitar la necesidad de circuitos soldados o en placas impresas ya que es más fácil reemplazarlos si llegan a dañarse.



**Figura 4. 18** Circuito de desconexión. [73]

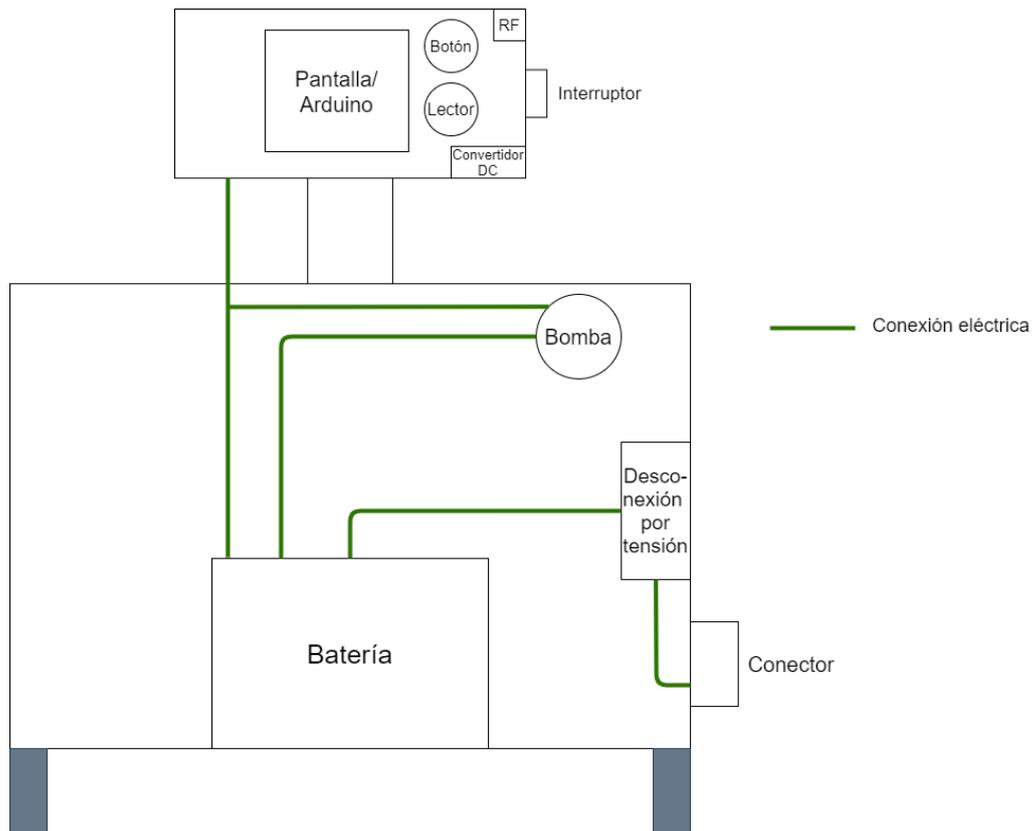
La razón por la que se carga la batería hasta 12.7 V es para respetar el límite superior que se encuentra a 13 V como se puede ver en la Tabla 4. 7. Otro factor importante es que la batería no se debe descargar por debajo de los 11.7 V, valor en el que aún funciona el sistema de manera adecuada, ya que en 11 aproximadamente se daña.

**Tabla 4. 7** Porcentaje de carga de una batería de 12 V para ser utilizada en un vehículo. [74]

VOLTAJE	PORCENTAJE DE CARGA	SITUACIÓN
13 V	100%	Cargada recientemente
12,5 V	80%	Óptima
12,3 V	60%	Óptima
12,1 V	40%	Carga limitada, los coches nuevos podrían no arrancar
11,9 V	20%	Necesidad de recarga
Menos de 11,7 V	0%	Coche inutilizado hasta que no se recargue la batería

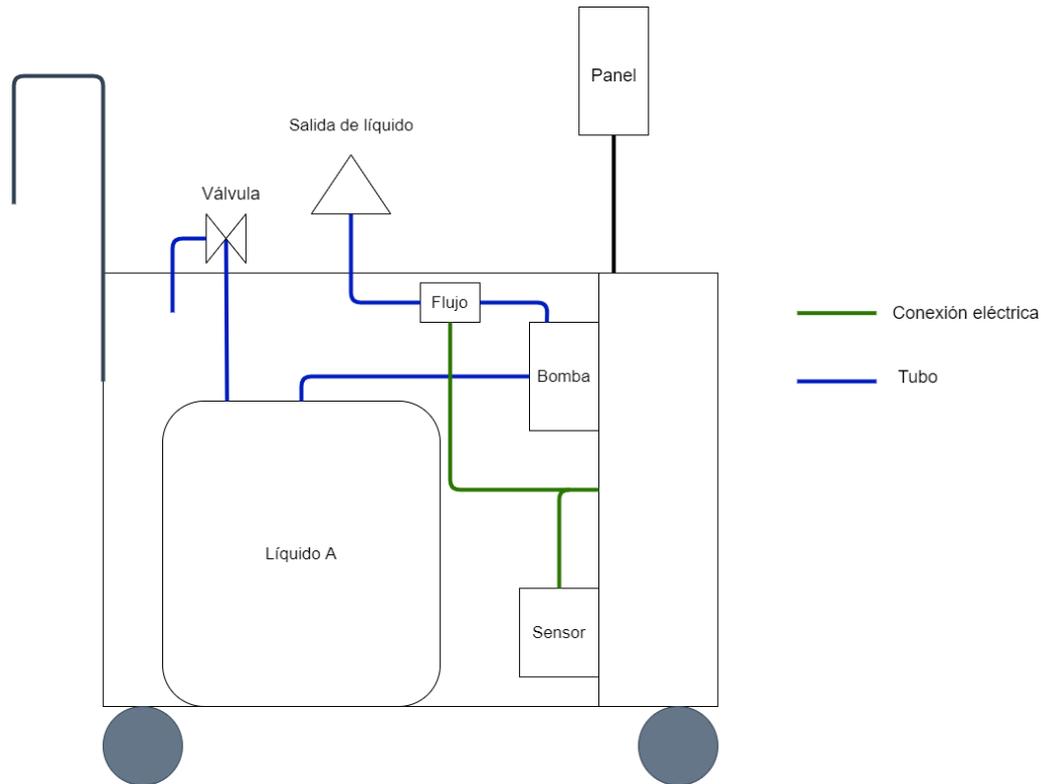
#### 4.2.7 Solución completa

En la Figura 4. 19 se muestra la ubicación de los diferentes componentes del sistema en el carro desde la vista frontal y sus conexiones eléctricas son representadas por una línea verde. En el panel de control se ubica el Arduino, la pantalla, el convertidor de tensión, el botón de paro, un interruptor, el receptor de RF y el lector del número serial. En la parte interna del carro se encuentra la bomba, la batería, un conector para carga y un módulo de desconexión que evita que se sobrecargue. Los cables necesarios para comunicación y alimentación entre ambas partes se pasan de manera conjunta.



**Figura 4. 19** Boceto de la solución completa vista frontal. Fuente: Elaboración propia

Además de las conexiones eléctricas mostradas en la Figura 4. 19 se tienen las de la Figura 4. 20 que se unen por un pequeño agujero en la pieza que divide los compartimentos y salen por el mismo lugar que las de la Figura 4. 19. En la Figura 4. 20 también se muestra en azul la conexión de los tubos, uno es la entrada al recipiente por lo que permite que entre aire al sistema y el otro gracias a la bomba permite la salida de líquido.



**Figura 4. 20** Boceto de la solución completa vista lateral. Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento tienen como objetivo evaluar que el sistema es realizable y cumple su funcionamiento con las características deseadas. Se realizaron las siguientes pruebas:

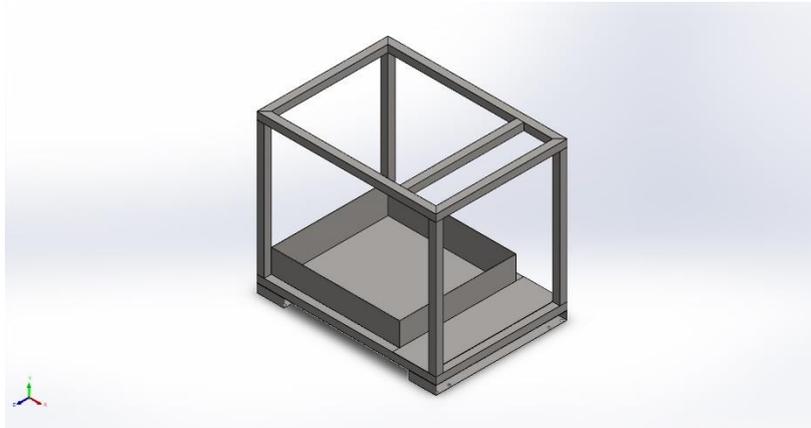
- 1) Estructural: Consiste en la verificación de que la estructura es capaz de soportar los esfuerzos estructurales que sufre debido al peso que causa ella misma y los componentes que se van a utilizar. En esta se comprueba que el sistema tenga un factor de seguridad de al menos 2.5 en las partes donde se sufren los mayores esfuerzos.
- 2) Ergonómica: Se obtiene el valor del peso del recipiente por medio de la evaluación del modelo CAD en Solid Works. A esto se le suma la masa del recipiente de líquido A en su estado lleno y la de los componentes. A partir de la masa se confirma que la fuerza necesaria para mover el carrito se mantenga dentro de los límites establecidos. Se complementa con una evaluación de riesgos de trabajo.
- 3) Eléctrica: Consiste en verificar que el sistema puede ser alimentado durante al menos una semana sin necesidad de que la fuente de alimentación sea recargada.

- 4) Sistema de control: Es la simulación del modelo matemático de la bomba con respecto al flujo de salida. Se realiza en Matlab y se comprueba que el controlador diseñado cause el comportamiento esperado.
- 5) Análisis de datos: Abarca la verificación del funcionamiento del programa de almacenamiento y análisis de datos realizado en la plataforma Power Bi.
- 6) Análisis financiero: Muestra la lista los componentes de todos los sistemas con su respectiva cotización. Además, se calcula el retorno de la inversión con respecto al tiempo que se ahorra en el proceso de llenado de líquido A.

## Capítulo 5 Resultados y análisis

### 5.1 Sistema estructural

El análisis del sistema estructural se realizó para comprobar que el sistema es seguro para su uso al tener un factor de seguridad lo suficientemente alto. Para esto se utiliza el criterio de Von Mises. Para poder realizar el análisis adecuado se tomó únicamente las partes del ensamble donde se sufren mayores esfuerzos como se muestra en la Figura 5. 1.



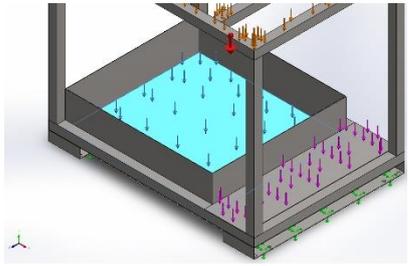
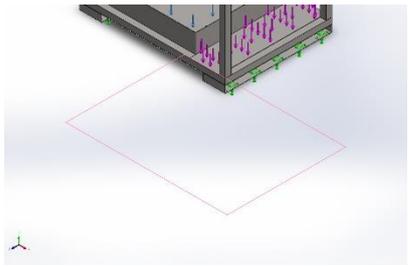
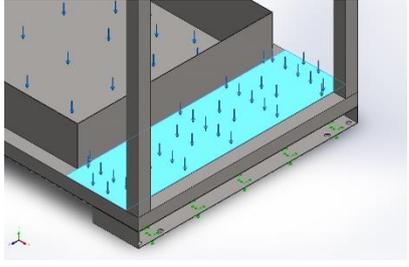
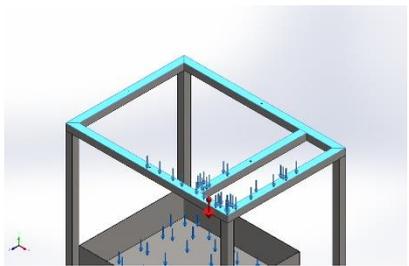
**Figura 5. 1** Sección del cajón se va a someter a fuerzas externas. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con SolidWorks

Para simular los elementos soldados se fijaron las piezas entre sí y la parte donde se ubican las llantas se fijó en el espacio. La primera fuerza que se aplicó es la que se ubica donde se coloca el recipiente de líquido A, que es de 180 N y corresponde a la masa del recipiente. El valor teórico de dicha masa es de 17 kg, por lo que ejerce una fuerza de 166.6 N, pero se elevó a 180 N. La segunda fuerza aplicada corresponde a al peso de la batería y otros componentes electrónicos, es de 70N y se ubica en el compartimento destinado para la batería. La última fuerza aplicada corresponde al peso de las piezas que no están siendo consideradas en el análisis ya que no se les aplica fuerzas considerables directamente, se tomó como 294 N permitiendo un margen para que se coloquen cosas sobre la parte de arriba del sistema y se aplica sobre la parte superior del esqueleto de la carcasa. Además, el sistema también fue sometido a una fuerza de gravedad. En la Tabla 5. 1 se muestran los detalles de las fuerzas aplicadas al sistema.

**Tabla 5. 1** Fuerzas aplicadas. Fuente: Elaboración propia

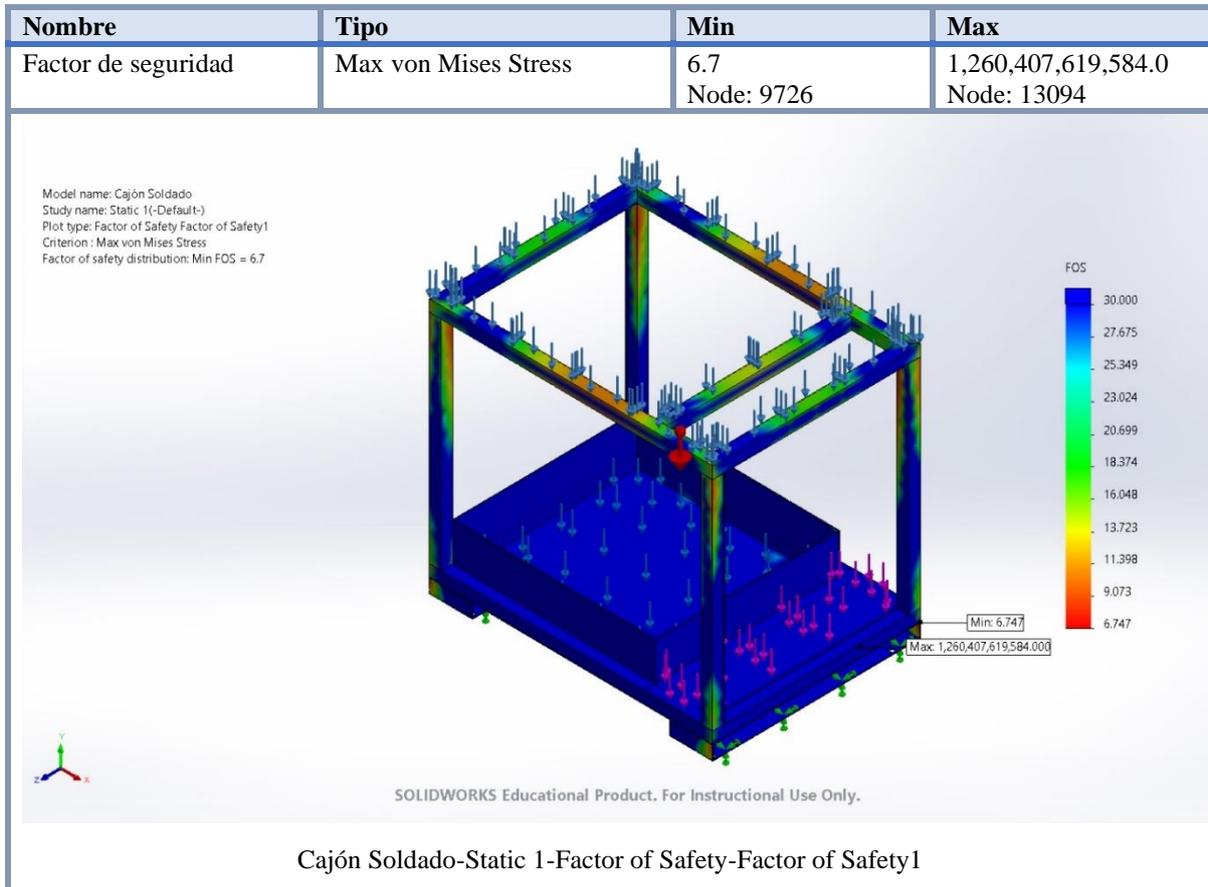
Elaborado con SolidWorks

Carga	Imagen de la carga	Detalles de carga
Fuerza 1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 180 N
Garvedad 1		Reference: Top Plane Values: 0 0 -9.81 Units: m/s^2
Fuerza 2		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 70 N
Fuerza 3		Entities: 5 face(s) Type: Apply normal force Value: 294 N

La simulación que se realizó en el sistema muestra que este puede soportar la carga causada por su propio peso como la que causan los elementos que se colocan en él. El factor de seguridad obtenido es mayor al necesario que es de 2.5, ya que como se muestra en la Tabla 5. 2 se obtuvo que en el punto más propenso a fallar el factor de seguridad es de 6.7. En consecuencia, es seguro el uso del sistema mecánico y no va a fallar por condiciones de uso normales.

**Tabla 5. 2** Detalles de factor de seguridad. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con SolidWorks



## 5.2 Ergonomía

El peso del sistema en conjunto con el coeficiente de fricción define la fuerza necesaria para mover el sistema se encuentra bajo el límite máximo. En la Tabla 5. 3 se muestra el valor de la masa en kilogramos del carro (tomada del modelo de SolidWorks), el recipiente de cinco galones de líquido A lleno, las llantas y el sistema eléctrico.

**Tabla 5. 3** Masa de las partes del sistema. Fuente: Elaboración propia

Elemento	Masa (kg)
Carro	28.15
Llantas	3
Líquido A	17
Sistema eléctrico	7
<b>Total</b>	<b>55.15</b>

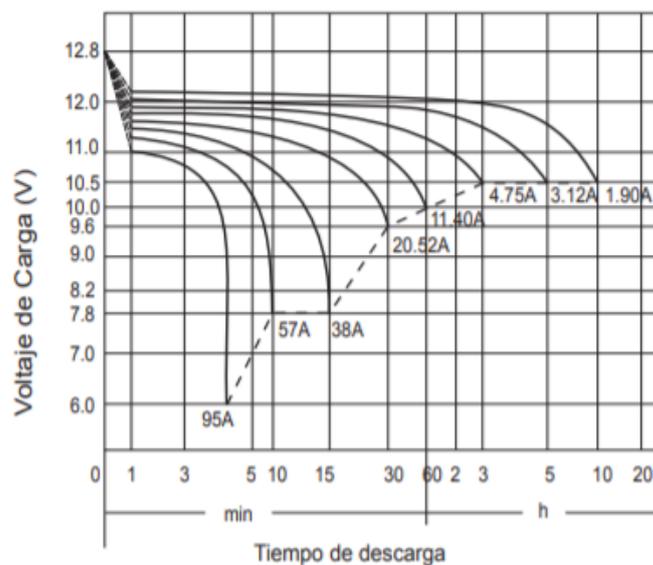
Dado a que las llantas no indican el coeficiente de fricción se tomó el valor teórico definido en el capítulo 3 para el poliuretano que es de 0.04. Al reemplazar los valores del radio de las llantas, la masa y el coeficiente de fricción en la ecuación ( 3. 4 ) se tiene que

$$F = 0.04 * \frac{55.15 * 9.8}{0.1016} = 212.78 \text{ N} \quad (5. 1)$$

Este valor es menor que el planteado como marginal en las métricas de proyecto. Para iniciar el movimiento se requiere una fuerza de 212.78 N lo cual es menor que 220 N por lo que se considera que el sistema se puede utilizar sin representar riesgos para el usuario. A pesar de que el sistema es considerado ergonómico para disminuir los riesgos que se presentan al utilizarlo es necesario conocer los peligros que puede representar y capacitaciones necesarias previas a su uso que se encuentran en el Anexo 5.

### 5.3 Sistema eléctrico

La batería que se seleccionó tiene las características de descarga que se muestran en la Figura 5. 2. En esta se muestra en el eje x el tiempo que dura en descargar se la batería. en el eje y el voltaje que alcanza y en las curvas se especifica con respecto a cuanta corriente se da dicho comportamiento.



**Figura 5. 2** Curva de descarga de una batería de 12V y 19 Ah. [75]

Esto significa que ante un consumo de 1.9 A la batería se puede utilizar hasta diez horas, pero esto la descargaría hasta 10.5 V lo que no es bueno para la batería. Por lo tanto, con el mismo consumo de corriente se considera que la batería aguanta aproximadamente un total

cinco horas de funcionamiento hasta llegar a una tensión de 11.7 V. Tomando la tensión más baja con la que se trabaja la batería se puede asumir que esta es capaz de entregar 22.23 Wh durante 5 horas.

En la Tabla 5. 4 se muestra el consumo de cada componente que se alimenta de la batería. Los valores fueron obtenidos de las hojas de datos de los estos en [76] [77] [78] [79] [80] [68] [81] [69] [82]. El consumo de potencia total es menor que el que es capaz de suministrar la batería por lo que puede ser la fuente de alimentación del sistema sin ningún problema.

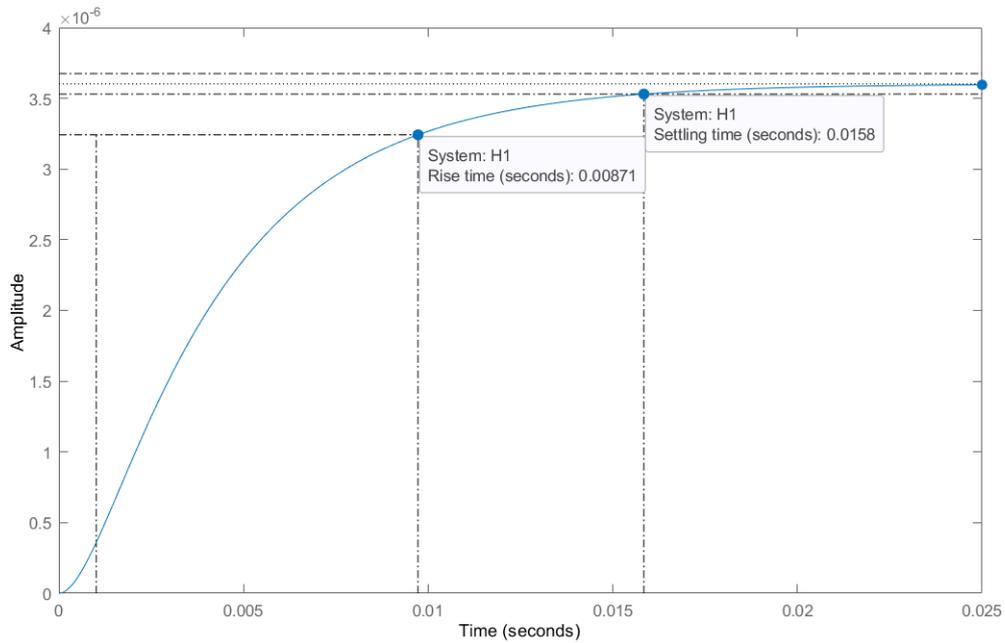
**Tabla 5. 4** Consumo energético de los elementos del circuito. Fuente: Elaboración propia

Componente	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia(W)
Bomba peristáltica	12	1.2	14.4
Pantalla LCD	3.3	0.05	0.165
Expansión para pantalla	3.3	0.01	0.033
Arduino Mega	9	0.093	0.837
Controlador para motor	5	0.01	0.05
Sensor de flujo	5	0.01	0.05
Lector serial	5	0.02	0.1
Sensor capacitivo	5	0.005	0.025
Control RF	5	0.016	0.08
Resistencia 1K	5	0.005	0.025
Resistencia 10K	5	0.0005	0.0025
Total			15.7675

En consecuencia, la batería seleccionada es suficiente para hacer funcionar el sistema durante más de un mes. Sin embargo, se considera que la sobredimensión de este componente es necesaria ya que en caso de que aumente el consumo de líquido A o se comparta el equipo con otro laboratorio dentro de la planta el sistema es capaz de soportarlo.

#### 5.4 Sistema de control

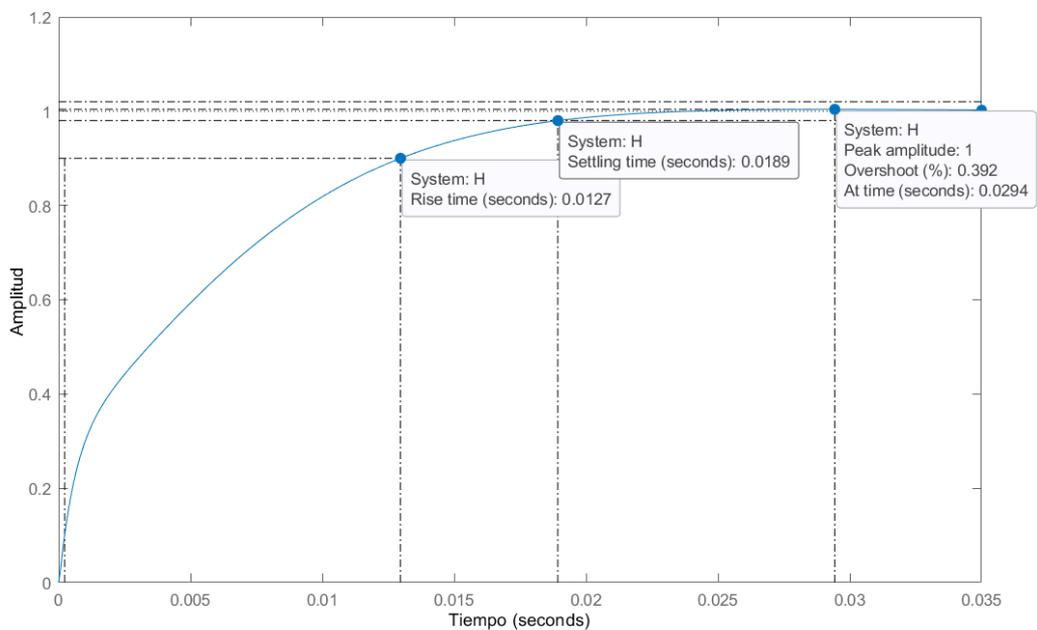
Al simular el sistema de control ante un escalón unitario se obtiene la Figura 5. 3 en la que se observa que el error de estado estacionario no es cero, como se desea.



**Figura 5. 3** Respuesta ante el escalón unitario sin controlador. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Matlab

El objetivo principal de implementar el controlador PID es disminuir el error de estado estacionario a cero. En la Figura 5. 4 se muestra la respuesta de la función a lazo cerrado con realimentación unitaria y un controlador PID, en el Apéndice 3 muestra el código de Matlab que se utilizó para calcular los valores necesarios y simular el comportamiento del sistema. Este cumple con el objetivo de eliminar el error de estado estacionario y mantener el sobre impulso por debajo de un 5%.

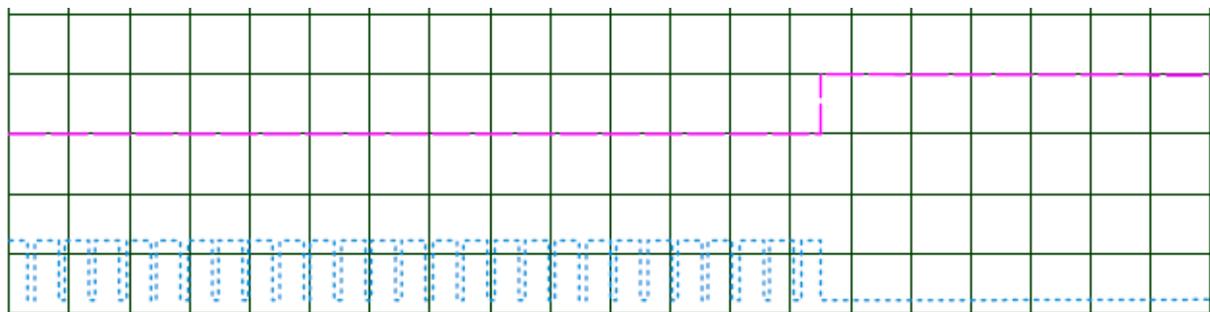


**Figura 5. 4** Respuesta ante un escalón con un controlador PID. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Matlab

Por lo tanto, se considera que este controlador permite que el sistema tenga el comportamiento deseado. A su vez este se estabiliza en 0.018 segundos y tiene un sobre impulso máximo de 0.39%. Este controlador se implementa al motor como pwm con ayuda de la librería para Arduino PID que recibe las constantes el controlador como entrada. La implementación se puede ver en el Anexo 2: Programa de control para Arduino Mega, y en Apéndice 4: Conexión del circuito eléctrico se encuentra la conexión de los componentes con el microcontrolador.

El botón de paro de emergencia permite al sistema rescribir el pwm enviado a la señal de control del motor de la bomba con una salida de cero. En la Figura 5. 5 se muestra la simulación en el programa Proteus de un osciloscopio que lee el botón de paro y la salida de pwm. Como se puede observar cuando se presiona el botón y se da un flanco positivo el sistema la salida se apaga.



**Figura 5. 5** Lectura del botón de paro y el pwm. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Proteus

### 5.5 Sistema de almacenamiento y análisis de datos

Para comprobar que el sistema de almacenamiento de datos funciona de manera adecuada se probó introduciendo los datos desde el Arduino y activando la función de impresión serial. Para todas las pruebas se utilizó una cantidad múltiple de conjunto de datos, entre 5 y 13. Cada conjunto de datos consiste en el nombre de la máquina, la fecha y la cantidad que se llenó (en litros). Los resultados de las pruebas se pueden observar en el Anexo 4.

En la Tabla 5. 5 se muestran los resultados de la prueba de funcionamiento de almacenamiento de datos. En estos se introdujeron siete conjuntos distintos de datos y fueron impresos en el monitor serial. En todas las ocasiones el sistema almacenó de manera adecuada los datos. Además, se evaluó que ignorar los datos repetidos que se introdujeron en dos de las

pruebas lo que logró de forma efectiva. En consecuencia, a partir de las pruebas realizadas se considera que el almacenamiento de datos desde el Arduino hasta la computadora es efectivo.

**Tabla 5. 5** Pruebas de almacenamiento de datos. Fuente: Elaboración propia

Número de prueba	Máquina (%)	Fecha (%)	Cantidad (%)
Prueba 1	100	100	100
Prueba 2	100	100	100
Prueba 3	100	100	100
Prueba 4	100	100	100
Prueba 5	100	100	100
Prueba 6	100	100	100
Prueba 7	100	100	100
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Luego se realizaron pruebas de repetibilidad al subir los datos, utilizados en la “prueba 1”, del documento al sistema de análisis de datos para comprobar que tuviera un funcionamiento constante sin cambios inesperados sobre los mismos datos, luego borrarlos y repetir este proceso cinco veces, para poder distinguir las pruebas entre sí se agregó la letra del nombre de la prueba al final del nombre de las máquinas. En la Tabla 5. 6 se muestran los resultados de cargar el mismo conjunto de datos cinco veces, en todas las ocasiones se cargaron los datos en su totalidad y mostraron el comportamiento esperado en el análisis automático que se les realiza.

**Tabla 5. 6** Pruebas de repetibilidad. Fuente: Elaboración propia

Número de prueba	Datos correctos (%)	Datos erróneos (%)	Análisis correcto
Prueba A	100	0	Sí
Prueba B	100	0	Sí
Prueba C	100	0	Sí
Prueba D	100	0	Sí
Prueba E	100	0	Sí
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>100%</b>

La última prueba que se realizó fue de variabilidad Tabla 5. 7 en la que se utilizaron los mismos conjuntos de datos que en la primera prueba de variabilidad. En todos los casos los datos se subieron de la manera correcta, no hubo pérdida de información y se mostró el análisis con los resultados esperados.

**Tabla 5. 7** Pruebas de variabilidad. Fuente: Elaboración propia

Número de prueba	Datos correctos (%)	Datos erróneos (%)	Análisis correcto
Prueba 1	100	0	Sí
Prueba 2	100	0	Sí
Prueba 3	100	0	Sí
Prueba 4	100	0	Sí
Prueba 5	100	0	Sí
Prueba 6	100	0	Sí
Prueba 7	100	0	Sí
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>100%</b>

Como resultado de todas las pruebas realizadas se considera que el sistema almacena y analiza datos al mantener el 100% de su integridad. Lo que significa que bajo condiciones normales es confiable y adecuado para ser utilizado.

### **5.6 Análisis económico**

Para realizar el análisis económico inicialmente se calculó la inversión que conlleva realizar el proyecto. Esta se compone de tres tipos de gastos: materiales, imprevistos y diseño. En la Tabla 5. 2 se muestra el desglose de los componentes o servicios, con su cantidad correspondiente y precio relacionado. Entre las partes o materiales se incluyen todos los componentes necesarios para lograr ensamblar el sistema. Luego se toma un 10% del valor de los materiales como fondo para solventar gastos en caso de imprevistos. Por último, se incluyen los gastos del salario por el diseño del sistema, que se trabajó 20 horas semanales durante 16 semanas, por razones de confidencialidad se utiliza el salario base indicado por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social que es de aproximadamente ¢502 000 para un estudiante universitario

**Tabla 5. 8** Costos del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Parte	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Bomba peristáltica	1	\$130.00	\$130.00
Pantalla LCD	1	\$27.00	\$27.00
Expansión para pantalla	1	\$35.00	\$35.00
Arduino Mega	1	\$49.00	\$49.00
Controlador para motor	1	\$15.00	\$15.00
Tubo 5/16" ID x 7/16" OD	1	\$12.00	\$12.00
Tubo en espiral 5/16" ID	1	\$41.00	\$41.00
Tubo rígido 5/16" ID	1	\$11.00	\$11.00
Acople NPT 1/4"	1	\$17.00	\$17.00
Sensor de flujo	1	\$18.00	\$18.00
Abrazaderas	1	\$11.00	\$11.00
Lector serial	1	\$3.49	\$3.49
Sensor capacitivo	1	\$25.00	\$25.00
Control RF	1	\$29.00	\$29.00
Conector NPFT 3/8" ID de compresión	1	\$15.00	\$15.00
Acople NPT 1/4" a 5/16"	1	\$18.00	\$18.00
Acople 5/16" a 3/8 "	1	\$13.00	\$13.00
Convertidor de voltaje	1	\$28.00	\$28.00
Batería 12 V	1	\$56.36	\$56.36
Batería 3.3 V	1	\$1.50	\$1.50
Válvula 1/4"	1	\$15.00	\$15.00
Tornillos	1	\$22.00	\$22.00
Espaciadores	1	\$15.00	\$15.00
Interruptor	1	\$0.95	\$0.95
Botón	1	\$1.95	\$1.95
Resistencias	2	\$0.50	\$1.00
Adaptadores para cable	4	\$0.95	\$3.80
Cable	1	\$4.95	\$4.95
Circuito impreso	1	\$30.00	\$30.00
Panel de control	1	\$30.00	\$30.00
Carro	1	\$550.00	\$550.00
Rloj de tiempo real	1	\$5.95	\$5.95
<b>Subtotal Materiales</b>	-	-	<b>\$1,237.45</b>
Imprevistos	10%	\$123.00	\$123.75
<b>Subtotal Imprevistos</b>	-	-	<b>\$123.75</b>
Tiempo de Diseño	320	\$4.46	\$1,427.91
<b>Subtotal Diseño</b>	-	-	<b>\$1,427.91</b>
<b>Total</b>	-	-	<b>\$2,789.11</b>

Según el presupuesto dado el proyecto es realizable ya que los gastos de los materiales se encuentran bajo el máximo valor marginal planteado que es \$1400. Esto indica que para la empresa si es posible realizar el proyecto, pero el cálculo del retorno de la inversión es el que indica si no genera pérdidas.

En este caso el sistema va a llevar directamente a disminuir el tiempo que los técnicos de la empresa duran en rellenar los tanques de las máquinas. Como se mencionó en los capítulos previos se tarda cuatro minutos en verter un galón de líquido A en un tanque, labor realizada por una persona. A este tiempo se le debe agregar lo que se dura en trasvasar el líquido, diez minutos, ya que esta labor se realiza entre dos personas son un total de veinte minutos. Al dividir este tiempo entre cinco y sumar el tiempo de llenado tiene que para llenar un tanque con un galón de líquido a se gastan ocho minutos en total. Esto se realiza un promedio de 10 veces a la semana por lo que al final de una semana se ahorrarían 49 minutos (proceso actual dura tres minutos y seis segundos).

En el caso del análisis de datos, no es una actividad que se realice normalmente, pero fue llevado a cabo durante 7 semanas con el fin de recopilar datos para definir los límites del sistema de análisis. Durante este tiempo se duró un aproximado de 30 minutos por semana para obtener los datos, ponerlos todos en un solo lugar y analizarlos. El valor del tiempo se calcula al tomar el salario mínimo para un técnico de educación superior dado por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social que es de aproximadamente ₡465 000.

Además, el sistema también permite disminuir gastos en salud, reparaciones y adquisición de botellas por año. Se estima que dicho valor es de \$300. Para poder realizar los cálculos se debe pasar todo a dólares (valor utilizado de referencia \$1 equivale a ₡625). En total se tiene que por año se ahorran \$618 dólares gracias a la implementación del sistema. Por otra parte, el valor de imprevistos va a cumplir los gastos de mantenimiento de manera anual que consisten en revisión periódica del estado de las llantas y reemplazamiento del tubo que se encuentra dentro de la bomba. Otro factor que se toma en cuenta para el análisis es que Intel se encuentra en zona franca, lo que significa que no paga impuestos por los activos que tengan.

En la Tabla 5.9 se muestran los cálculos realizados para obtener los costos totales, el costo del proyecto y el valor actual neto. Esto se calculó a un periodo de cinco años de tiempo con una tasa de descuento de 15%.

**Tabla 5. 9** Cálculo de los costos y beneficios totales del proyecto. Fuente: Elaboración propia

ROI (Basado en valor actual neto, \$)	0	1	2	3	4	5	Total	VA
<b>Beneficios</b>	\$0	\$618	\$649	\$682	\$716	\$752	\$3,417	\$2,260
Ahorro para reinversión	\$0	\$618	\$649	\$682	\$716	\$752	\$3,417	\$2,260
<b>Costo del Proyecto</b>	\$2,789	\$124	\$124	\$124	\$124	\$124	\$3,408	\$3,204
Inversión inicial y Mantenimiento Anual	\$1,237	\$124	\$124	\$124	\$124	\$124	\$1,856	\$1,652
Imprevistos	\$124						\$123	\$123
Costo de Tiempo de Diseño	\$1,428						\$1,428	\$1,428
Flujo de Caja Neto	(\$2,789)	\$495	\$526	\$558	\$592	\$628	\$9	(\$944)
Valor Actual Neto (\$)	(\$944)							

La Tabla 5. 10 muestra el valor de beneficio y el costo total, que al restarlos dan el valor de retorno del producto. Esto nos dice que se obtienen únicamente \$9 de retorno lo que se traduce en una tasa interna de retorno de un 0.1% y un retorno sobre la inversión de un 0.3%. Además, el valor actual neto del producto con una tasa de descuento de un 15% es de \$944.

**Tabla 5. 10** Resumen del análisis económico del sistema. Fuente: Elaboración propia

Beneficio Total	\$3,417
Costo Total	\$3,408
<b>Retorno Total</b>	<b>\$9</b>
VAN	(\$933)
TIR	0.1%
ROI	0.3%
Recuperación de Inversión (Años)	5

El retorno total del proyecto a cinco años es muy bajo lo que indica que no se verán reflejadas las ganancias durante ese periodo. Sin embargo, al ser un número positivo el proyecto es viable ya que no genera pérdidas.

## Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

- El proceso y equipo actual que se utiliza en el llenado expone a los trabajadores a riesgos ergonómicos, riesgos de la salud y no permite llevar un registro preciso de las actividades realizadas.
- Se diseñó un modelo mecánico con un factor de seguridad de 6.7 por lo que es seguro implementarlo. Además, dada a sus características físicas se necesita 212.78 N de fuerza para movilizarlo por lo que puede ser utilizado por un 95% de la población adulta sin representar un riesgo ergonómico.
- El sistema permite entregar cantidades de fluido definidas por el usuario con un flujo máximo de 1.240 L/min. En consecuencia, se pueden dispensar 3.79 litros en tres minutos y cuatro segundos.
- Se logra la adquisición de datos de forma que el sistema permite ignorar entradas repetidas, así como realizar el análisis de los datos semanalmente sin errores el 100% de las veces.
- Es viable la implementación del sistema ya que no produce pérdidas económicas y a su vez permite disminuir los riesgos que sufre a persona que se encarga de la labor de llenado.

### 6.2 Recomendaciones

- Los materiales y métodos de sujeción fueron seleccionados para que no representen ningún problema al ser usados en un cuarto limpio, en caso de que el proyecto no vaya a ser usado bajo esas condiciones se recomienda sustituir los materiales por otros de menor costo y el método de sujeción por tornillos.
- Si se llega a requerir un flujo preciso para el llenado se puede agregar una realimentación no unitaria al sistema de control a partir del sensor de flujo que se utiliza para el registro de datos.
- Si se desea disminuir la fuerza necesaria para movilizar el sistema se puede lograr al aumentar el tamaño de las ruedas o utilizar ruedas con menor fricción.
- Se puede automatizar el proceso de enviar datos al incluir un módulo de conexión inalámbrica a los pines de comunicación del Arduino. Para esto se recomienda implementar el envío de datos al salir de la pantalla de dispensar líquido, parte en la cual actualmente se almacenan.

## Capítulo 7 Referencias bibliográficas

- [1] Intel, «Intel in Costa Rica,» 2020.
- [2] Intel, «Explore Intel: Costa Rica,» *exploreintel*, 2020.
- [3] R. Sequeira, «Nueva inversión de Intel en Costa Rica estará lista en agosto,» *larepublica.net*, 2020.
- [4] A. Y. TORRES MARÍN, PROPUESTA DE PROGRAMA PARA EL MANEJO SEGURO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS UTILIZADAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA ENVASES COMECA S.A, Cartago: ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA, 2015.
- [5] EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA Y EL MINISTRO DE SALUD, «Reglamento para el manejo de productos peligrosos,» Vols. %1 de %2DECRETO No 28930-S, 2013.
- [6] EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA Y LA MINISTRA DE SALUD, «Reglamento Técnico RTCR 478:2015 Productos Químicos. Productos Químicos Peligrosos, Registro, Importación y Control,» vol. Decreto Ejecutivo 40705, 2017.
- [7] International Dynamics Advisor, «10 Prácticas para el almacenamiento de Productos Químicos,» [En línea]. Available: <https://www.intedya.com/internacional/322/noticia-10-practicas-para-el-almacenamiento-de-productos-quimicos.html>. [Último acceso: 2 Mayo 2021].
- [8] Denios, «Todas las claves para elegir cubeto de retención,» [En línea]. Available: <https://www.denios.es/competencias-y-valor-anadido/ayuda-y-faqs/todas-las-claves-para-elegir-cubeto-de-retencion/#c235590>. [Último acceso: 21 Enero 2021].
- [9] J. M. d. P. Tamborero, «Envases plásticos: condiciones generales de seguridad». *Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España*.
- [10] SISTEMA-SURATEP S.A., *SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS HMIS III*, 2008.
- [11] TruFab, «3 Critical Distinctions Between Clean Room Carts and Laboratory Carts,» 12 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://trufabstainless.com/2018/07/12/clean-room-carts-and-laboratory-carts-distinctions/>. [Último acceso: 2 Mayo 2021].

- [12] L. M. Daza, Ergonomía Ocupacional, Bogotá: Fundación, 2017.
- [13] EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA Y EL MINISTRO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL, «DECRETO N° 11074-TSS,» 1980.
- [14] ISO, Ergonomía. Manipulación Manual, Suiza: ISO 11228, 2003.
- [15] T. Albin, «Industrial Ergonomic Best Practices in Cart Design,» *Darcor*, 2018.
- [16] M.-C. Jung, J. M.Haight y A. Freivalds, «Pushing and pulling carts and two-wheeled hand trucks,» *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 35, n° 1, pp. 79-89, 2005.
- [17] Canadian Centre for Occupational Health & Safety, «CCOHS,» Pushing & Pulling - Handcarts, 2018. [En línea]. Available: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/push2.html>. [Último acceso: 1 Marzo 2021].
- [18] Caster Concepts, Inc., «<https://www.casterconcepts.com/solutions/extreme-applications/>».
- [19] Load Mover Inc., «EXPLANATION OF WHEEL CONFIGURATION FOR INDUSTRIAL CARTS,» 24 Septiembre 2012.
- [20] C. López García, Diseño y Fabricación de Bomba Peristáltica, España: Universidad de Sevilla, 2015.
- [21] Haléco Iberia SL, «Haléco,» Tipos de bombas de agua manuales para bidones, Diciembre 2019. [En línea]. Available: <http://www.haleco.es/ventajas-y-usos-de-bombas-manuales-para-bidones/>. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [22] Mercado Libre S.R.L., «Mercado Libre,» Tipos de bombas de agua: cuál conviene ante cada necesidad, 08 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://ideas.mercadolibre.com/ar/home-deco/tipos-de-bombas-de-agua/>. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [23] E. F. M. M. D. S. N. W. a. A. D. A. Christler, «Semiautomation of process analytics reduces operator effect.,» *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 43, pp. 753-764, 2020.
- [24] Stitch, «Improve your data team's productivity through automated data analytics,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.stitchdata.com/resources/automated-data17>. [Último acceso: 7 Noviembre 2020].

- [25] Reliabilityweb.com, «Diagnóstico de Fallos por Monitoreo de Condición,» 2020. [En línea]. Available: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/diagnosticode-fallos-por-monitoreo-de-condicion>. [Último acceso: 7 Noviembre 2020].
- [26] R. Boylestad y R. Navarro, Introducción al análisis de circuitos, vol. 13, Distrito Federal: Pearson Educaci[on], 2011.
- [27] Master Instruments Pty Ltd, «RECHARGEABLE AGM SEALED LEAD ACID BATTERY 12SB20C,» Drypower.
- [28] R. Hibbeler, Mecánica de materiales, Saddle River: Pearson, 2014.
- [29] K. Ulrich y S. Eppinger, Diseño y desarrollo de productos, vol. Quinta edición, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, 2013.
- [30] Tube-mac.com, «Cost Comparison,» 2021. [En línea]. Available: <https://tube-mac.com/en/technical-data/cost-comparison-flange-systems>. [Último acceso: 20 Mayo 2021].
- [31] M. Mendoza, «Transporte seguro de sustancias peligrosas durante las tareas de producción. Denios,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.denios.es/competencias-y-valor-anadido/ayuda-y-faqs/transportar-quimicos-en-fabrica/>. [Último acceso: 20 Mayo 2021].
- [32] G. . J. MARTÍN CHICHARRO, *SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA*, Valladolid: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, 2016.
- [33] DeltaEU, «Capacidad de la batería,» [En línea]. Available: [https://shopdelta.eu/capacidad-de-la-bateria\\_16\\_aid748.html](https://shopdelta.eu/capacidad-de-la-bateria_16_aid748.html). [Último acceso: 7 Enero 2021].
- [34] ICE, «Guía para ahorrar electricidad en su hogar,» *grupoice.com*, p. 33.
- [35] Prometec, «Prometec,» Consumos arduino, [En línea]. Available: <https://www.prometec.net/consumos-arduino/>. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [36] «Electrónicos CALDAS,» HC-05, [En línea]. Available: <https://www.electronicoscaldas.com/en/modulos-rf/452-modulo-bluetooth-hc-05.html>. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [37] Adafruit, «<https://www.mouser.com/>,» [En línea]. Available: [https://www.mouser.com/datasheet/2/737/adafruit\\_dpi\\_display\\_kippah\\_ttl\\_tft-1915175.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/737/adafruit_dpi_display_kippah_ttl_tft-1915175.pdf). [Último acceso: 18 Marzo 2021].

- [38] Zefir, «Bulldog Castors,» [En línea]. Available: <https://www.bulldogcastors.co.uk/blog/castor-wheels-roll-resistance/>. [Último acceso: 4 Febrero 2021].
- [39] costaricaguides, «<https://www.costaricaguides.com>,» [En línea]. Available: [costaricaguides.com/es/costa-rica-info/clima-de-costa-rica/#:~:text=Aunque%20sin%20duda%20Costa%20Rica,una%20con%20sus%20propias%20características.&text=El%20promedio%20anual%20de%20todo,C%20\(81°F\)..](https://www.costaricaguides.com/es/costa-rica-info/clima-de-costa-rica/#:~:text=Aunque%20sin%20duda%20Costa%20Rica,una%20con%20sus%20propias%20características.&text=El%20promedio%20anual%20de%20todo,C%20(81°F)..) [Último acceso: 28 Enero 2021].
- [40] R. Jorge, P. David, M. Luis, G. Le y M. Li, «Fuentes de Generación de Energía Eléctrica Convencional yRenovable a Nivel Mundial,» *Revista Politécnica*, vol. 33, n° 1, 2014.
- [41] «Costa Rica generó el 99% de su electricidad con fuentes de energía limpias en el primer trimestre,» *El economista*, 4 Abril 2017.
- [42] T. d. a. d. energía, «[ciudadesdelfuturo.es](https://ciudadesdelfuturo.es),» 01 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://ciudadesdelfuturo.es/siete-tipos-almacenamiento-energia.php>. [Último acceso: 4 Febrero 2021].
- [43] A. Borbón, *Análisis de ventajas e inconvenientes de las baterías de flujo redox*, 2018.
- [44] M. E. Raffino, «[concepto.de/bateria/](https://concepto.de/bateria/),» 15 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://concepto.de/bateria/>. [Último acceso: 4 Febrero 2021].
- [45] Steren, «STEREN,» [En línea]. Available: [www.steren.cr](http://www.steren.cr). [Último acceso: 11 Febrero 2024].
- [46] EPA, «[cr.epaenlinea](http://cr.epaenlinea.com),» [En línea]. Available: [/cr.epaenlinea.com](http://cr.epaenlinea.com). [Último acceso: 11 Febrero 2021].
- [47] Amazon, «[amazon](http://www.amazon.com),» [En línea]. Available: [www.amazon.com](http://www.amazon.com). [Último acceso: 11 Febrero 2021].
- [48] Ebay, «[ebay](http://www.ebay.com),» [En línea]. Available: [/www.ebay.com](http://www.ebay.com). [Último acceso: 11 Febrero 2021].
- [49] Suministros Industriales del Tajo, S.A., *Ruedas para diversas cargas*, España.
- [50] Douglas Equipment, «Casters You Should Never Use on Tile Floor,» [En línea]. Available: <https://www.douglasequipment.com/casters-blog/casters-never-use-tile-floor/>. [Último acceso: 14 Marzo 2021].

- [51] N. Chhabra, «Comparative Analysis of Different Wireless Technologies,» *IJSRNSC*, vol. 1, nº 5, pp. 13-17, 2013.
- [52] L. García, J. Jiménez, M. Taha y J. Lloret, «Wireless Technologies for IoT in Smart Cities,» *Amcrothink Institute*, vol. 10, nº 1, pp. 26-54, 2018.
- [53] L. Frenzel, «12 Wireless Options for IoT/M2M: Diversity or Dilemma?,» *electronicdesign*, 16 Junio 2016.
- [54] LoRaWAN™, «A technical overview of,» *lora-alliance*, Noviembre 2015.
- [55] Embedded data systems, «Embedded data systems,» [En línea]. Available: [https://www.embeddeddatasystems.com/DS1990A--Serial-Number-iButton\\_p\\_107.html#:~:text=The%20DS1990A%20Serial%20Number%20iButton,bit%20Family%20Code%20\(01h\)](https://www.embeddeddatasystems.com/DS1990A--Serial-Number-iButton_p_107.html#:~:text=The%20DS1990A%20Serial%20Number%20iButton,bit%20Family%20Code%20(01h).). [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [56] CRCibernetica, «CRCibernetica,» [En línea]. Available: <https://www.crcibernetica.com/tm-ds1990a-serial-number-ibutton/>. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [57] ibutton., «ibutton,» [En línea]. Available: <https://ibutton.cl/que-es-ibutton/>. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [58] Waveshare, «Waveshare,» [En línea]. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [59] M. Lyne, «Search Engine Land,» What Is A QR Code And Why Do You Need One?, 15 Octubre 2009. [En línea]. Available: <https://searchengineland.com/what-is-a-qr-code-and-why-do-you-need-one-27588>. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [60] RTscan, «RTscan,» Embedded QR Code scanner for Arduino, 23 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.rtscan.net/arduino-qr-code-scanner/>. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [61] BLUE THUNDER TECHNOLOGIES, «Stainless Steel in Cleanrooms – What You Need to Know,» 21 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://bluethundertechnologies.com/stainless-steel-in-cleanrooms-what-you-need-to-know/#:~:text=Stainless%20steel%20equipment%20and%20furniture,the%20most%20thorough%20cleaning%20processes..> [Último acceso: 29 Mayo 2021].
- [62] Ingemecanica, «<https://ingemecanica.com/>,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn52.html>. [Último acceso: 11 Enero 2021].

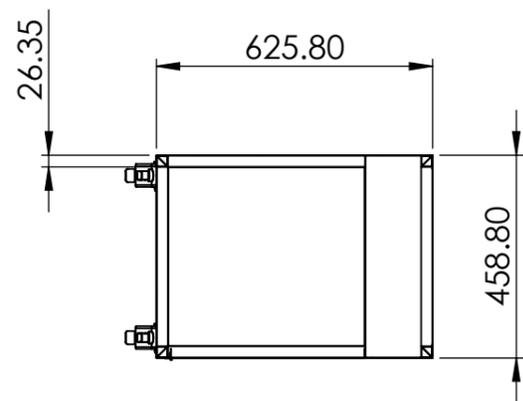
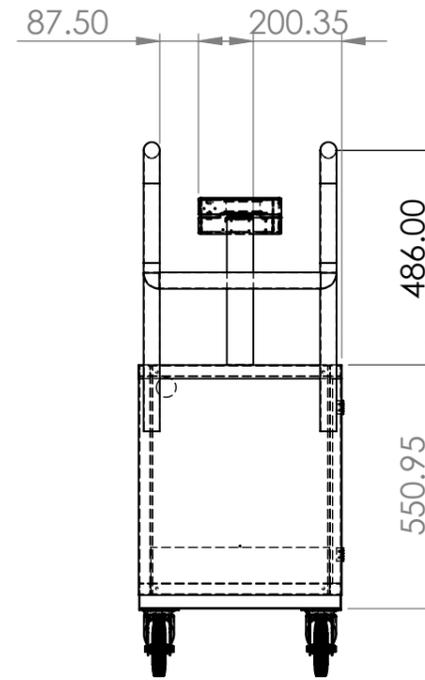
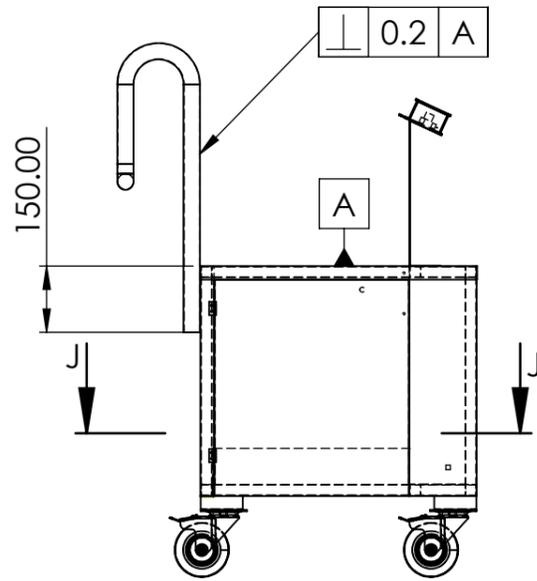


- [72] DROK, «Amazon,» [En línea]. Available: [https://www.amazon.com/gp/product/B00BYTEHQO/ref=as\\_li\\_qf\\_asin\\_il\\_tl?ie=UTF8&tag=lega08a-20&creative=9325&linkCode=as2&creativeASIN=B00BYTEHQO&linkId=d88e6c91f822b667d8ece7541af7ae02](https://www.amazon.com/gp/product/B00BYTEHQO/ref=as_li_qf_asin_il_tl?ie=UTF8&tag=lega08a-20&creative=9325&linkCode=as2&creativeASIN=B00BYTEHQO&linkId=d88e6c91f822b667d8ece7541af7ae02). [Último acceso: 27 Mayo 2021].
- [73] Noyito Technologies, «Amazon,» [En línea]. Available: [https://www.amazon.com/-/es/superior-detecci%C3%B3n-Interruptor-Protecci%C3%B3n-sobrevoltaje/dp/B07DS33JVJ/ref=sr\\_1\\_8?\\_\\_mk\\_es\\_US=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&crd=2Q2I2RF4L77PN&dchild=1&keywords=over+voltage+relay&qid=1622613562&srefix=over+voltage%2C](https://www.amazon.com/-/es/superior-detecci%C3%B3n-Interruptor-Protecci%C3%B3n-sobrevoltaje/dp/B07DS33JVJ/ref=sr_1_8?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&crd=2Q2I2RF4L77PN&dchild=1&keywords=over+voltage+relay&qid=1622613562&srefix=over+voltage%2C). [Último acceso: 31 Mayo 2021].
- [74] D. Plaza, «Motor.es,» 29 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.motor.es/noticias/comprobar-estado-bateria-del-coche-202067832.html>. [Último acceso: 31 Mayo 2021].
- [75] LTH Moto-Batería, CB16CL-B.
- [76] Kamoer Fluid Tech (Shanghai) Co., Ltd., "Product Manual Peristaltic Pump Series", KK Series datasheet, 2019..
- [77] Ili Technology Corporation, "a-Si TFT LCD Single Chip Driver 240RGBx320 Resolution and 262K color Specification", ILI9341 datasheet, 2011..
- [78] EastRising Technology Co, "ER-AS-ILI9341 Arduino Shield Datasheet", ER-TFTM032-3 datasheet, Feb. 2016..
- [79] Microchip Technology Inc, "ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V", Atmega2560 datasheet, Feb. 2014..
- [80] Handson Technology, "L298N Dual H-Bridge Motor Driver", L298N datasheet..
- [81] Maxim Integrated, "DS9092 iButton Probe with LED", Agosto 2009..
- [82] Mantech Electronics, "433Mhz RF Transmitter With Receiver", 433Mhz RF Transmitter With Receiver Kit For Arduino ARM MCU Wireless datasheet..
- [83] Control tutorials for Matlab ans Simulink, «DC Motor Speed: System Modeling,» [En línea]. Available: <https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=MotorSpeed&section=SystemModeling#5>. [Último acceso: 31 Mayo 2021].

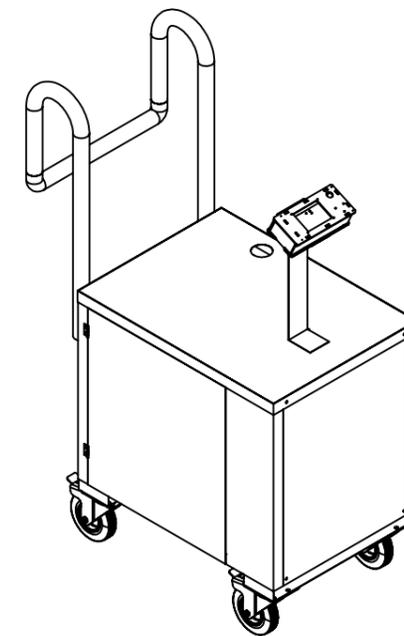
- [84] P. Andrej , D. Marjan y M. Miran , «LEAK DETECTION METHODS AND DEFINING THE SIZES OF LEAKS,» *International Conference of Slovenian Society for Nondestructive Testing "Application of Contemporary Nondestructive Testing in Engineering"*, vol. 4, 1997.

## **Capítulo 8 Apéndices**

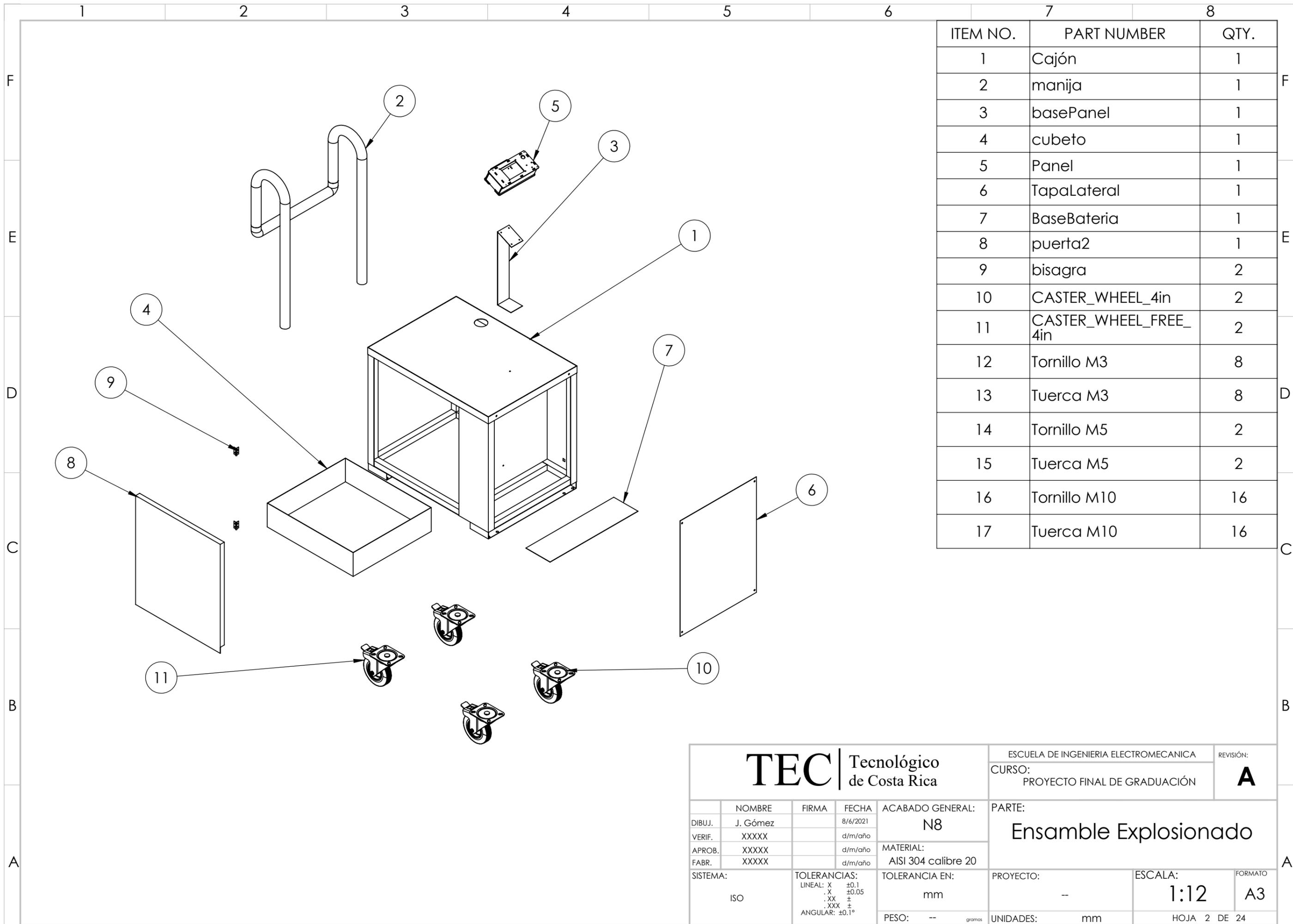
### **Apéndice 1: Planos**



SECTION J-J  
SCALE 1 : 16

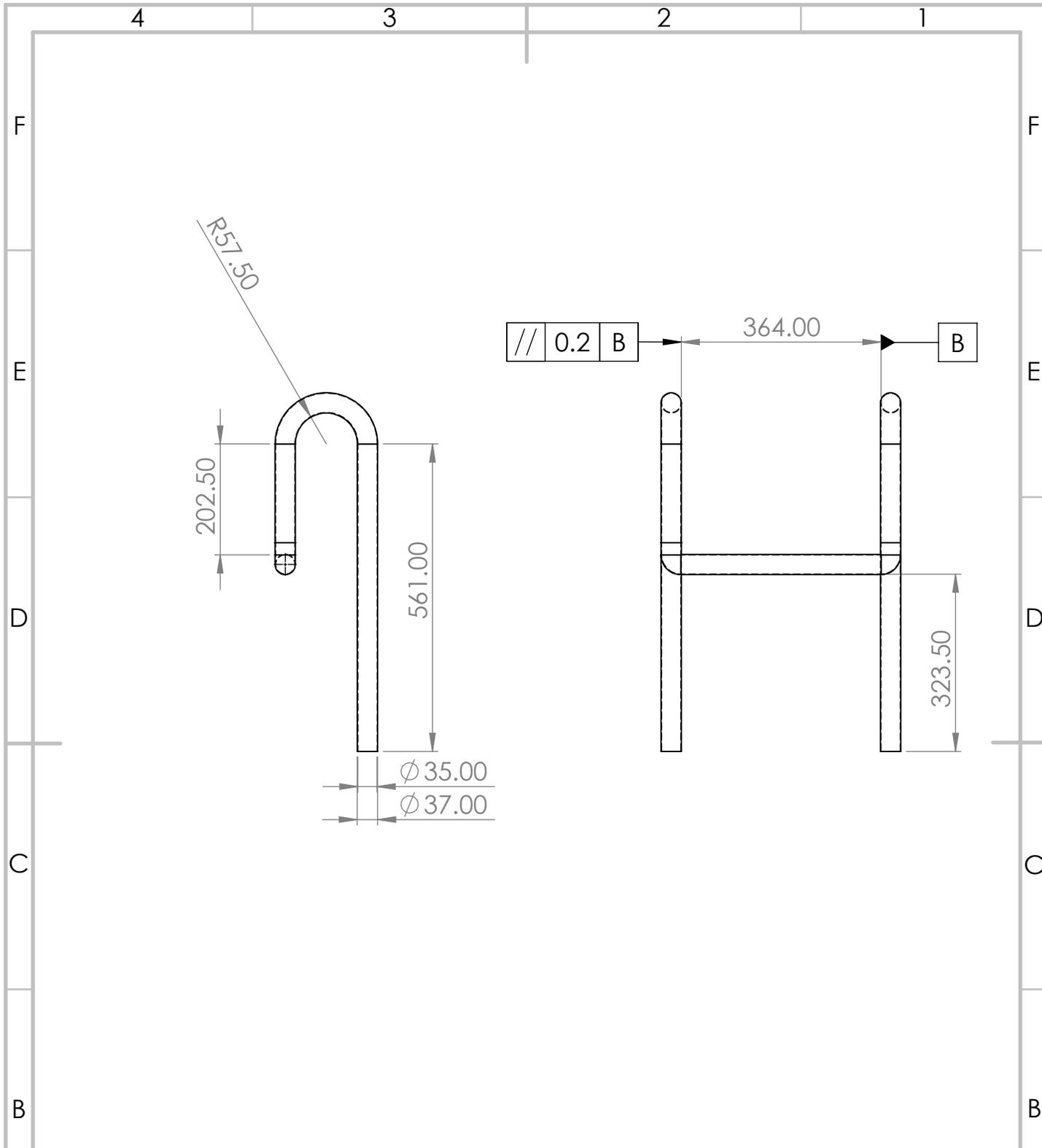


<h1>TEC</h1> Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:		
				CURSO: PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN		<b>A</b>		
DIBUJ. J. Gómez VERIF. XXXXX APROB. XXXXX FABR. XXXXX				ACABADO GENERAL: N8 MATERIAL: AISI 304 calibre 20		PARTE: <b>Ensamble</b>		
SISTEMA: ISO		TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°		TOLERANCIA EN: mm		PROYECTO: --	ESCALA: <b>1:16</b>	FORMATO: <b>A3</b>
				PESO: -- gramos		UNIDADES: mm		HOJA 1 DE 24



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Cajón	1
2	manija	1
3	basePanel	1
4	cubeto	1
5	Panel	1
6	Tapalateral	1
7	BaseBateria	1
8	puerta2	1
9	bisagra	2
10	CASTER_WHEEL_4in	2
11	CASTER_WHEEL_FREE_4in	2
12	Tornillo M3	8
13	Tuerca M3	8
14	Tornillo M5	2
15	Tuerca M5	2
16	Tornillo M10	16
17	Tuerca M10	16

<h1>TEC</h1> Tecnológico de Costa Rica				ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA		REVISIÓN:
				CURSO: PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN		<b>A</b>
DIBUJ. J. Gómez    FIRMA    FECHA 8/6/2021    ACABADO GENERAL: N8				PARTE: <b>Ensamble Explosionado</b>		
VERIF. XXXXX    d/m/año APROB. XXXXX    d/m/año FABR. XXXXX    d/m/año				MATERIAL: AISI 304 calibre 20		
SISTEMA: ISO		TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°		TOLERANCIA EN: mm		PROYECTO: --    ESCALA: 1:12    FORMATO: A3
PESO: -- gramos		UNIDADES: mm		HOJA 2 DE 24		



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

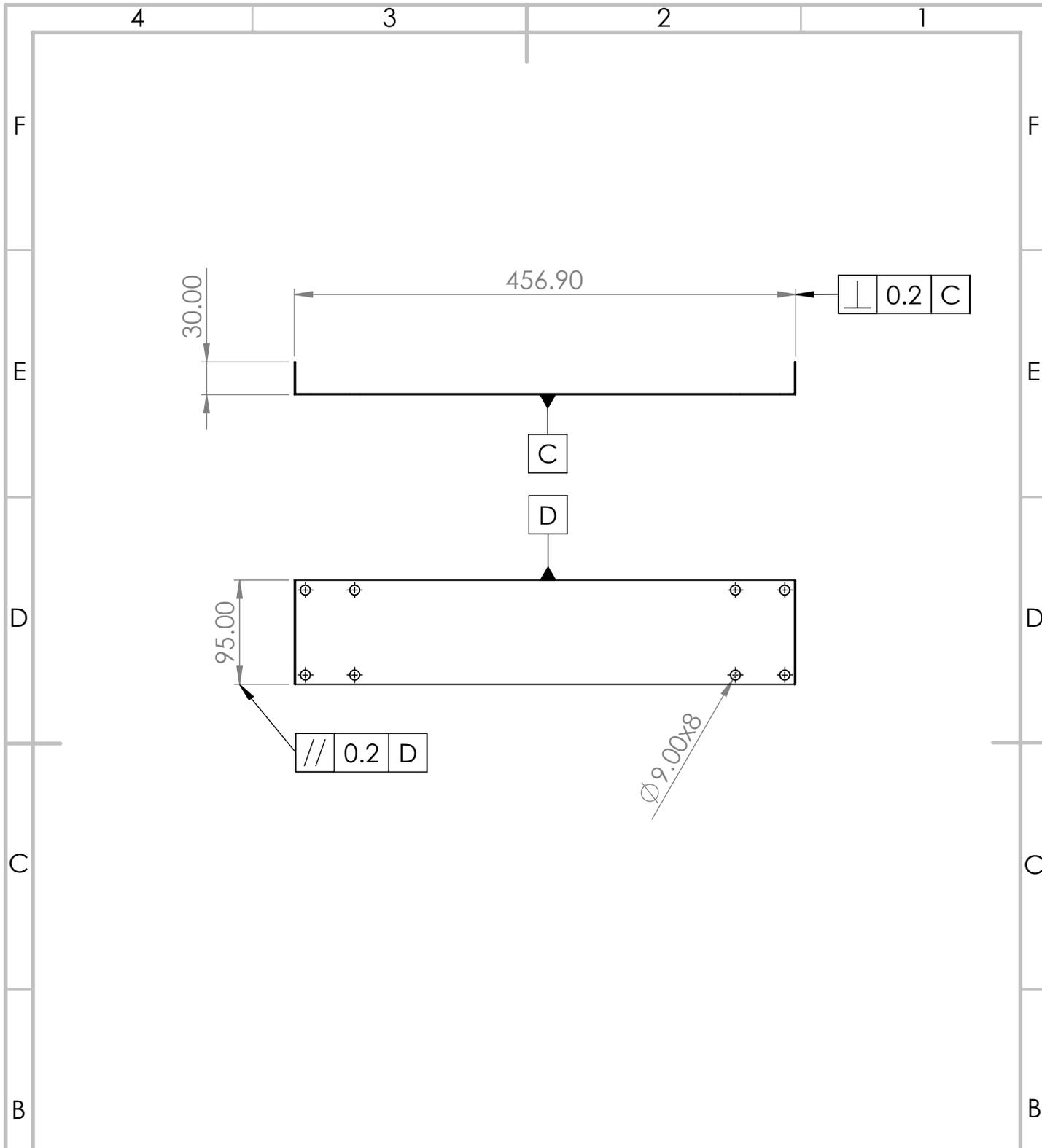
REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: <b>N8</b>
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	MATERIAL: AISI 304
VERIF.	XXXXX		d/m/año	
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:  
**Manija**

SISTEMA: ISO	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 X ±0.05 XX ± XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: mm
		PESO: gramos

PROYECTO:	ESCALA: 1:10	FORMATO ANSI A
UNIDADES: mm	HOJA 3 DE 24	



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

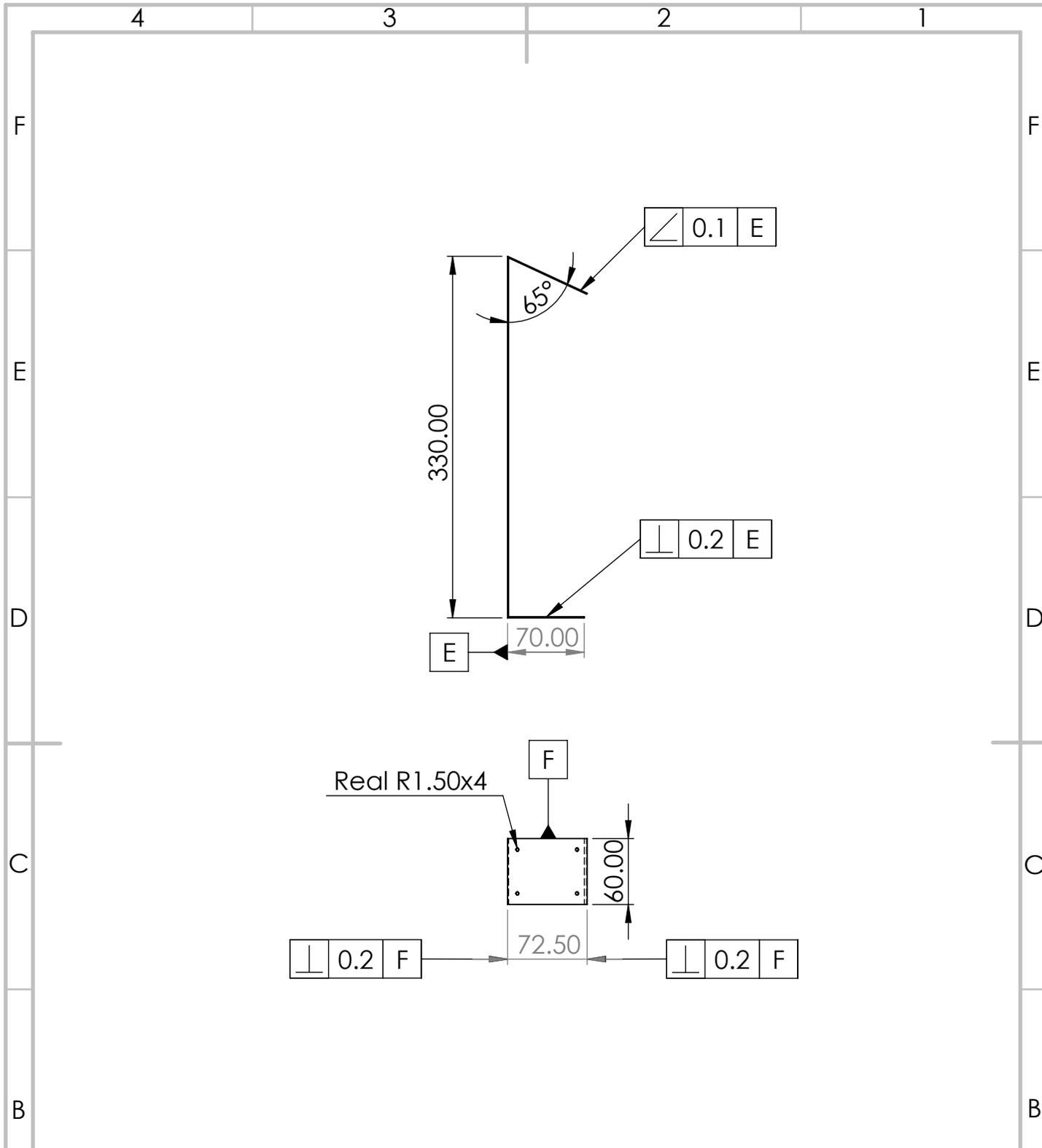
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

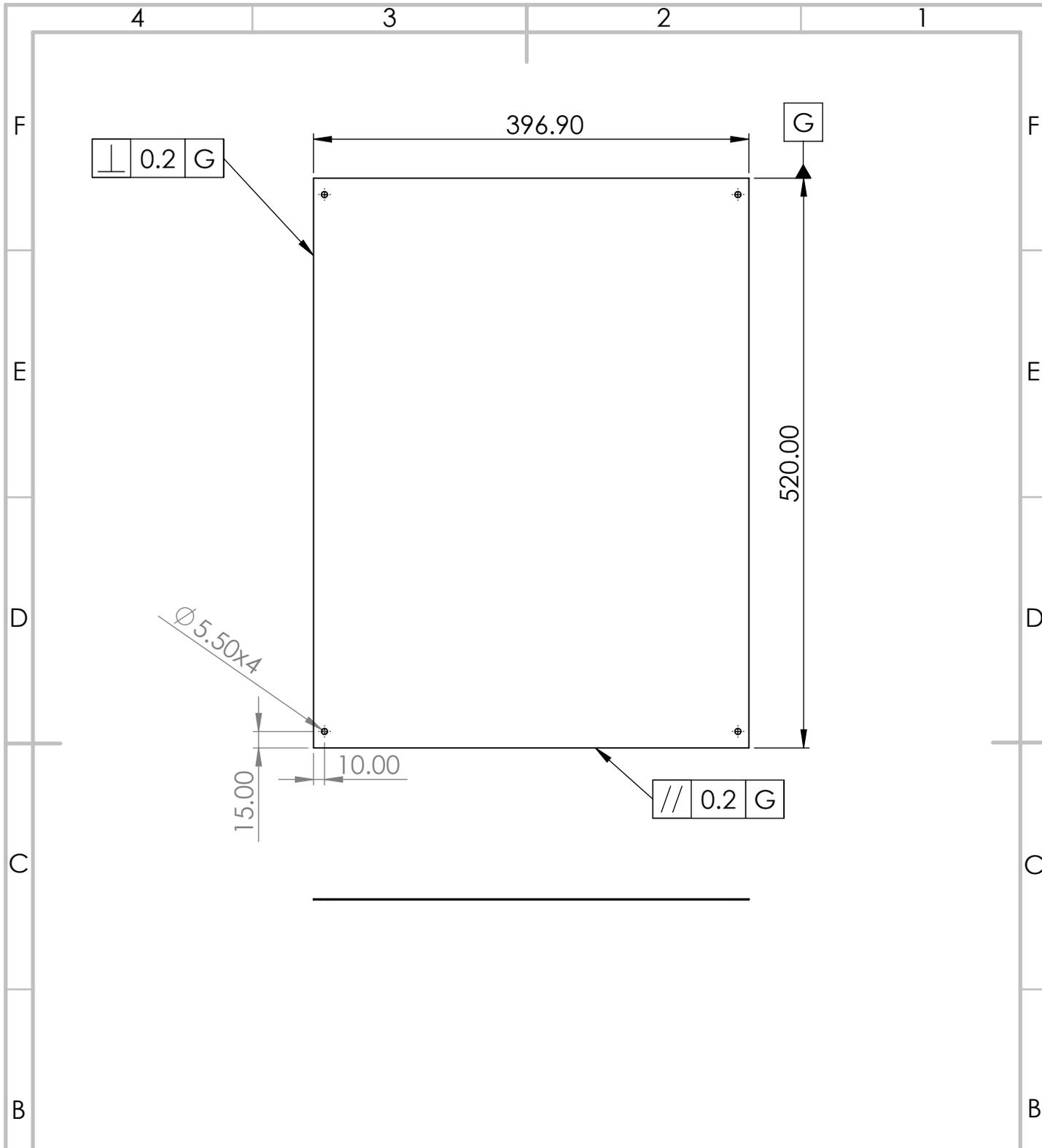
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N8</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: AISI 304 calibre 20
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:  
Base llantas

SISTEMA: ISO	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 X ±0.05 XX ± XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:5	FORMATO ANSI A
	PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 4 DE 24		



<h1>TEC</h1>		<h2>TECNOLOGICO DE COSTA RICA</h2>		ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
				CURSO: Proyecto Final de Graduación		<b>A</b>	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:	PARTE: <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Base Panel</div>		
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	N8			
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL:			
APROB.	XXXXX		d/m/año	AISI 304 calibre 20			
FABR.	XXXXX		d/m/año				
SISTEMA:		TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:	PROYECTO:	ESCALA:	FORMATO
ISO		LINEAL: X ±0.1 X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°		mm		1:5	ANSI A
				PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 5 DE 24	



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

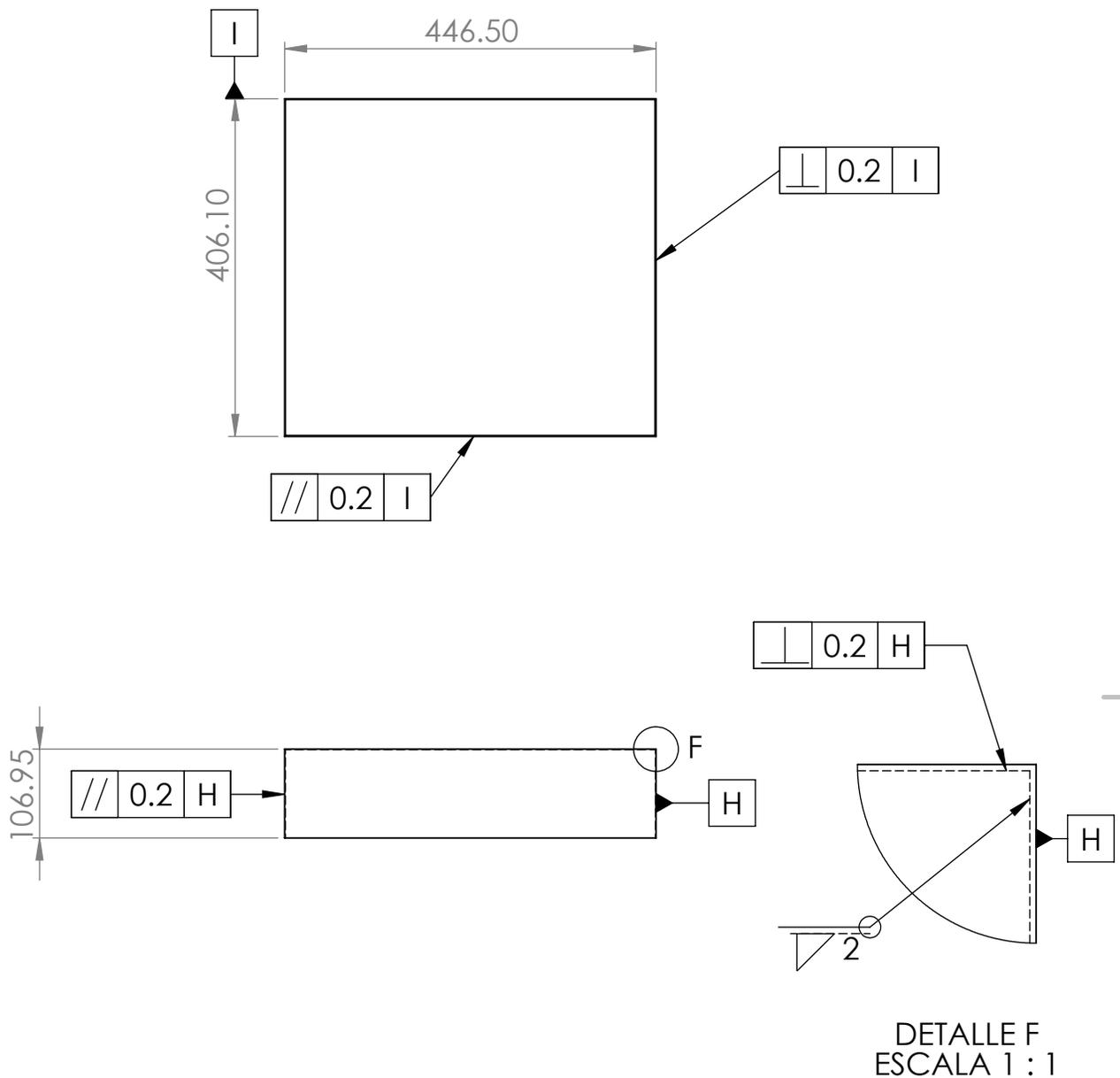
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: <b>N8</b>
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	MATERIAL: AISI 304 calibre 20
VERIF.	XXXXX		d/m/año	
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:  
Tapa lateral

SISTEMA: ISO	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:5	FORMATO ANSI A
		PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 6 DE 24	



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

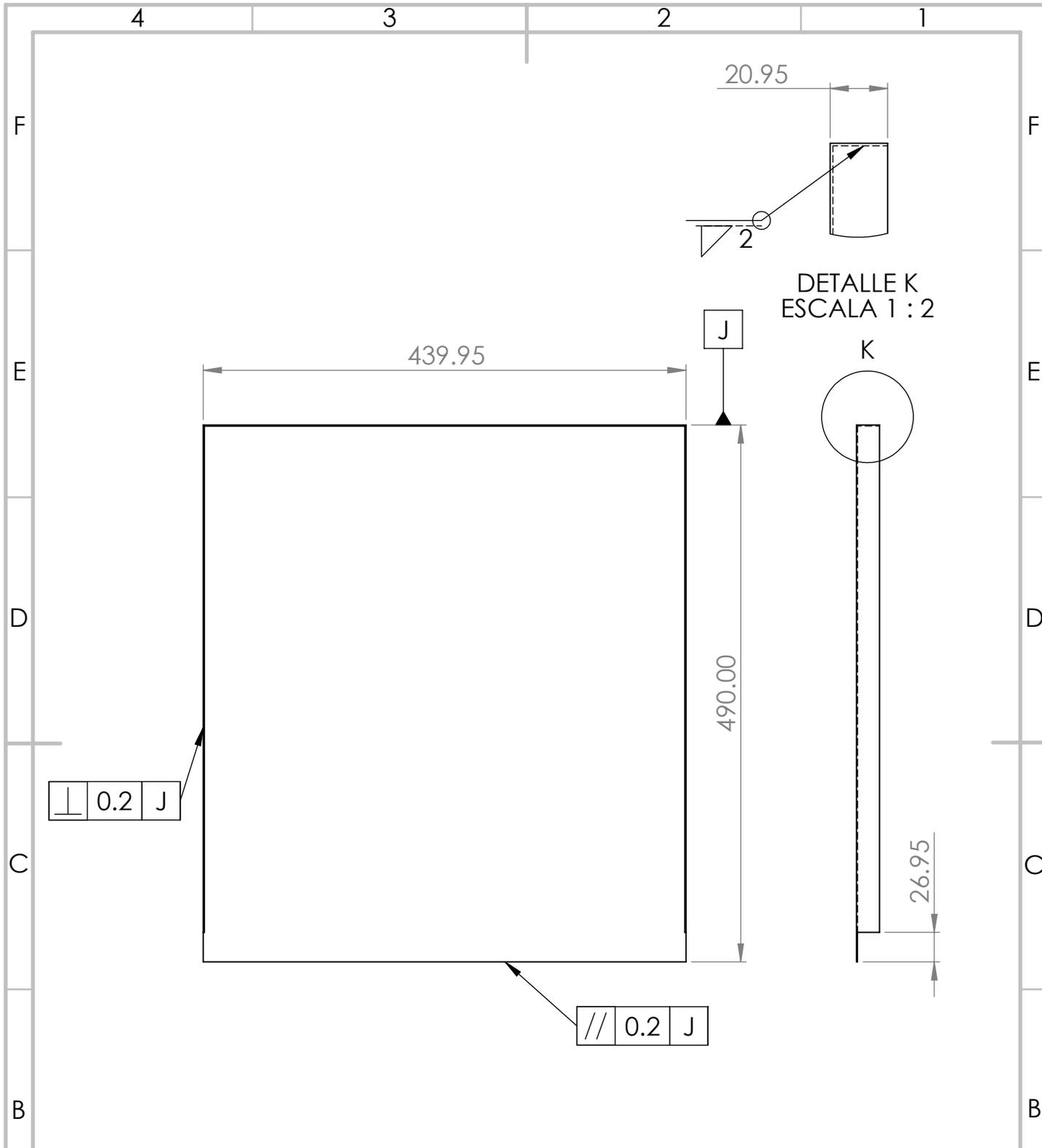
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N8</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: AISI 304 calibre 20
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE: **Cubeto**

SISTEMA: ISO	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:8	FORMATO ANSI A
	PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 7 DE 24		

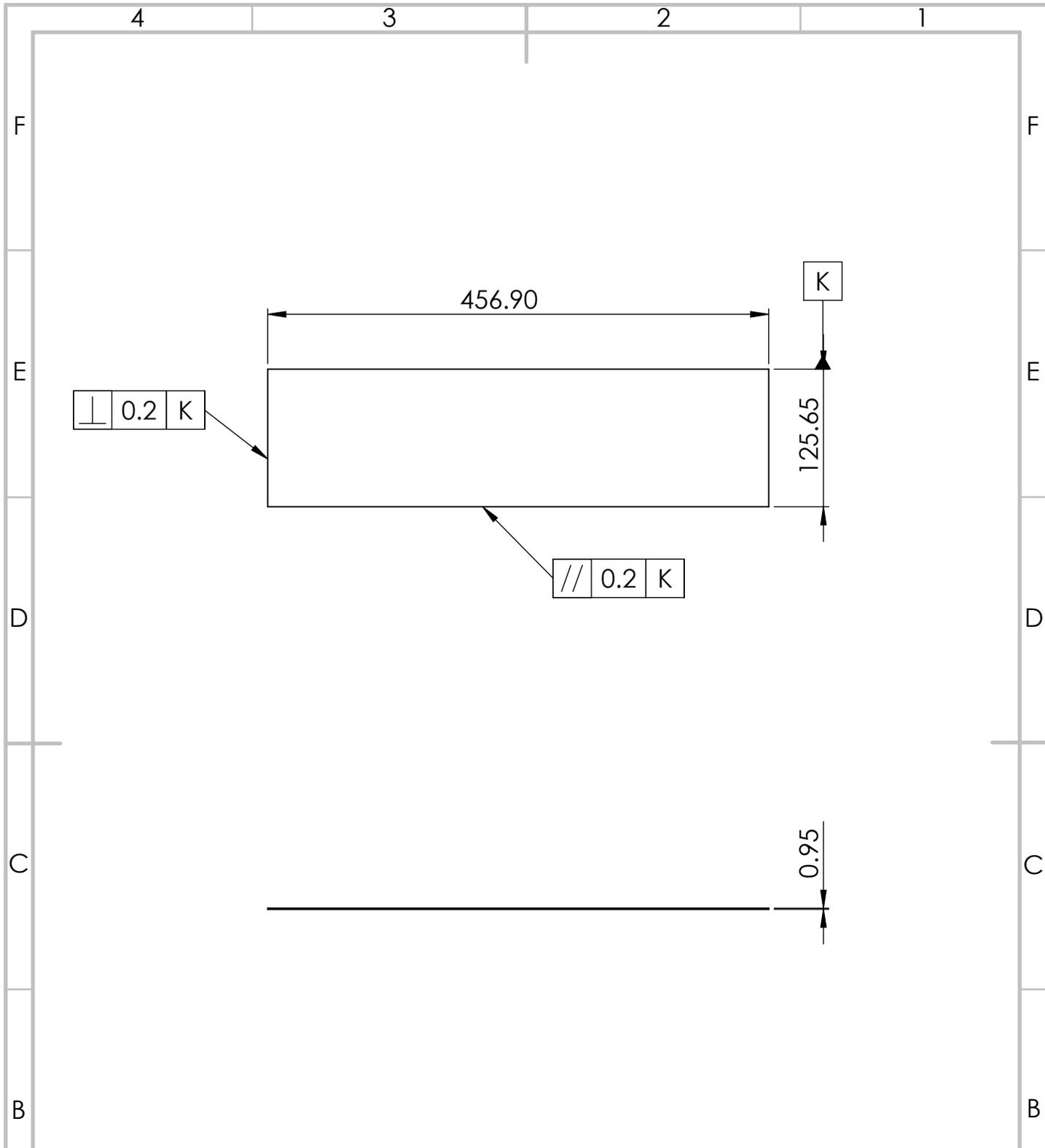


**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: <b>N8</b>	PARTE:  Puerta		
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	MATERIAL: AISI 304 calibre 20	PROYECTO:	ESCALA: 1:5	FORMATO ANSI A
VERIF.	XXXXX		d/m/año				
APROB.	XXXXX		d/m/año	TOLERANCIA EN:  mm	UNIDADES: mm	HOJA 8 DE 24	
FABR.	XXXXX		d/m/año				
SISTEMA:  ISO		TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°		PESO: gramos			



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

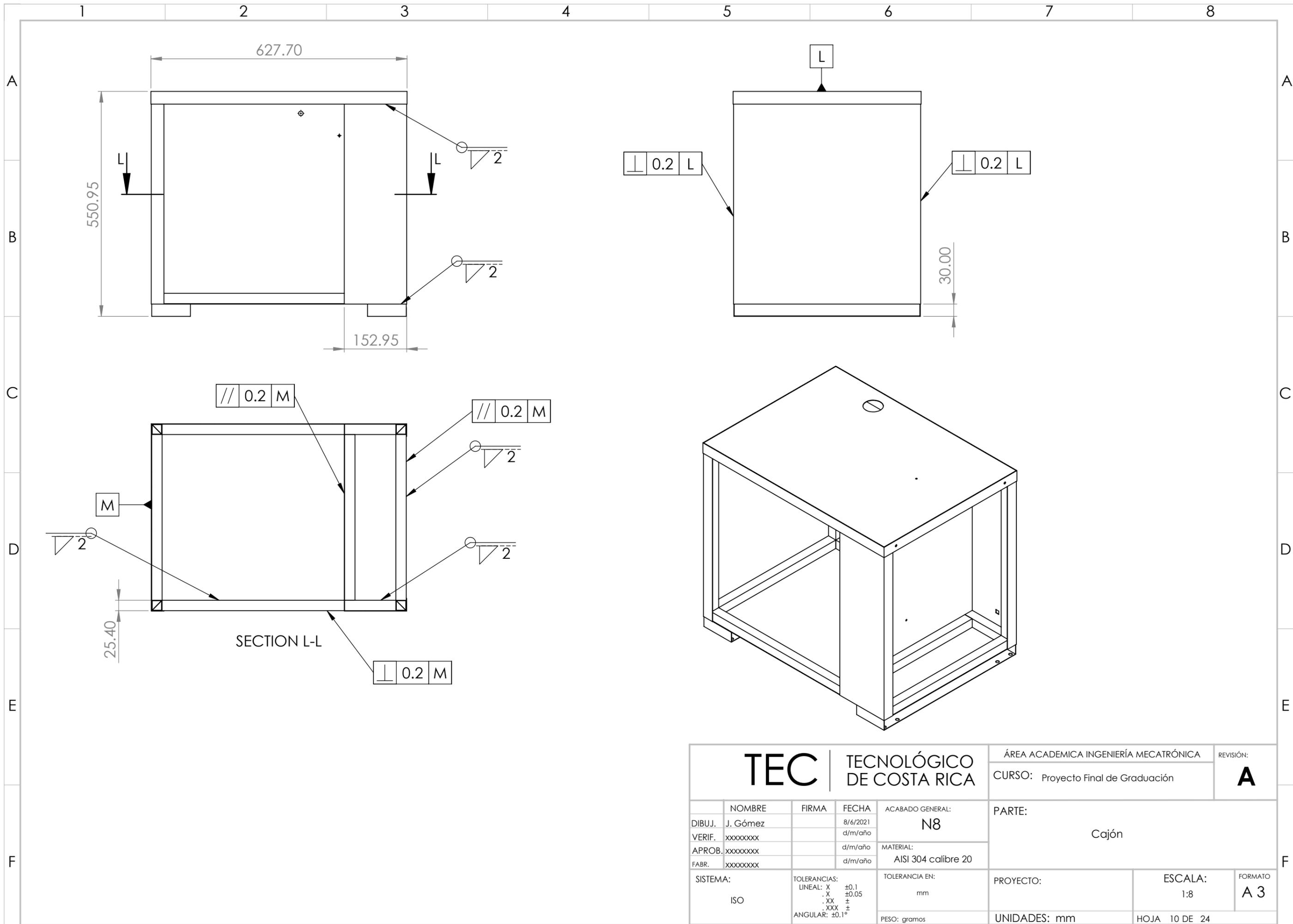
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

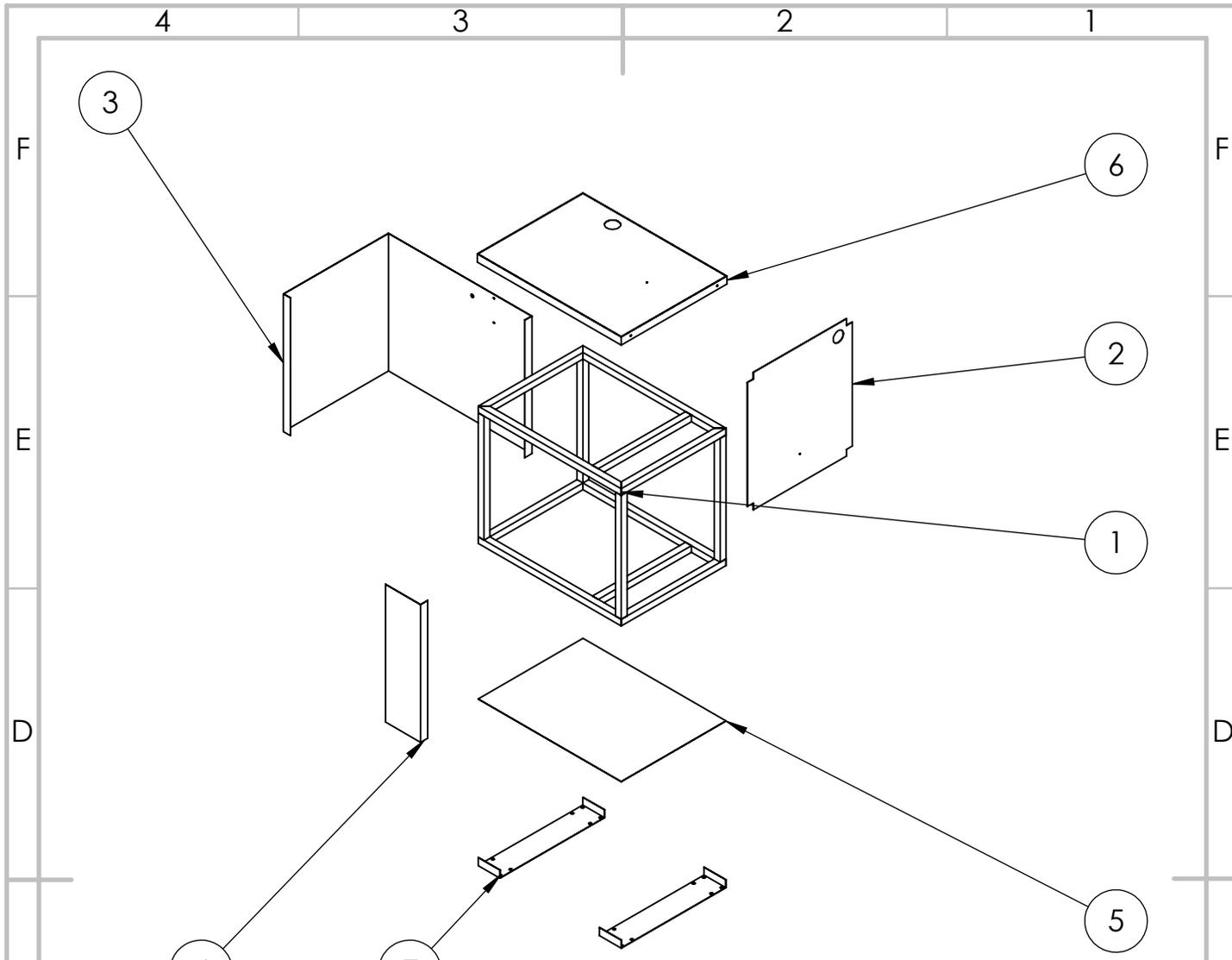
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N8</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: AISI 304 calibre 20
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:  
Base batería

SISTEMA: ISO	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:5	FORMATO ANSI A
		PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 9 DE 24	



<b>TEC</b>		<b>TECNOLÓGICO DE COSTA RICA</b>		ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
				CURSO: Proyecto Final de Graduación		<b>A</b>
DIBUJ. J. Gómez		FIRMA		ACABADO GENERAL:		PARTE: Cajón
VERIF. xxxxxxxx		FECHA 8/6/2021		N8		
APROB. xxxxxxxx		d/m/año		MATERIAL:		PROYECTO:
FAB. xxxxxxxx		d/m/año		AISI 304 calibre 20		
SISTEMA: ISO		TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ±		TOLERANCIA EN: mm		ESCALA: 1:8
		ANGULAR: ±0.1°		PESO: gramos		FORMATO: A3
				UNIDADES: mm		HOJA 10 DE 24



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	ESQUELETO	1
2	division	1
3	pared	1
4	adelante	1
5	base	1
6	tapa	1
7	BaseLlantas	2

**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021
VERIF.	XXXXX		d/m/año
APROB.	XXXXX		d/m/año
FABR.	XXXXX		d/m/año

ACABADO GENERAL:  
**N8**

MATERIAL:  
AISI 304 calibre 20

PARTE:  
Cajón explosionado

SISTEMA:  
ISO

TOLERANCIAS:  
LINEAL: X ±0.1  
.X ±0.05  
.XX ±  
.XXX ±  
ANGULAR: ±0.1°

TOLERANCIA EN:  
mm

PESO: gramos

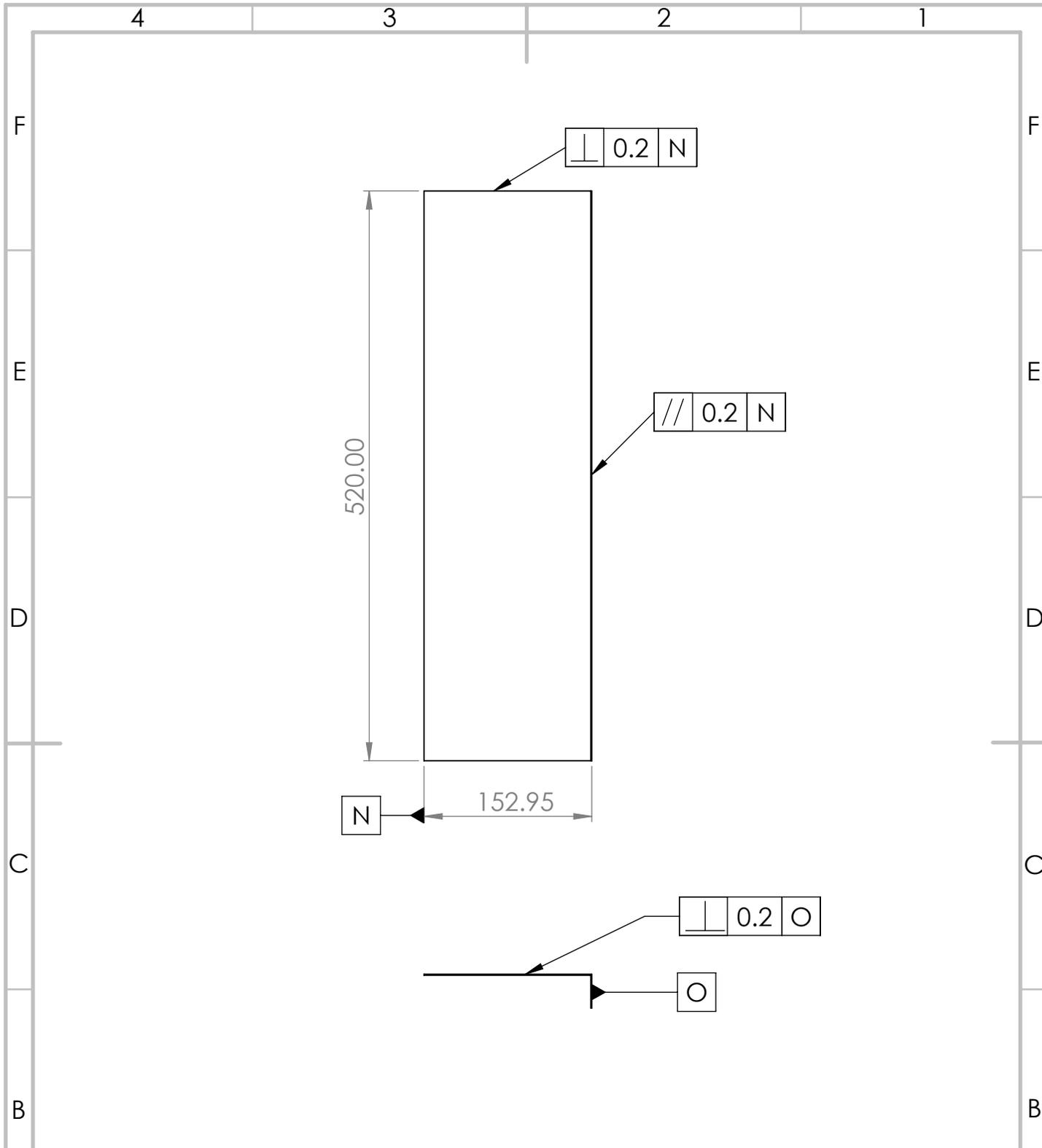
PROYECTO:

UNIDADES: mm

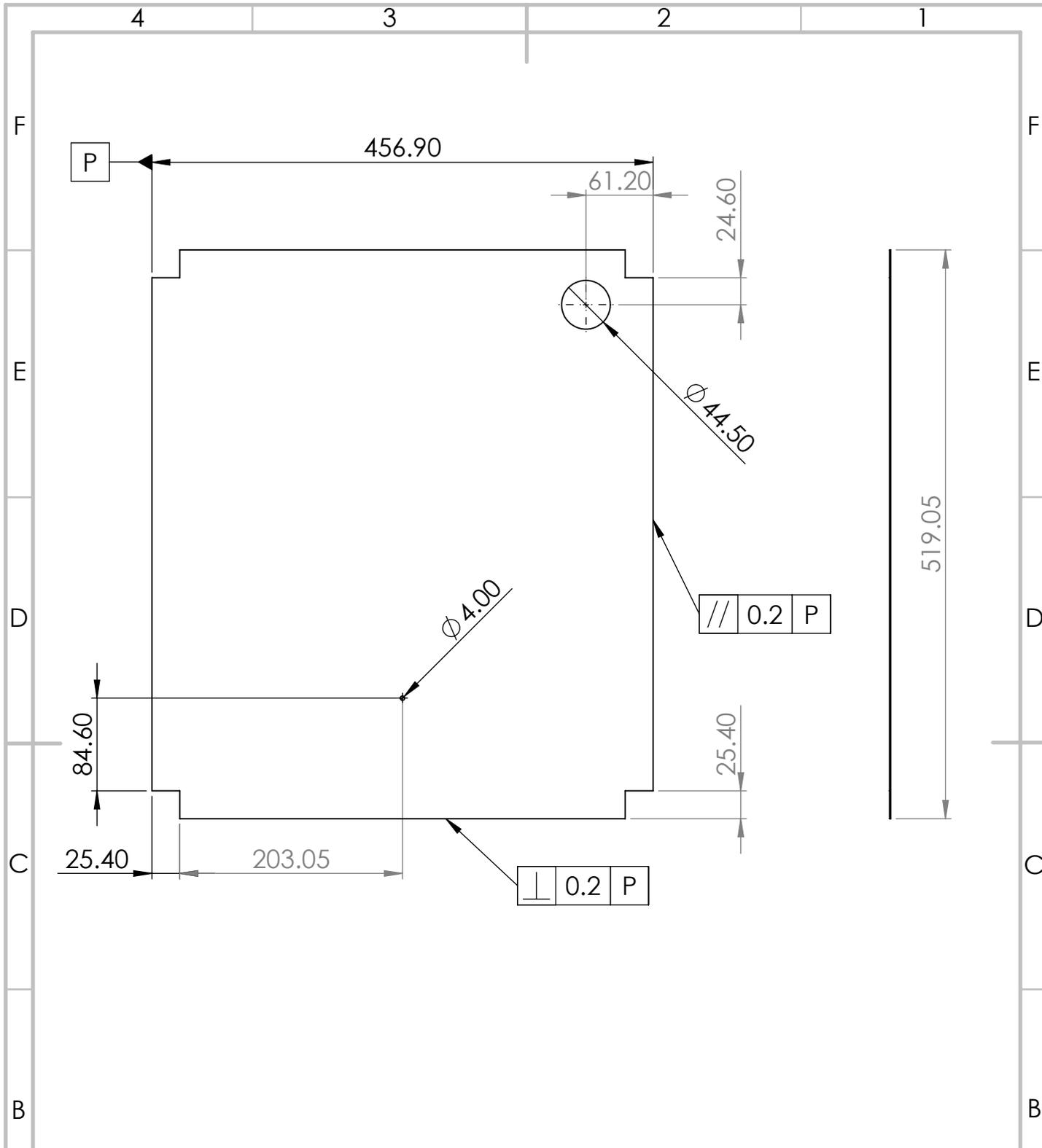
ESCALA:  
1:20

HOJA 11 DE 24

FORMATO  
ANSI A



<h1>TEC</h1>		<h2>TECNOLOGICO DE COSTA RICA</h2>		ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
				CURSO: Proyecto Final de Graduación		<b>A</b>	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:	PARTE: Adelante		
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N8</b>			
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL:			
APROB.	XXXXX		d/m/año	AISI 304 calibre 20			
FABR.	XXXXX		d/m/año				
SISTEMA: ISO		TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°		TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:5	FORMATO ANSI A
		PESO: gramos		UNIDADES: mm	HOJA 12 DE 24		



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N8</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: AISI 304 calibre 20
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

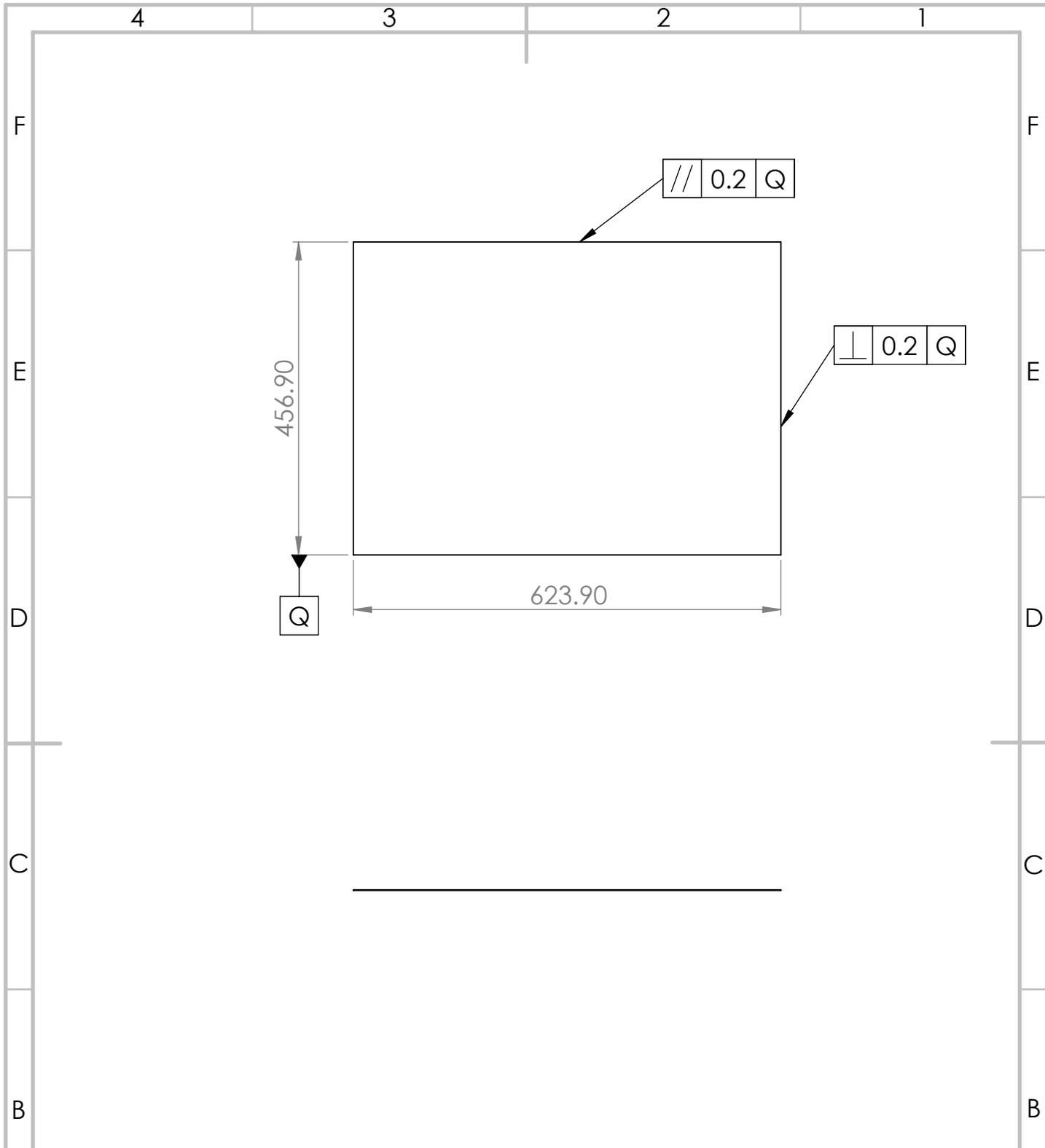
PARTE:  
División

SISTEMA:	TOLERANCIAS:	TOLERANCIA EN:
ISO	LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°	mm
		PESO: gramos

PROYECTO:  
UNIDADES: mm

ESCALA: 1:5  
HOJA 13 DE 24

FORMATO ANSI A



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

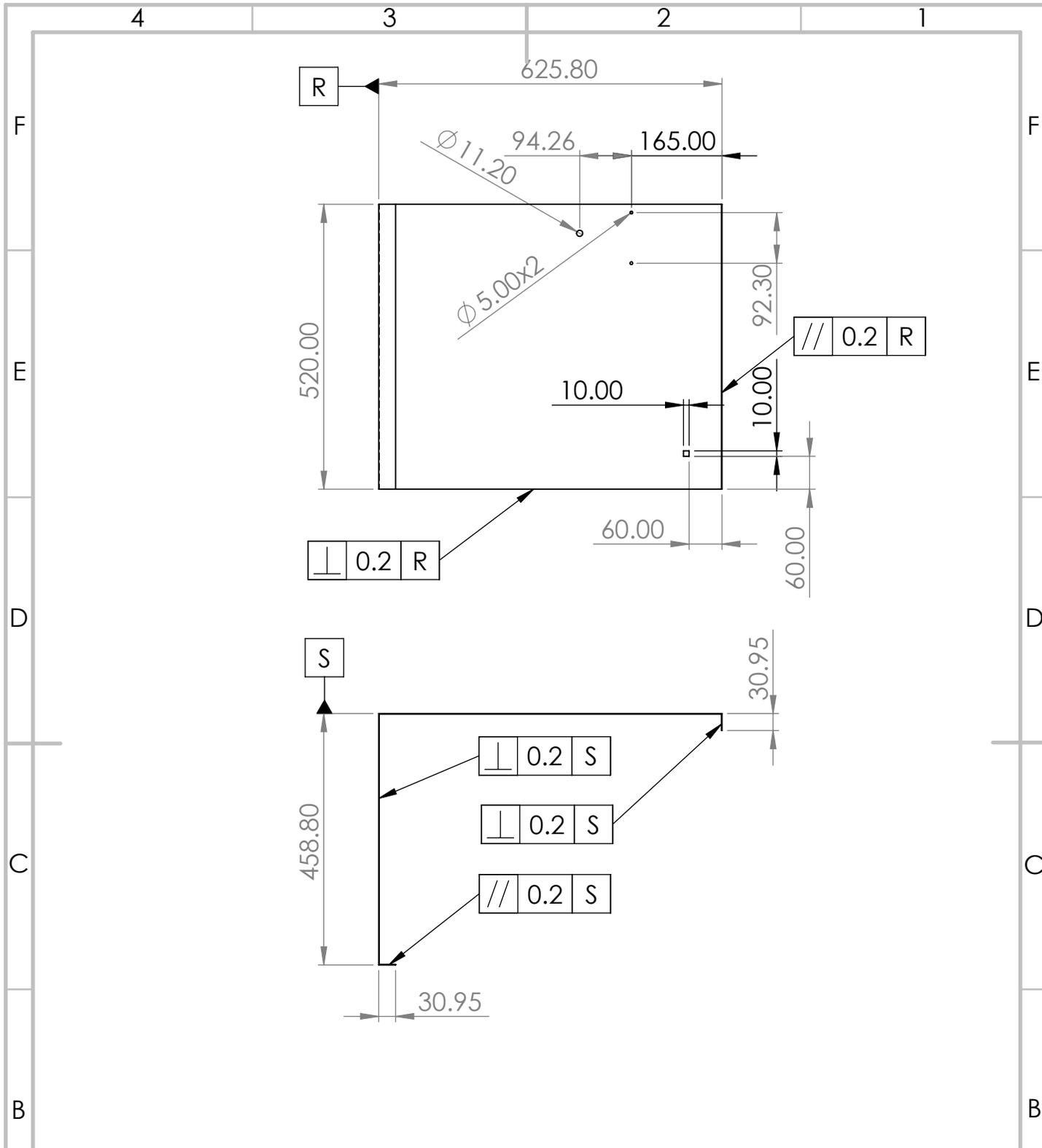
CURSO: Proyecto Final de Graduación

**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N8</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: AISI 304 calibre 20
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE: División

SISTEMA: ISO	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:8	FORMATO ANSI A
		PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 14 DE 24	

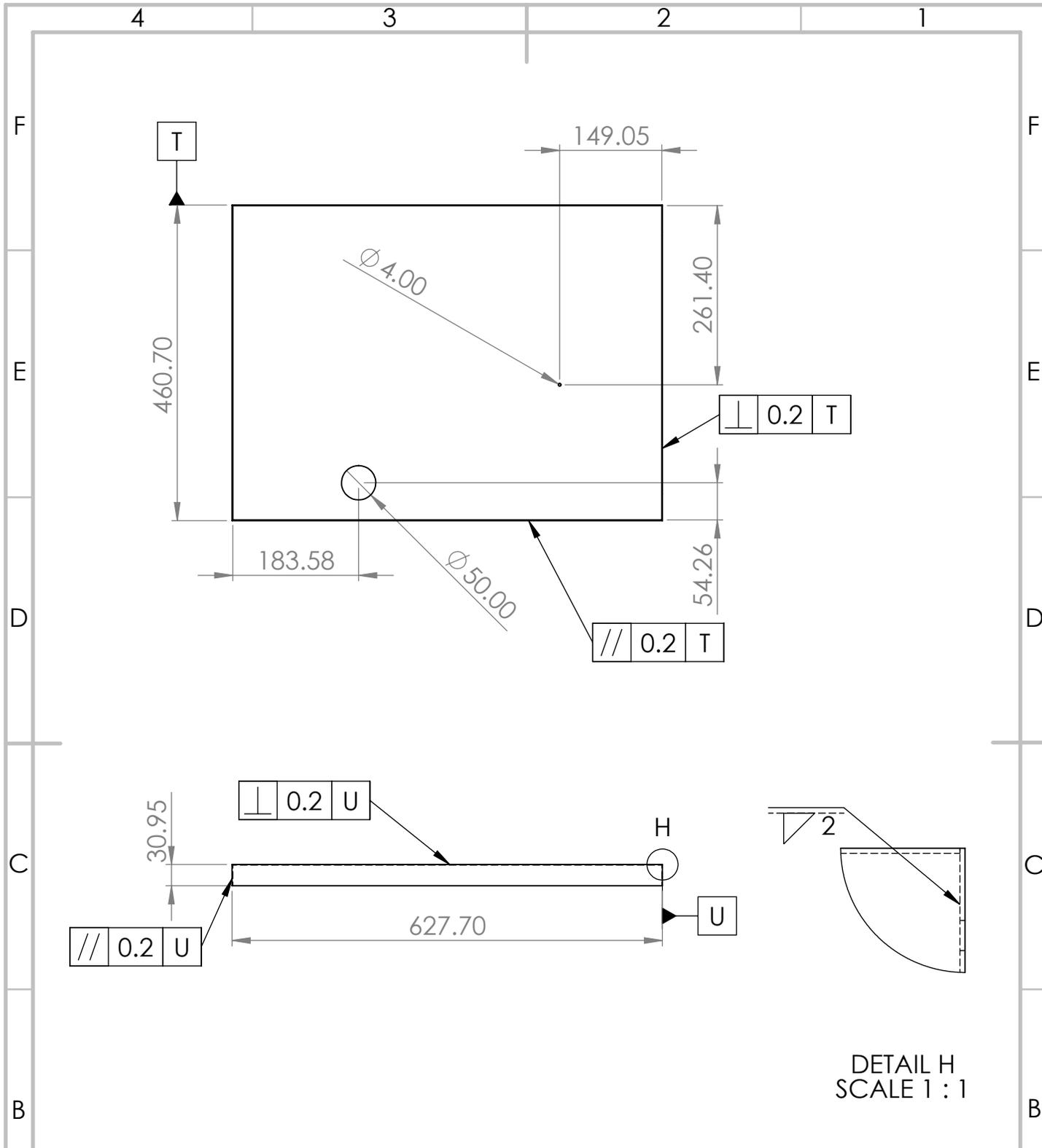


**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

A	DIBUJ.	J. Gómez	FIRMA	FECHA	8/6/2021	ACABADO GENERAL:	PARTE:  Pared	PROYECTO:	ESCALA: 1:10	FORMATO ANSI A	A
	VERIF.	XXXXX			d/m/año	MATERIAL: AISI 304 calibre 20					
	APROB.	XXXXX			d/m/año						
	FABR.	XXXXX			d/m/año						
SISTEMA:		TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:		UNIDADES: mm		HOJA 15 DE 24			
ISO		LINEAL: X ±0.1 X ±0.05 XX ± XXX ± ANGULAR: ±0.1°		mm		PESO: gramos					



DETAIL H  
SCALE 1 : 1

**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

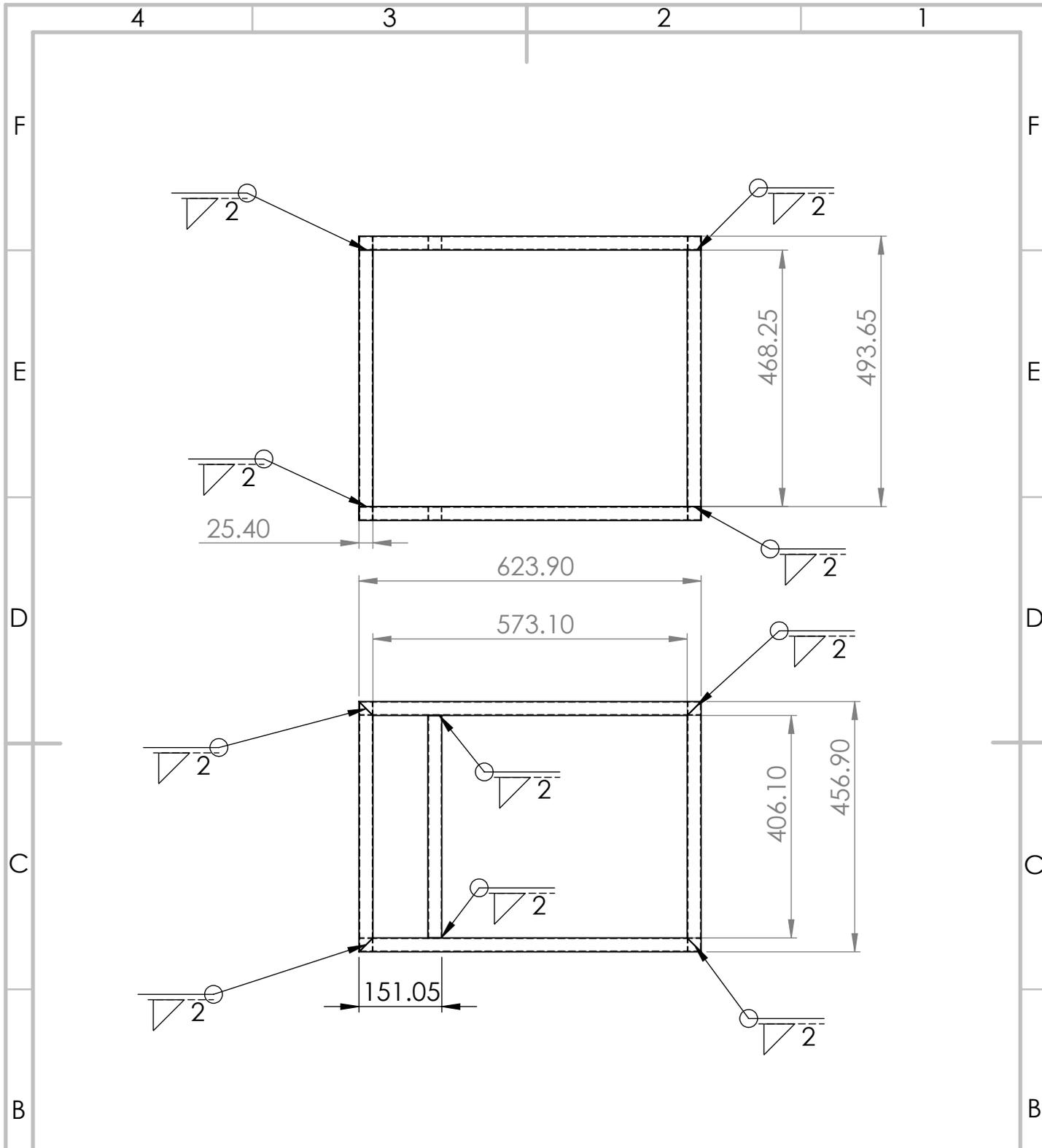
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: <b>N8</b>
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	MATERIAL: AISI 304 calibre 20
VERIF.	XXXXX		d/m/año	
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:  
**Tapa**

SISTEMA: ISO	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:8	FORMATO ANSI A
	PESO: gramos		UNIDADES: mm	HOJA 16 DE 24	



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

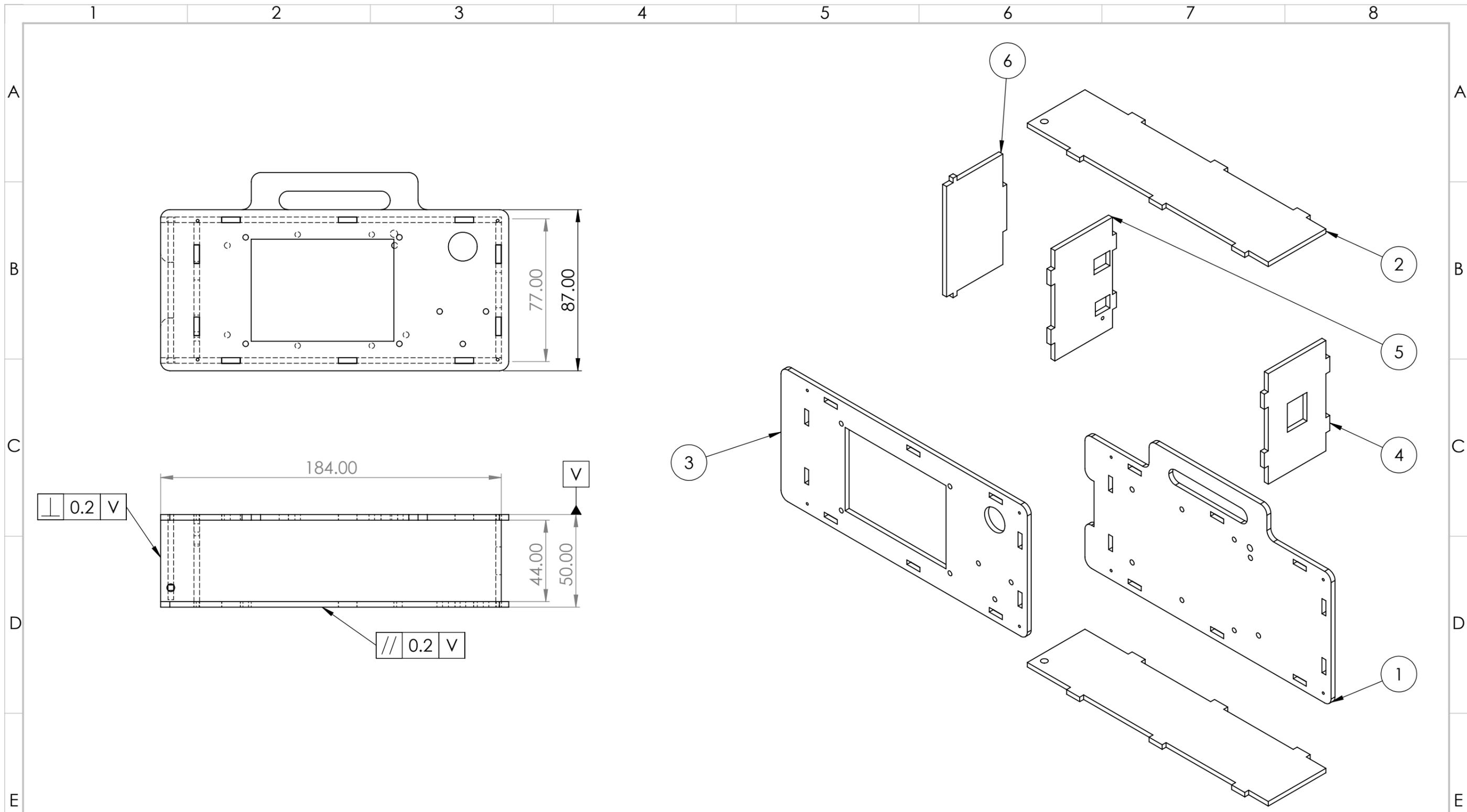
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N8</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

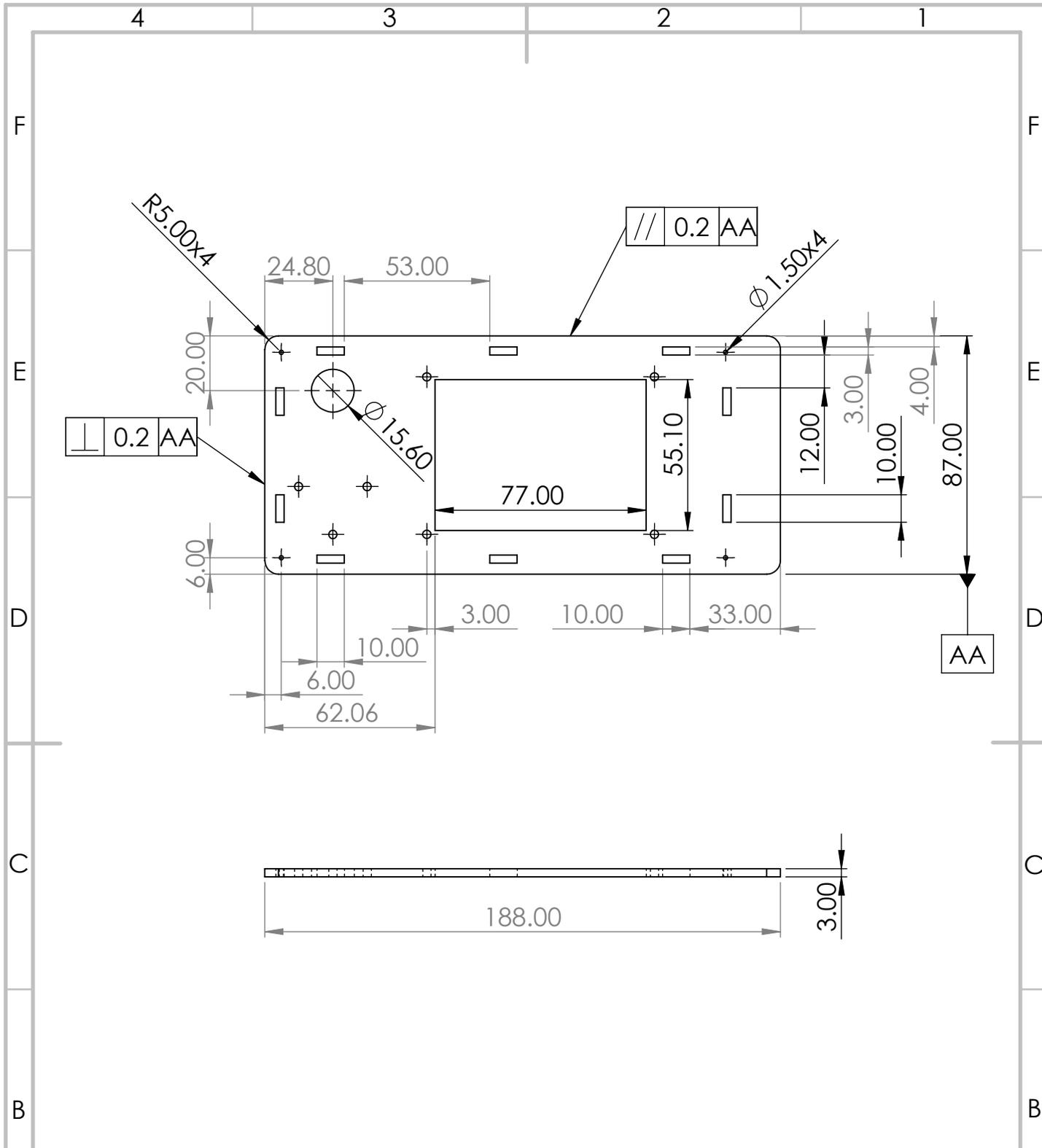
PARTE: Esqueleto

SISTEMA: ISO	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:10	FORMATO ANSI A
	PESO: gramos		UNIDADES: mm	HOJA 17 DE 24	



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	TapaAtrasPanel	1
2	Costado	2
3	TapaPanel	1
4	Lado interruptor	1
5	Lado conexiones	1
6	Tapa movil	1

<h1>TEC</h1>		<b>TECNOLÓGICO DE COSTA RICA</b>		ÁREA ACADEMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
				CURSO: Proyecto Final de Graduación		<b>A</b>
DIBUJ. J. Gómez		FIRMA		ACABADO GENERAL:		PARTE:
VERIF. xxxxxxxx		FECHA 8/6/2021		N3		
APROB. xxxxxxxx		d/m/año		MATERIAL:		PROYECTO:
FABR. xxxxxxxx		d/m/año		Acrílico espesor 3 mm		
SISTEMA:		TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:		ESCALA:
		LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ±		mm		
		ANGULAR: ±0.1°		PESO: gramos		FORMATO
				UNIDADES: mm		<b>A 3</b>
				HOJA 18 DE 24		



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

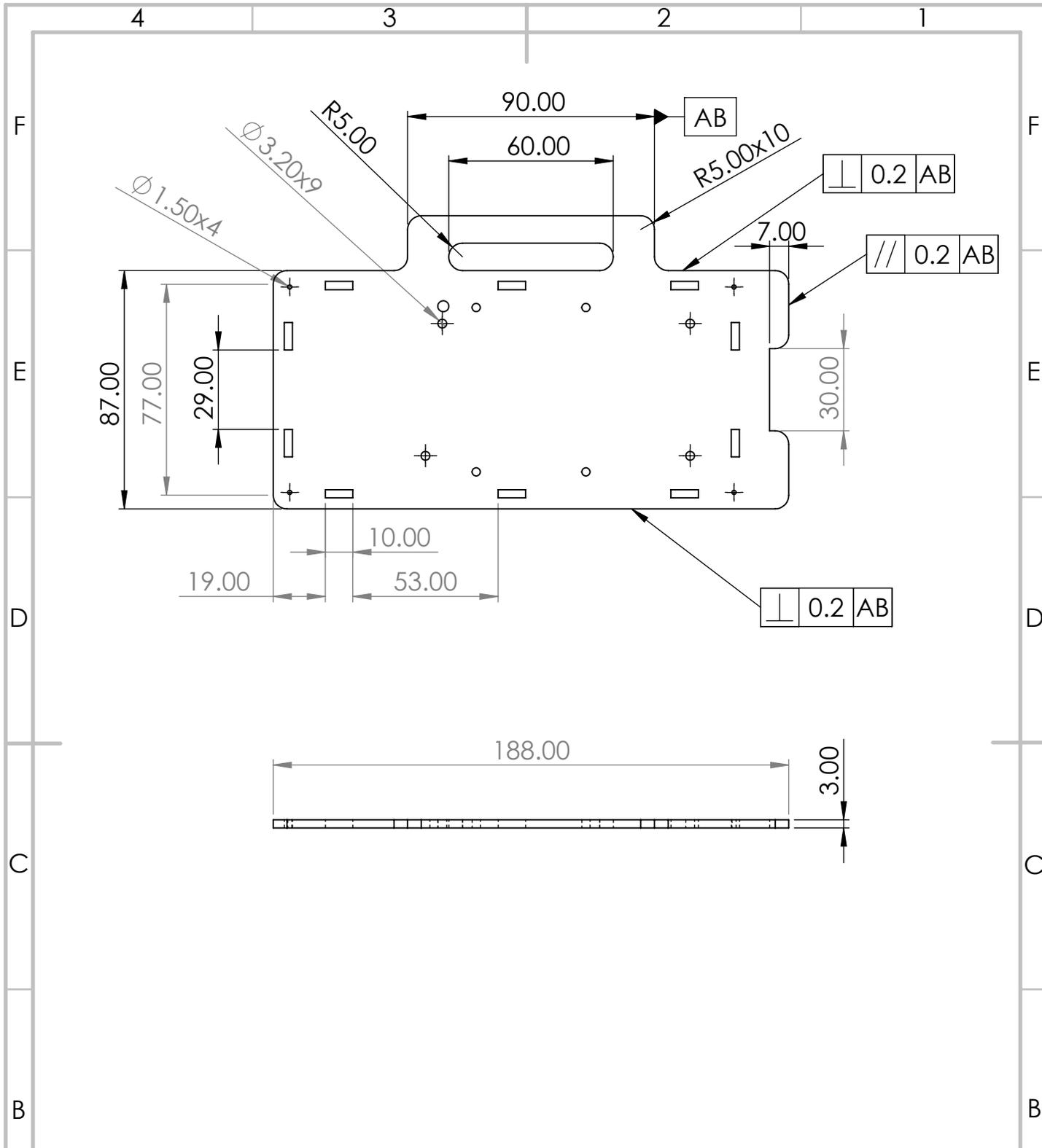
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N3</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: Acrílico espesor 3 mm
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:  
**Tapa panel**

SISTEMA:	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: <b>mm</b>	PROYECTO:	ESCALA: 1:2	FORMATO ANSI A
		PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 19 DE 24	



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

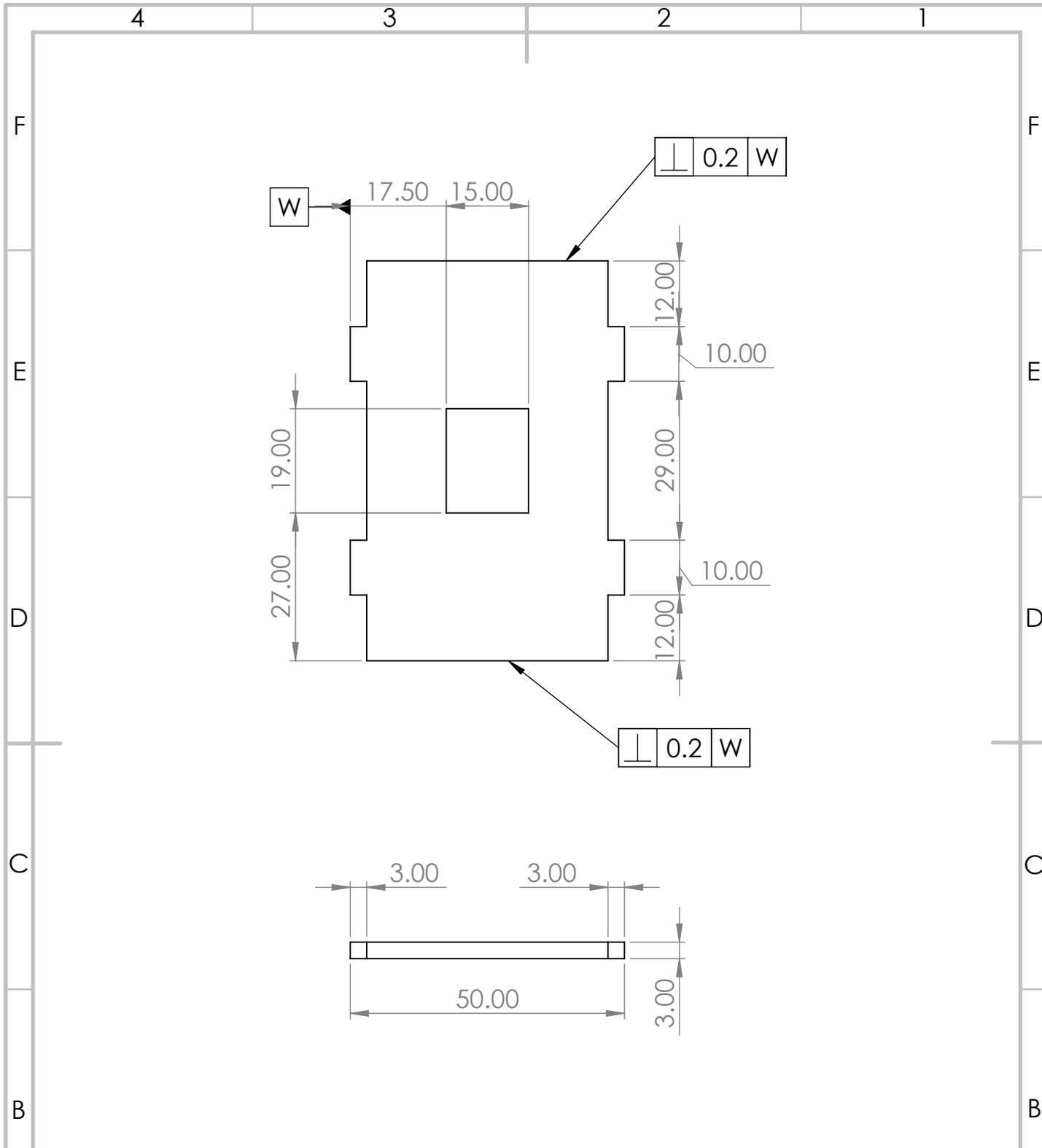
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N3</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: Acrílico espesor 3 mm
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:

SISTEMA:	TOLERANCIAS:	TOLERANCIA EN:	PROYECTO:	ESCALA:	FORMATO
	LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ±	mm		1:2	ANSI A
	ANGULAR: ±0.1°	PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 20 DE 24	



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

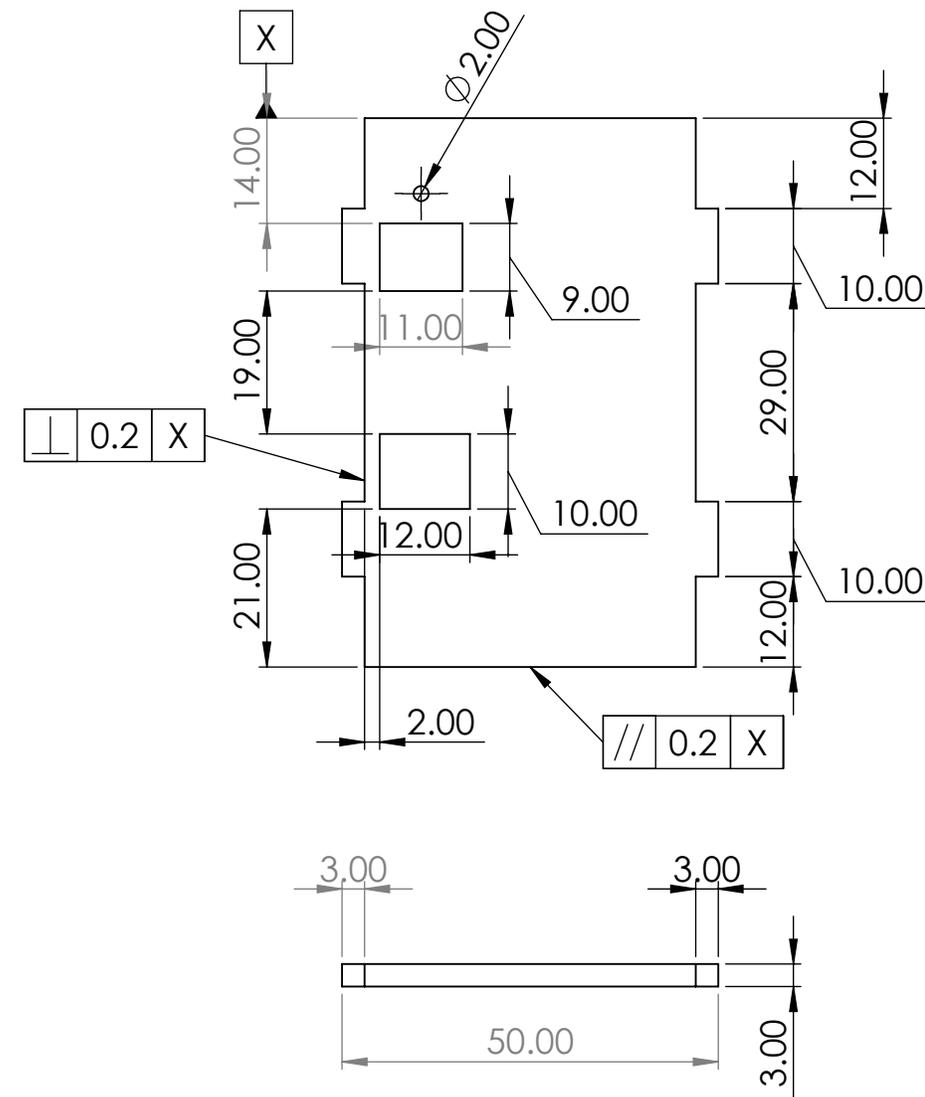
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N3</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: Acrílico espesor 3 mm
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:  
**Lado interruptor**

SISTEMA:	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: <b>mm</b>	PROYECTO:	ESCALA: 1:1	FORMATO ANSI A
		PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 21 DE 24	



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

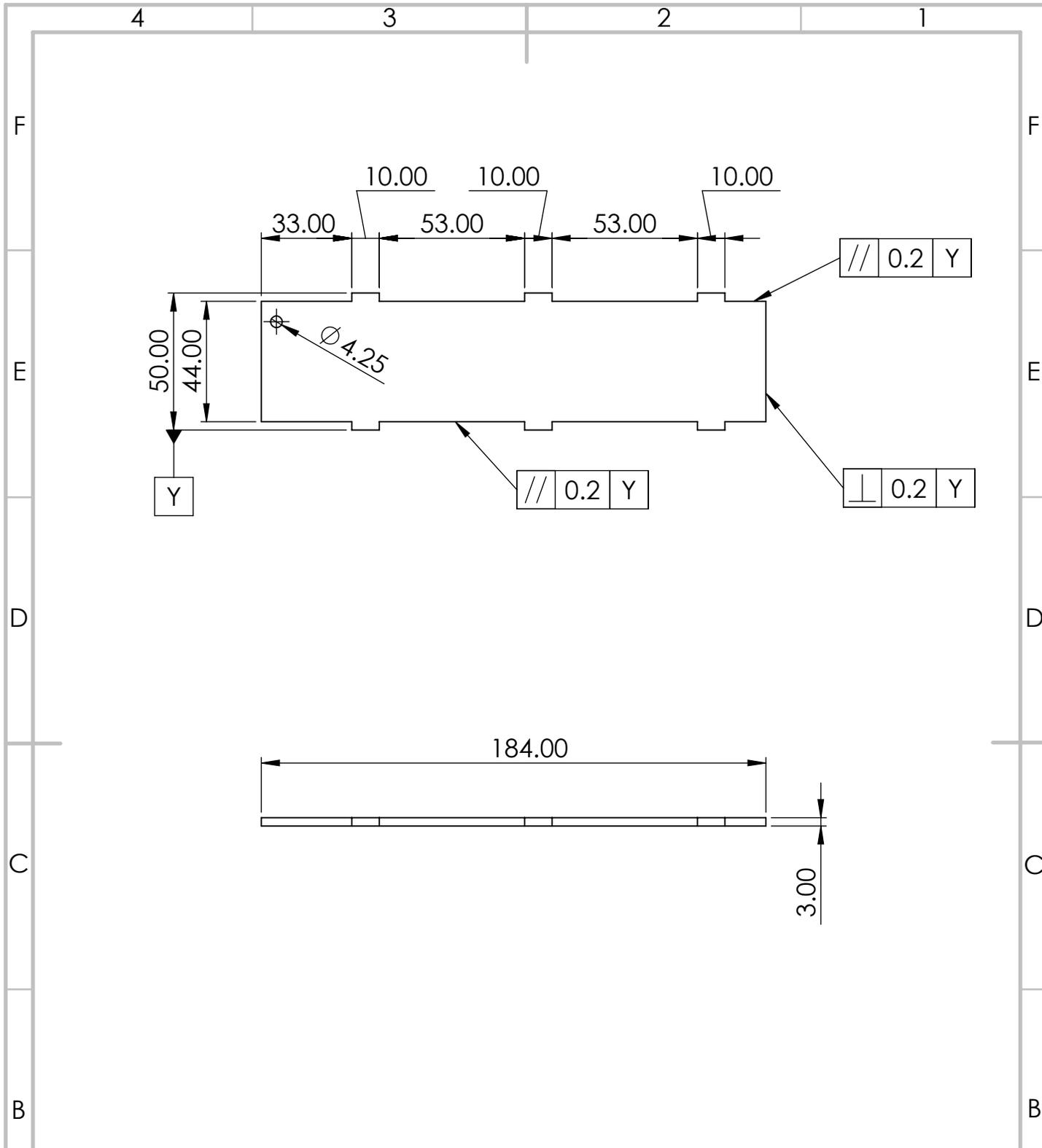
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N3</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: Acrílico espesor 3 mm
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:  
Tapa Conectores

SISTEMA:	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 X ±0.05 XX ± XXX ±	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:1	FORMATO ANSI A
	ANGULAR: ±0.1°	PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 22 DE 24	



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

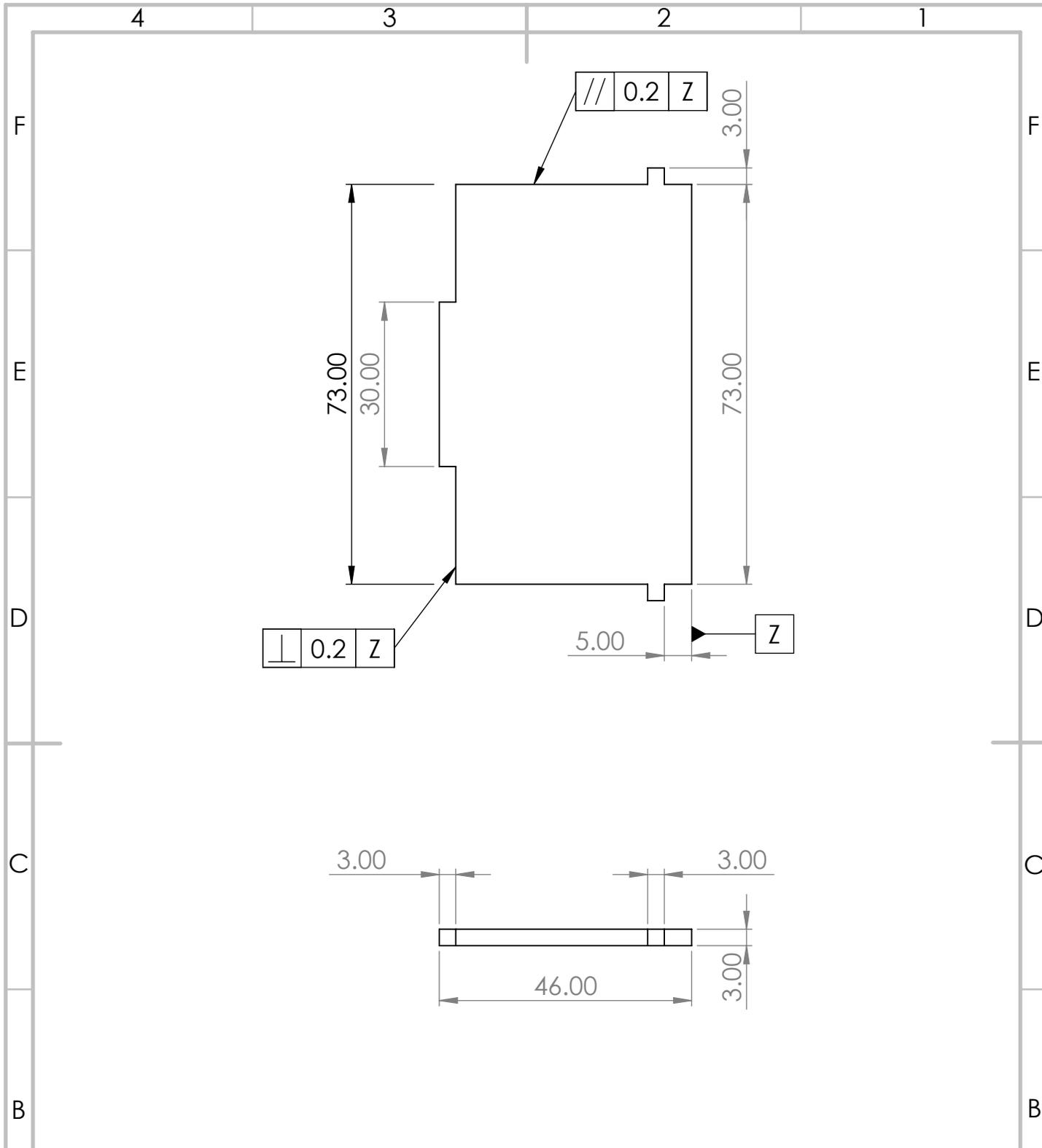
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N3</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: Acrílico espesor 3 mm
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:  
Costado

SISTEMA:	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ±	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:2	FORMATO ANSI A
	ANGULAR: ±0.1°	PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 23 DE 24	



**TEC** | TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
CURSO: Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:  
**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:
DIBUJ.	J. Gómez		8/6/2021	<b>N3</b>
VERIF.	XXXXX		d/m/año	MATERIAL: Acrílico espesor 3 mm
APROB.	XXXXX		d/m/año	
FABR.	XXXXX		d/m/año	

PARTE:  
Lado móvil

SISTEMA:	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.1 .X ±0.05 .XX ± .XXX ± ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO:	ESCALA: 1:1	FORMATO ANSI A
		PESO: gramos	UNIDADES: mm	HOJA 24 DE 24	

## Apéndice 2: Modelo del sistema de control

El flujo ( $Q$ ) de la bomba depende de las características físicas con las que se construyó. Las variables que afectan el flujo y el funcionamiento del motor son:

- $L_T$ : longitud del segmento de tubo entre rodillos
- $V_T$ : volumen dentro del segmento de tubo
- $\omega$ : velocidad tangencial de la bomba
- $r$ : radio interior del tubo
- $D$ : diámetro de la circunferencia donde se mueven los rodillos
- $n$ : cantidad de rodillos
- $\omega_n$ : velocidad tangencial del motor
- $k_b$ : constante de
- $k_i$ : constante de
- $B_m$ : constante de
- $J_m$ : constante de torque

### Flujo

Para una bomba peristáltica la longitud del tubo que se encuentra entre los rodillos modifica cuanto líquido pasa entre ellos.

$$L_T = \frac{\pi D}{n} \quad (A2.4. 2)$$

$$V_T = \pi r^2 L_T \quad (A2.4. 3)$$

La ecuación  $L_T = \frac{\pi D}{n}$  (A2.4. 2) describe el flujo del sistema a partir de la velocidad a la que giran los rodillos que presionan la manguera que transporta el líquido.

$$Q = V_T \omega n_v \quad (A2.4. 4)$$

Ya que el motor tiene una relación de reducción 1:20 con la salida se afirma la siguiente relación

$$\frac{\omega_n}{20} = \omega \quad (A2.4. 5)$$

Al sustituir (A2.4. 6) y (A2.4. 4) en y (A2.4. 7) despejar la velocidad angular del motor se obtiene la expresión

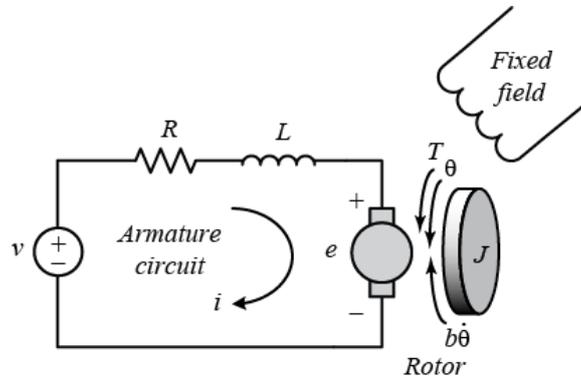
$$\omega = \frac{20 Q}{\pi r^2 L_T} \quad (A2.4. 8)$$

Por facilidad a partir de este punto se utiliza la constante A como se indica a continuación

$$A = \frac{20}{\pi r^2 L_T} \quad (A2.4. 9)$$

### Motor CD

En la Figura A2.4 1 se muestra el circuito interno que permite modelar el sistema de un motor de corriente directa.



**Figura A2.4 1** Circuito interno de un motor de corriente directa. [81]

El torque del motor y la tensión en el mismo dependen directamente de las características propias del motor.

$$T_m = k_t i_a \quad (A2.4. 10)$$

$$e_b = k_b \omega_n \quad (A2.4. 11)$$

La suma de tensiones del motor se obtiene al realizar la malla de la corriente de armadura

$$e_a = V_R + V_L + e_b \quad (A2.4. 12)$$

Al sustituir (A2.4. 13) y (A2.4. 14) en (A2.4. 15) se tiene que

$$e_a = i_a R + L \frac{di_a}{dt} + k_b \omega_n \quad (A2.4. 16)$$

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{-Ri_a}{L} - \frac{k_b \omega_n}{L} + \frac{e_a}{L} \quad (A2.4. 17)$$

Luego se sustituye la relación de velocidad tangencial (A2.4. 18) en (A2.4. 19)

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{-Ri_a}{L} - \frac{k_b A Q}{L} + \frac{e_a}{L} \quad (A2.4. 20)$$

### Sumatoria de torques

La sumatoria de torques del motor se describe en la ecuación (A2.4. 21) donde  $T_m$  depende de la carga y será relevante porque el análisis se realiza con respecto a la tensión de alimentación del sistema.

$$J_m \ddot{\theta} = T_m - B_m \dot{\theta} \quad (A2.4. 22)$$

$$\dot{\theta} = \omega \quad (A2.4. 23)$$

Al sustituir (A2.4. 24) en (A2.4. 25) se tiene

$$\dot{\omega} = \frac{k_i i_a}{J_m} - \frac{B_m \omega}{J_m} + \frac{T_L}{J_m} \quad (A2.4. 26)$$

Luego se sustituye la relación de velocidad tangencial (A2.4. 27) en (A2.4. 28)

$$\dot{Q} = \frac{k_i i_a}{J_m A} - \frac{B_m Q}{J_m} + \frac{T_L}{J_m A} \quad (A2.4. 29)$$

A partir de las ecuaciones se toma la corriente de armadura y el flujo como las variables de estado, siendo el a su vez la salida del sistema.

$$x_1 = i_a \quad (A2.4. 30)$$

$$\dot{x}_1 = \frac{-R i_a}{L} - \frac{k_b A Q}{L} + \frac{e_a}{L} \quad (A2.4. 31)$$

$$x_2 = Q \quad (A2.4. 32)$$

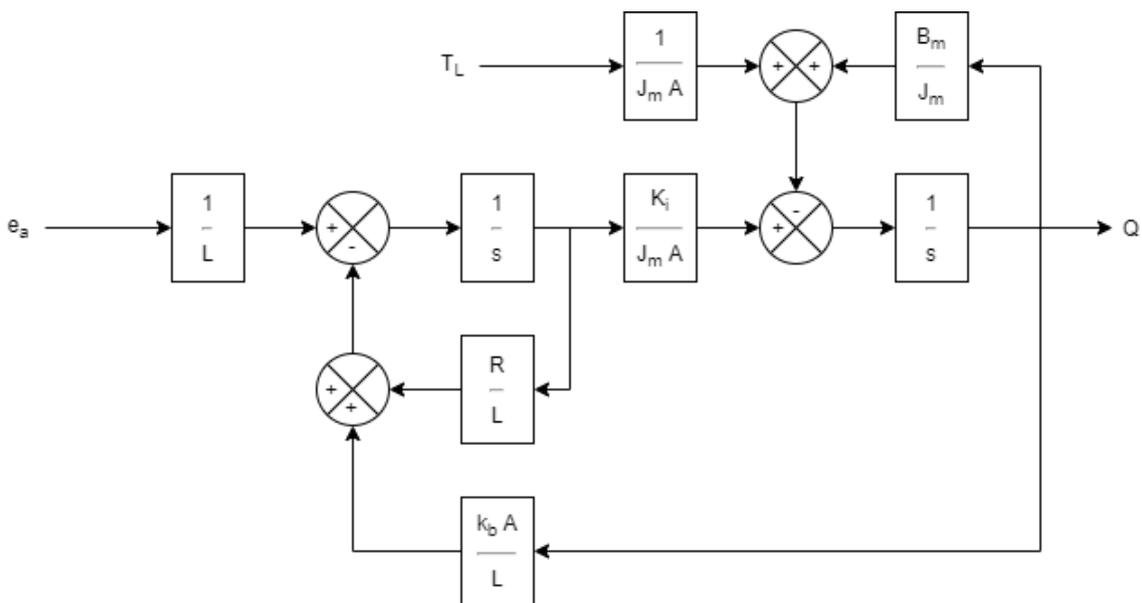
$$\dot{x}_2 = \frac{k_i i_a}{J_m A} - \frac{B_m Q}{J_m} + \frac{T_L}{J_m A} \quad (A2.4. 33)$$

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \quad (A2.4. 34)$$

$$y = [0 \quad 1]x \quad (A2.4. 35)$$

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \frac{-R}{L} & \frac{-k_b A}{L} \\ \frac{k_i}{J_m A} & \frac{-B_m}{J_m} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{J_m A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a \\ T_L \end{bmatrix} \quad (A2.4. 36)$$

En la Figura A2.4 2 se muestra el diagrama de bloques que se obtiene de las ecuaciones (A2.4. 25), (A2.4. 26), (A2.4. 27) y (A2.4. 28).



**Figura A2.4 2** Diagrama de bloques del sistema. Elaboración propia

Para obtener la función de transferencia se ubican las malla y trayectorias directas desde la entrada hasta la salida, estas se obtienen a partir de la Figura A2.4 2. En la siguiente ecuación se muestra la función de transferencia obtenida

$$C(s) = \frac{k_i A^{-1}}{s^2 L J_m + s(R J_m + B_m L) + (k_i k_b + R B_m)} \quad (A2.4. 37)$$

En la Tabla A2.4. 1 se indican las constantes del motor y de la bomba necesarias para calcular la función de transferencia.

**Tabla A2.4. 1** Constantes del sistema. Elaboración propia

Constante	Cantidad
R	0.83
L	0.00063
k <sub>i</sub>	0.0182
K <sub>b</sub>	0.0182
J <sub>m</sub>	0.000003228
B <sub>m</sub>	0.00035077
d	0.0079
D	0.048

Al sustituir las variables de la Tabla A2.4. 1 en la ecuación (A2.4. 38) se obtiene la siguiente función de transferencia

$$G(s) = \frac{1.10}{s^2 + s 1426 + 3.06 \times 10^5} \quad (A2.4. 39)$$

### Apéndice 3: Controlador PID

Para el cálculo y simulación del controlador PID se utilizó el código que se muestra en las figuras

```
1 - R=0.83
2 - L=0.00063
3 - J_m=0.000003228
4 - B_m=0.00035077
5 - k_i=0.0182
6 - k_b=0.0182
7 - d=0.0079
8 - D=0.048
9 - n=3
10 - L_T=(pi*D)/n
11 - A=(pi*L_T*(d/2)^2)/20
12 - %Numerador
13 - num=[(k_i*A)/(L*J_m)]
14 - %Denominador
15 - den=[1 (R*J_m+B_m*L)/(L*J_m) (k_i*k_b+R*B_m)/(L*J_m)]
16 - H1=tf(num,den)
17 - figure(1)
18 - pzmap(H1)
19 - figure,step(H1)
20
21 - [n,d]=tfdata(H1,'v');
22 - %Terminos de la Funcion de tranferencia
23 - k=n(3);
24 - a=d(2);
25 - b=d(3);
26
27 - % Especificaciones de Diseño
28 - Mp=0.5; %Maximo Pico
29 - ep=sqrt(((log(Mp/100))^2)/(pi^2+((log(Mp/100))^2))); %Factor de amortiguamiento
30 - tau=1/(abs(max(roots(d)))); %Polo dominante
31 - Tss=(tau*4)*1.2;
32 - Wn=3/(ep*Tss); %Frecuencia Natural
33 - Sd=[-ep*Wn+1i*Wn*sqrt(1-ep^2), -ep*Wn-1i*Wn*sqrt(1-ep^2)]; %Ubicaci[on de Polos
34 - p3=real(Sd(1))*10; %Polo no dominante 10 veces polo dominante
35 - Sd1=[Sd p3];
36 - Pds=poly(Sd1);
37 - alpha=0.01;
38 - %Calculo del Controlador
39 - Kc=(Pds(3)-b)/k;
40 - ti=(k*Kc)/Pds(4);
41 - td=(Pds(2)-a)/(k*Kc);
```

Figura A3.4. 1 Cálculo de un controlador PID parte 1. Fuente Elaboración propia

```

46 %Controlador PID
47 - C=tf([d2 d1 d0],[alpha*ti*td ti 0]);
48 - N=1/(td*alpha);
49 %Simulación con el Modelo en lazo cerrado
50 - H=minreal((C*H1)/(1+C*H1));
51 - figure (3)
52 - pzmap(H);
53 - figure(4),step(H);

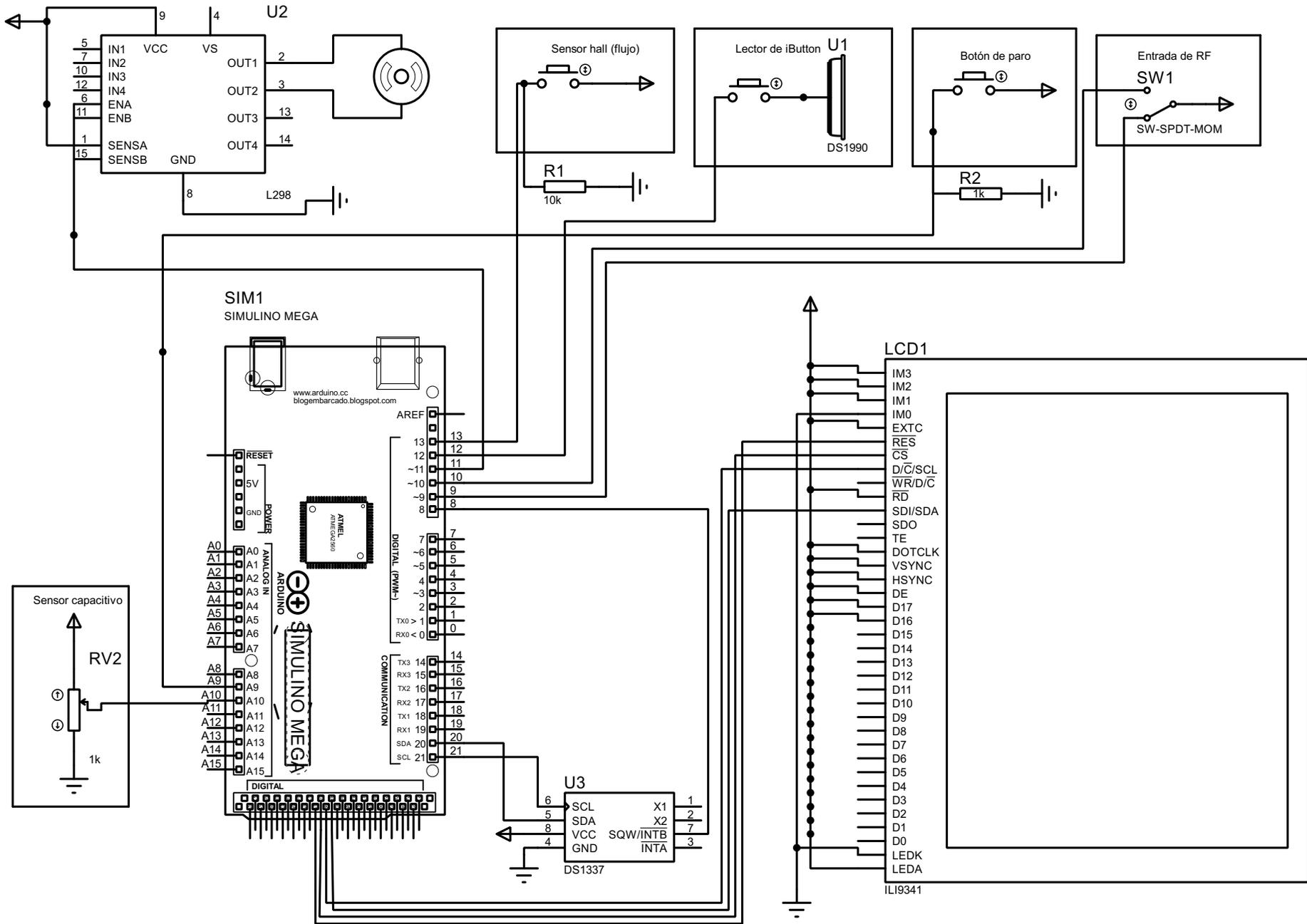
```

**Figura A3.4. 2** Cálculo de un controlador PID parte 2. Fuente Elaboración propia

A partir de dichos cálculos se obtiene el siguiente controlador

$$C(s) = \frac{k_i A^{-1}}{s^2 L J_m + s(R J_m + B_m L) + (k_i k_b + R B_m)} \quad (A3.4. 2)$$

## **Apéndice 4: Conexión del circuito eléctrico**



## Capítulo 9 Anéxos

### Anexo 1: Hoja de datos del líquido A

Identificación de los peligros

Deberán observarse las medidas preventivas usuales para la manipulación de productos químicos.

Valoración HMIS (escala 0-4)

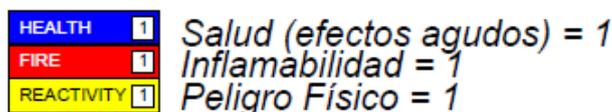


Figura B1.2. 1 Valoración HMIS del líquido A

Primeros auxilios

En caso de inhalación del producto: Suministrar aire fresco; eventualmente hacer respiración artificial, calor. Si los trastornos persisten, consultar al médico. Consultar inmediatamente al médico

En caso de contacto con la piel: Lavar en seguida con agua y jabón, enjuagando bien. Consultar inmediatamente al médico

En caso de contacto con los ojos: Enjuagar durante varios minutos los ojos entornados con agua corriente y consultar el médico.

En caso de ingestión: Consultar al médico

Medidas en caso de vertido accidental

Precauciones personales: Llevar puesto equipo de protección. Mantener alejadas las personas sin protección. Asegurarse de que haya suficiente ventilación.

Precauciones relativas al medio ambiente: No dejar introducirse al alcantarillado o las aguas.

Métodos y material de contención y de limpieza: Quitar con material absorbente (arena, kieselgur, aglutinante de ácidos, aglutinante universal, aserrín).

Prevención de riesgos secundarios: No requiere medidas especiales.

Manipulación y almacenamiento

Precauciones para una manipulación segura:

- Manipular bajo gas protector seco.
- Mantener el depósito cerrado de forma estanca.
- Almacenar, en envases bien cerrados, en un ambiente seco y fresco.

Normas en caso de un almacenamiento conjunto:

- No almacenar junto con agua y/o agentes oxidantes.
- Indicaciones adicionales sobre las condiciones de almacenamiento:

- Almacenarlo bajo gas inerte seco.
- El producto es higroscópico.
- Mantener el recipiente cerrado herméticamente.
- Almacenarlo en envases bien cerrados en un lugar fresco y seco.
- Proteger de la humedad y del agua.

Medidas generales de protección e higiene:

- Son de respetar las medidas regulares de seguridad para el manejo de productos químicos.
- Mantener alejado de alimentos, bebidas y forraje.
- Quitarse inmediatamente ropa ensuciada o impregnada.
- Lavarse las manos antes de las pausas y al final del trabajo.
- Mantener un entorno ergonómico adecuado de trabajo.

Protección de respiración: Si las concentraciones son elevadas, llevar protección respiratoria

Propiedades físicas y químicas

Punto de fusión/punto de congelación: -60 °C

Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición: 186-188 °C

Punto de inflamación: 107 °C

Densidad a 20 °C: 1,036 g/cm<sup>3</sup>

Estabilidad y reactividad

Estabilidad química: Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

Descomposición térmica / condiciones que deben evitarse: No se descompone con almacenaje y manejo adecuado.

Posibilidad de reacciones peligrosas: Reacciones con medios de oxidación fuertes.

Materiales incompatibles: Agentes oxidantes y agua / humedad

Dinámica a 25 °C: 46 mPas

Información toxicológica

Irritación o corrosión: Puede causar irritación

Irritación de los ojos o la corrosión: Puede producir irritación

Sensibilización respiratoria o cutánea: No se conoce ningún efecto sensibilizador

Información ecológica

Nivel de riesgo para el agua 1 (clasificación de listas): escasamente peligroso para el agua

En estado no diluido o no neutralizado, no dejar que se infiltre en aguas subterráneas, aguas superficiales o en alcantarillados.

Es necesario evitar un contacto con el medio ambiente.

## Anexo 2: Programa de control para Arduino Mega

```
#include <UTFT.h>
#include <URTouch.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include <OneWire.h>
#include <PID_v1.h>

//==== Creating Objects for LCD screen
UTFT myGLCD(SSD1289,38,39,40,41); //Parameters should be adjusted to your Display/Schield model
URTouch myTouch( 6, 5, 4, 3, 2);

//==== Defining Variables for LCD screen
extern uint8_t SmallFont[];
extern uint8_t BigFont[];
extern uint8_t SevenSegNumFont[];

int x, y;

char currentPage;

RTC_DS3231 rtc;

//Defining pins
OneWire ds(12); // Connect ibutton data to pin 12
const int RF1 = 9;
const int RF2 = 10;
const int paroState = A0;
int hallsensor = 13; //The pin location of the sensor

//variables
const int measureInterval = 2500;
volatile int pulseConter;

int RF1state = HIGH;
int RF2state = HIGH;
int paro=0;
int numeroDato=0;
float volume = 0;
long t0 = 0;
volatile int NbTopsFan; //measuring the rising edges of the signal
```

Figura B2.4. 1 Programa del microcontrolador parte1. Fuente: Elaboración propia

```

//PID
const int PIN_OUTPUT = 11; //controls PID output
// pid parameters:-
double Setpoint, Input, Output;
double Kp=2.463e05;
double Ki=5.45e07;
double Kd=496.63;
// define object :-
PID pidController(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

//LIQUID DETECTOR
const int sensorPin = A10; // The pin location of the liquid detector
int sensorValue; // Value of A0

String datos[30][3]; //matriz para almacenar datos, maximo 30

void setup() {
// Initial setup
myGLCD.InitLCD();
myGLCD.clrScr();
myTouch.InitTouch();
myTouch.setPrecision(PREC_MEDIUM);
//pinMode(hallsensor, INPUT); |
// Defining Pin Modes
pinMode(RF1, INPUT);
pinMode(RF2, INPUT);
pinMode(paro, INPUT);
Serial.begin(9600); //This is the setup function where the serial port is
//interrupt to read flow
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(hallsensor), rpm, RISING);
t0 = millis();
drawHomeScreen(); // Draws the Home Screen
currentPage = '0'; // Indicates that we are at Home Screen
Setpoint = 1.24;
pidController.SetMode(AUTOMATIC); // encender el PID
}

void loop() {
paro=digitalRead(paroState);
// Home Screen
if (currentPage == '0') {
if (myTouch.dataAvailable()) {
myTouch.read();
x=myTouch.getX(); // X coordinate where the screen has been pressed
y=myTouch.getY(); // Y coordinates where the screen has been pressed
// If we press the refill Button
if ((x>=35) && (x<=285) && (y>=90) && (y<=130)) {
drawFrame(35, 90, 285, 130); // Custom Function -Highlights the buttons when it's pressed
}
}
}
}

```

Figura B2.4. 2 Programa del microcontrolador parte2. Fuente: Elaboración propia

```

    currentPage = '1'; // goes to refill screen
    myGLCD.clrScr(); // Clears the screen
}
// If we press the data Button
if ((x>=35) && (x<=285) && (y>=140) && (y<=180)) {
    drawFrame(35, 140, 285, 180);
    currentPage = '2'; //goes to data transfer screen
    myGLCD.clrScr();
    drawDataTransfer();
}
}
}
// Refill screen
if (currentPage == '1') {
    int cuanto=3.79;
    bool inicializado=false;
    if (myTouch.dataAvailable()) {
        myTouch.read();
        x=myTouch.getX();
        y=myTouch.getY();

        // If we press target
        if ((x>=10) && (x<=135) &&(y>=90) && (y<=163)) {
            if (cuanto==3.79 || cuanto>=4.51){
                cuanto=0;
            }
            else{
                cuanto=cuanto+0.5;
            }
        }
        // If we press the stop/star
        if ((x>=10) && (x<=135) &&(y>=173) && (y<=201)) {
            if (inicializado==false){
                llenar(cuanto);
                inicializado=true;
            }
        }
        // If we press the Back Button
        if ((x>=10) && (x<=60) &&(y>=10) && (y<=36)) {
            drawFrame(10, 10, 60, 36);
            currentPage = '0'; // Indicates we are at home screen
            myGLCD.clrScr();
            drawRefill(); // Draws the home screen
        }
    }
}
}

```

Figura B2.4. 3 Programa del microcontrolador parte 3. Fuente: Elaboración propia

```

// data transfer screen
if (currentPage == '2') {
  if (myTouch.dataAvailable()) {
    myTouch.read();
    x=myTouch.getX(); // X coordinate where the screen has been pressed
    y=myTouch.getY(); // Y coordinates where the screen has been pressed
    // print data
    if ((x>=35) && (x<=285) && (y>=90) && (y<=130)) {
      drawFrame(35, 90, 285, 130); // Custom Function -Highlights the buttons when it's pressed
      for(int i = 0; i < 30; i++){
        Serial.print(datos[i][1]+", "+datos[i][2]+", "+datos[i][3]+"\\n");
      }
      myGLCD.clrScr(); // Clears the screen
    }
    // delete data
    if ((x>=35) && (x<=285) && (y>=140) && (y<=180)) {
      drawFrame(35, 140, 285, 180);
      for(int i = 0; i < 30; i++){
        datos[i][1]="";
        datos[i][2]="";
        datos[i][3]="";
      }
      myGLCD.clrScr();
    }

    //Back button
    if ((x>=10) && (x<=60) &&(y>=10) && (y<=36)) {
      drawFrame(10, 10, 60, 36);
      currentPage = '0';
      myGLCD.clrScr();
      drawHomeScreen();
    }
  }
}
}
}

```

Figura B2.4. 4 Programa del microcontrolador parte 4. Fuente: Elaboración propia

```

void drawHomeScreen() {
  // Title
  myGLCD.setBackgroundColor(0,0,0); // Sets the background color of the area where the text will be printed to black
  myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
  myGLCD.setFont(BigFont); // Sets font to big
  myGLCD.print("MENU", CENTER, 10); // Prints the string on the screen
  myGLCD.setColor(255, 0, 0); // Sets color to red
  myGLCD.drawLine(0,32,319,32); // Draws the red line
  myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
  myGLCD.setFont(BigFont);
  myGLCD.print("Select an option", CENTER, 64);

  // Button - refill
  myGLCD.setColor(16, 167, 103); // Sets green color
  myGLCD.fillRoundRect (35, 90, 285, 130); // Draws filled rounded rectangle
  myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
  myGLCD.drawRoundRect (35, 90, 285, 130); // Draws rounded rectangle without a fill, so the overall appearance of the button looks like it has a frame
  myGLCD.setFont(BigFont); // Sets the font to big
  myGLCD.setBackgroundColor(16, 167, 103); // Sets the background color of the area where the text will be printed to green, same as the button
  myGLCD.print("DISPENCE LIQUIDO A", CENTER, 102); // Prints the string

  // Button - data transfer
  myGLCD.setColor(16, 167, 103);
  myGLCD.fillRoundRect (35, 140, 285, 180);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.drawRoundRect (35, 140, 285, 180);
  myGLCD.setFont(BigFont);
  myGLCD.setBackgroundColor(16, 167, 103);
  myGLCD.print("TRANSFER DATA", CENTER, 152);
}

// Highlights the button when pressed
void drawFrame(int x1, int y1, int x2, int y2) {
  myGLCD.setColor(255, 0, 0);
  myGLCD.drawRoundRect (x1, y1, x2, y2);
  while (myTouch.dataAvailable())
    myTouch.read();
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.drawRoundRect (x1, y1, x2, y2);
}

void drawDataTransfer() {
  // Title
  myGLCD.setBackgroundColor(0,0,0); // Sets the background color of the area where the text will be printed to black
  myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
  myGLCD.setFont(BigFont); // Sets font to big
  myGLCD.print("TRANSFER DATA", CENTER, 10); // Prints the string on the screen
  myGLCD.setColor(255, 0, 0); // Sets color to red
  myGLCD.drawLine(0,32,319,32); // Draws the red line
  myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
  myGLCD.setFont(BigFont);
  myGLCD.print("Select an option", CENTER, 64);

  // Button - refill
  myGLCD.setColor(16, 167, 103); // Sets green color
  myGLCD.fillRoundRect (35, 90, 285, 130); // Draws filled rounded rectangle
  myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
  myGLCD.drawRoundRect (35, 90, 285, 130); // Draws rounded rectangle without a fill, so the overall appearance of the button looks like it has a frame
  myGLCD.setFont(BigFont); // Sets the font to big
  myGLCD.setBackgroundColor(16, 167, 103); // Sets the background color of the area where the text will be printed to green, same as the button
  myGLCD.print("Serial print", CENTER, 102); // Prints the string

  // Button - data transfer
  myGLCD.setColor(16, 167, 103);
  myGLCD.fillRoundRect (35, 140, 285, 180);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.drawRoundRect (35, 140, 285, 180);
  myGLCD.setFont(BigFont);
  myGLCD.setBackgroundColor(16, 167, 103);
  myGLCD.print("Delete", CENTER, 152);
  // Button - X
  myGLCD.setColor(100, 155, 203);
  myGLCD.fillRoundRect (10, 10, 60, 36);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.drawRoundRect (10, 10, 60, 36);
  myGLCD.setFont(SmallFont);
  myGLCD.setBackgroundColor(100, 155, 203);
  myGLCD.print("Back", 18, 15);
}

```

**Figura B2.4. 5** Programa del microcontrolador parte 5. Fuente: Elaboración propia

```

void drawRefill() {
  myGLCD.setColor(100, 155, 203);
  myGLCD.fillRoundRect (10, 10, 60, 36);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.drawRoundRect (10, 10, 60, 36);
  myGLCD.setFont (SmallFont);
  myGLCD.setBackColor(100, 155, 203);
  myGLCD.print ("Back", 18, 15);
  myGLCD.setFont (BigFont);
  myGLCD.print ("DISPENSE LUIQUIDO A", CENTER, 50);
  myGLCD.setColor (255, 0, 0);
  myGLCD.drawLine (0,100,319,100);
  myGLCD.setBackColor (0, 0, 0);
  myGLCD.setColor (255, 255, 255);
  myGLCD.setFont (SmallFont);
  myGLCD.print ("Target", 10, 114);
  myGLCD.setFont (BigFont);
  myGLCD.print ("Quantity:", 130, 120);
  myGLCD.setColor (223, 77, 55);
  myGLCD.fillRoundRect (10, 135, 90, 163);
  myGLCD.setColor (225, 255, 255);
  myGLCD.drawRoundRect (10, 135, 90, 163);
  myGLCD.setBackColor (223, 77, 55);
  myGLCD.setColor (223, 77, 55);
  myGLCD.fillRoundRect (10, 173, 90, 201);
  myGLCD.setColor (255, 255, 255);
  myGLCD.drawRoundRect (10, 173, 90, 201);
  myGLCD.setBackColor (223, 77, 55);
  myGLCD.setFont (SmallFont);
  myGLCD.setColor (255, 255, 255);
  myGLCD.print ("Start/Stop", 17, 180);
}

bool controlRF(bool state1) //detecta que se presiona el control remoto
{
  bool state=state1;
  int RF1prev=RF1state;
  int RF2prev=RF2state;
  RF1state = digitalRead(RF1);
  RF2state = digitalRead(RF2);
  if (RF1state==HIGH && RF2state==LOW && RF1prev==LOW && RF2prev==HIGH){
    state=true;
    RF1prev=HIGH;
    RF2prev=LOW;
  }
}

```

Figura B2.4. 6 Programa del microcontrolador parte 6. Fuente: Elaboración propia

```

}
  if (RF1state==LOW && RF2state==HIGH && RF1prev==HIGH && RF2prev==LOW){
    state=true;
    RF1prev=LOW;
    RF2prev=HIGH;
  }
  return state;
}

void rpm () //This is the function that the interupt calls
{
  NbTopsFan++; //This function measures the rising and falling edge of the hall effect sensors signal
}

float GetFrequency()
{
  pulseConter = 0;

  interrupts();
  delay(measureInterval);
  noInterrupts();

  return (float)pulseConter * 1000 / measureInterval;
}

int SumVolume(float dV)
{
  volume += dV / 60 * (millis() - t0) / 1000.0;
  t0 = millis();
  return volume;
}

void llenar(int target) //funcion que activa el flujo y guarda variables
{
  int qty=target;
  // obtener frecuencia en Hz
  float frequency = GetFrequency();
  int quantity;
  // calcular caudal L/min
  float flow_Lmin = frequency / 73;
  output= flow_Lmin;
  quantity=SumVolume(flow_Lmin);
  //PID
  bool rf;
  bool prevRF;
  bool st;
  bool encendido;
  rf=false;
  st=false;
  //Inout = Calc;
  pidController.Compute(); // update PID
  analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);
  encendido= true;
}

```

Figura B2.4. 7 Programa del microcontrolador parte 7. Fuente: Elaboración propia

```

// obtener frecuencia en Hz
float frequency = GetFrequency();
int quantity;
// calcular caudal L/min
float flow_Lmin = frequency / 73;
quantity=SumVolume(flow_Lmin);

// Prints quantity of liquid
if (quantity>=qty) {
    analogWrite(PIN_OUTPUT, 0);
    encendido=false;
}
if (paro==HIGH && encendido==true){
    analogWrite(PIN_OUTPUT, 0);
    encendido=false;
}
rf=contolRF(false);
prevRF=rf;
if (rf!=prevRF && encendido==true) {
    analogWrite(PIN_OUTPUT, 0);
    encendido=false;
}
if (rf!=prevRF && encendido==false && quantity<=qty) {
    analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);
    encendido=true;
}

sensorValue = analogRead(sensorPin);
if (sensorValue > 512 && flow_Lmin==0) //no liquid in recipiente
{
    delay(5000);
    analogWrite(PIN_OUTPUT, 0);
    encendido=false;
}
myGLCD.setFont(SevenSegNumFont);
myGLCD.setColor(0, 255, 0);
myGLCD.setBackColor(0, 0, 0);
myGLCD.printNumI(quantity,130, 145, 3,'0');
myGLCD.setFont(BigFont);
myGLCD.print("liters ", 235, 178);
if (myTouch.dataAvailable()) {
    myTouch.read();
    x=myTouch.getX();
    y=myTouch.getY();
    //presiona encender
    if ((x>=10) && (x<=135) &&(y>=173) && (y<=201) && encendido==true) {
        analogWrite(PIN_OUTPUT, 0);
        encendido=false;
    }
}

```

Figura B2.4. 8 Programa del microcontrolador parte 8. Fuente: Elaboración propia

---

```

if ((x>=10) && (x<=135) &&(y>=173) && (y<=201) && encendido==true) {
    analogWrite(PIN_OUTPUT, 0);
    encendido=false;
}
if ((x>=10) && (x<=135) &&(y>=173) && (y<=201) && encendido==false && quantity<=qty) {
    analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);
    encendido=true;
}
// If we press the Back Button
if ((x>=10) && (x<=60) &&(y>=10) && (y<=36)) {
    drawFrame(10, 10, 60, 36);
    currentPage = '0'; // Indicates we are at home screen
    myGLCD.clrScr();
    drawRefill(); // Draws the home screen
    String test=tester ();
    String dat=date();
    guardar(test,dat,quantity,numeroDato);
    quantity=0;
}
}

String date() //guarda fecha actual
{
    DateTime now = rtc.now();
    int mes=now.month();
    int dia=now.day();
    int years=now.year();
    String separador= "/";
    String fecha= mes + separador + dia + separador + years;
    return fecha;
}

```

**Figura B2.4. 9** Programa del microcontrolador parte 9. Fuente: Elaboración propia

```

String tester ()
{

    byte addr[8];

    if ( !ds.search(addr) ) {
        ds.reset_search();
        return;
    }

    // Serial.print("Serial#: ");
    // for ( int i = 0; i < 8; i++) {
    //     Serial.write(' ');
    //     Serial.print(addr[i], HEX);
    // }

    int index;
    String Addr=addr;
    for (int x = 0; x < sizeof(tags) ; x++)
    {
        if (Addr == tags[x])
        {
            {
                bool y_valid;
                index= x;
                y_valid = true;
                break;
            }
        }
    }

    maquina="gf";
    return maquina;
}

void guardar(String tester, String fecha, int cantidad,int numero){
    datos[numero][0]=tester;
    datos[numero][1]= fecha;
    datos[numero][2]= cantidad;
    numeroDato=numeroDato+1;
}

```

**Figura B2.4. 10** Programa del microcontrolador parte 10. Fuente: Elaboración propia

### Anexo 3: Programa de almacenamiento de datos en Python

```
1  from serial import Serial
2  from datetime import date
3  import time
4  ser = Serial('COM5', 9600, timeout=0) #Permitel leer el serial
5  LOG_FILE_NAME = 'liquido_a_data.csv'
6
7
8  # Espera una línea de dato con: maq, datos, cantidad
9  #Crea un diccionario
10 def log_to_dict(lines):
11     logs = {}
12     for line in lines:
13         log = line.split(",")
14         machine = log[0]
15         date = log[1]
16         value = log[2]
17         if(not machine in logs.keys()):
18             logs[machine] = {}
19         if(not date in logs[machine].keys()):
20             logs[machine][date] = value
21     return logs
22
23 #Revisa si el log no se ha introducido previamente
24 def is_new_log( log_line):
25     log = log_line.split(",")
26     # print(log)
27     machine = log[0]
28     date = log[1]
29
30     f = open(LOG_FILE_NAME, "r")
31     lines = f.readlines()
32     f.close()
33     logs = log_to_dict(lines)
34     print(logs)
35     # If the machine has not logs
36     # Or the machine has not a log in that date it is a new log
37     if(not machine in logs.keys() or not date in logs[machine].keys()):
38         return True
39     return False
40
41 #Este programa va a estar abierto esperando datos contantemente
42 while 1:
43
44     data=ser.readline() #lee los datos de input
45     data=str(data) #almacena los datos en str
46     # data = "m2, 10/12/30, 1"
47     f = open(LOG_FILE_NAME, 'a') #Abre el documento con datos almacenados
48     # lines = f.readlines()
49     is_new = is_new_log(data) #Revisa que no sean datos repetidos
50     if(is_new):
51         print(f"New log line added to log file: {data}")
52         f.write(data+"\n") #Guarda datos si son nuevos
53     else:
54         print(f"Duplicated log line ignored: {data}")
55     f.close()
56     time.sleep(1)
57
```

Figura B3.4. 1 Programa de almacenamiento de datos. Fuente: Elaboración propia

## Anexo 4: Resultados de pruebas de análisis de datos

### Prueba 1

**Tabla B4.5. 1** Datos para prueba 1. Fuente: Elaboración propia

Máquina	Fecha	Cantidad (litros)
maquina14	03/04/2021	3.78541
maquina17	03/06/2021	3.78541
maquina12	03/06/2021	3.78541
maquina12	03/06/2021	3.78541
maquina13	03/06/2021	3.78541

```
(base) PS D:\Workspace\min> python .\test_log.py
-----
Prueba1.csv
-----
New log line added to log file: maquina14,4/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina17,6/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina12,6/3/2021,3.78541
Duplicated log line ignored: maquina12,6/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina13,6/3/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 2** Impresión del programa al ejecutar la prueba 1. Fuente: Elaboración propia

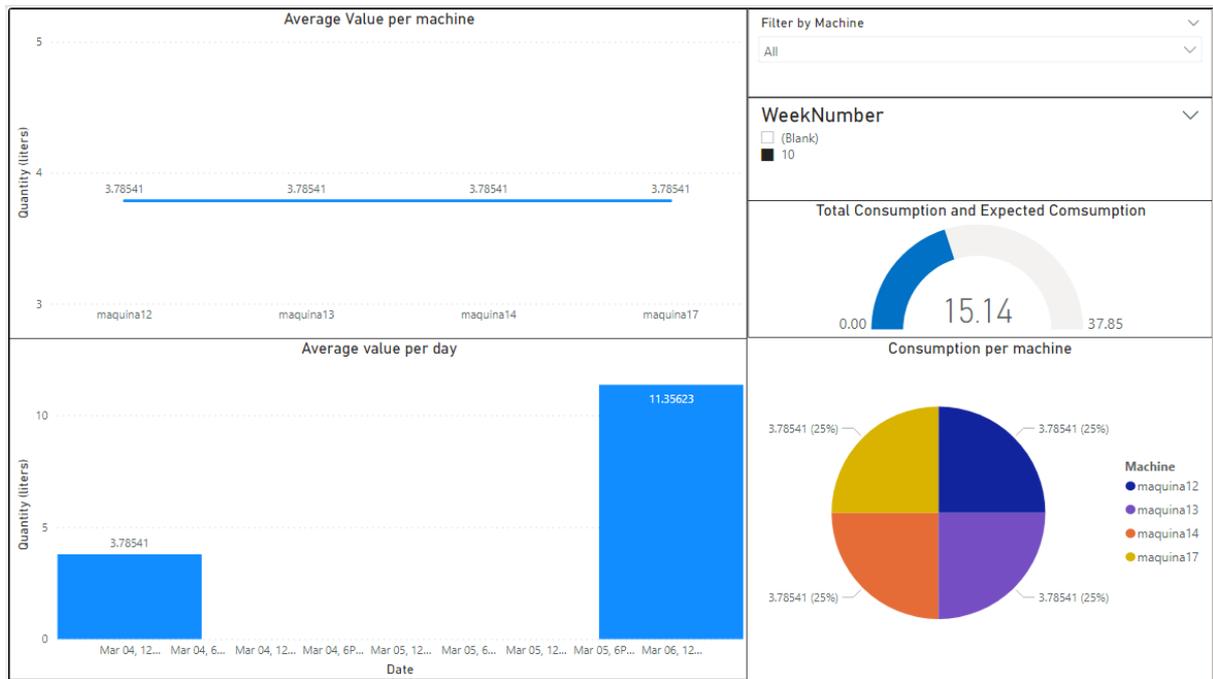
```
maquina14,4/3/2021,3.78541
maquina17,6/3/2021,3.78541
maquina12,6/3/2021,3.78541
maquina13,6/3/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 3** Datos almacenados por el código de Python en la prueba 1. Fuente: Elaboración propia

**Tabla B4.5. 4** Datos subidos en la prueba 1 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14	Thursday, March 4, 2021	3.78541		0	10
maquina17	Saturday, March 6, 2021	3.78541		1	10
maquina12	Saturday, March 6, 2021	3.78541		2	10
maquina13	Saturday, March 6, 2021	3.78541		3	10
				4	



**Tabla B4.5. 5** Resultado del análisis de datos de la prueba 1. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

## Prueba 2

**Tabla B4.5. 6** Datos para prueba 2. Fuente: Elaboración propia

Máquina	Fecha	Cantidad (litros)
maquina14	12/03/2021	3.78541
maquina11	13/03/2021	3.78541
maquina11	07/03/2021	3.78541
maquina11	10/03/2021	3.78541
maquina18	07/03/2021	3.78541
maquina12	09/03/2021	3.78541
maquina12	11/03/2021	3.78541
maquina12	13/03/2021	3.78541
maquina16	10/03/2021	3.78541
maquina13	13/03/2021	3.78541
maquina15	13/03/2021	3.78541
maquina13	09/03/2021	3.78541
maquina13	10/03/2021	3.78541

```
-----
Prueba2.csv
-----
New log line added to log file: maquina14,12/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina11,13/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina11,7/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina11,10/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina18,7/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina12,9/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina12,11/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina12,13/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina16,10/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina13,13/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina15,13/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina13,9/3/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina13,10/3/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 7** Impresión del programa al ejecutar la prueba 2. Fuente: Elaboración propia

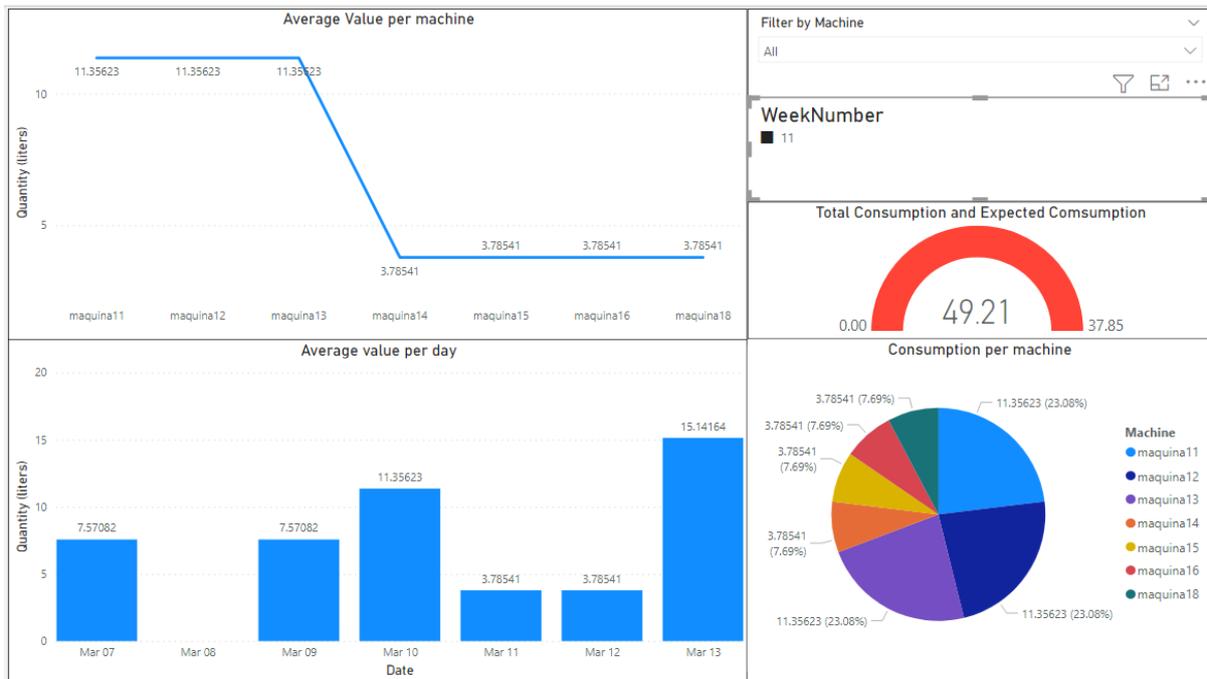
```
maquina14,12/3/2021,3.78541
maquina11,13/03/2021,3.78541
maquina11,7/3/2021,3.78541
maquina11,10/3/2021,3.78541
maquina18,7/3/2021,3.78541
maquina12,9/3/2021,3.78541
maquina12,11/3/2021,3.78541
maquina12,13/03/2021,3.78541
maquina16,10/3/2021,3.78541
maquina13,13/03/2021,3.78541
maquina15,13/03/2021,3.78541
maquina13,9/3/2021,3.78541
maquina13,10/3/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 8** Datos almacenados por el código de Python en la prueba 2. Fuente: Elaboración propia

**Tabla B4.5. 9** Datos subidos en la prueba 2 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14	Friday, March 12, 2021	3.78541		0	11
maquina11	Saturday, March 13, 2021	3.78541		1	11
maquina11	Sunday, March 7, 2021	3.78541		2	11
maquina11	Wednesday, March 10, 2021	3.78541		3	11
maquina18	Sunday, March 7, 2021	3.78541		4	11
maquina12	Tuesday, March 9, 2021	3.78541		5	11
maquina12	Thursday, March 11, 2021	3.78541		6	11
maquina12	Saturday, March 13, 2021	3.78541		7	11
maquina16	Wednesday, March 10, 2021	3.78541		8	11
maquina13	Saturday, March 13, 2021	3.78541		9	11
maquina15	Saturday, March 13, 2021	3.78541		10	11
maquina13	Tuesday, March 9, 2021	3.78541		11	11
maquina13	Wednesday, March 10, 2021	3.78541		12	11



**Tabla B4.5. 10** Resultado del análisis de datos de la prueba 2. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

### Prueba 3

**Tabla B4.5. 11** Datos para prueba 3. Fuente: Elaboración propia

Máquina	Fecha	Cantidad (litros)
maquina14	20/03/2021	3.78541
maquina19	14/03/2021	3.78541
maquina11	20/03/2021	3.78541
maquina11	17/03/2021	3.78541
maquina11	15/03/2021	3.76541
maquina12	19/03/2021	3.78541
maquina12	16/03/2021	3.78541
maquina2	17/03/2021	3.78541

```
-----
Prueba3.csv
-----
New log line added to log file: maquina14,20/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina19,14/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina11,20/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina11,17/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina11,15/03/2021,3.76541
New log line added to log file: maquina12,19/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina12,16/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina2,17/03/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 12** Impresión del programa al ejecutar la prueba 3. Fuente: Elaboración propia

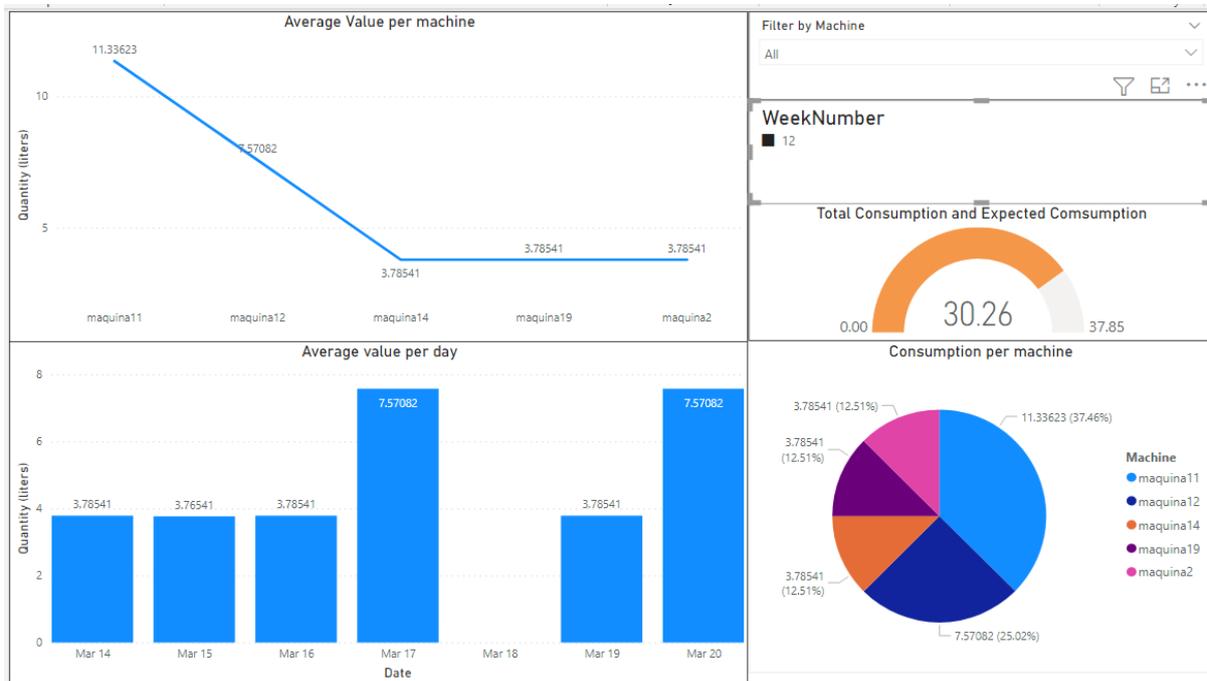
```
maquina14,20/03/2021,3.78541
maquina19,14/03/2021,3.78541
maquina11,20/03/2021,3.78541
maquina11,17/03/2021,3.78541
maquina11,15/03/2021,3.76541
maquina12,19/03/2021,3.78541
maquina12,16/03/2021,3.78541
maquina2,17/03/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 13** Datos almacenados por el código de Python en la prueba 3. Fuente: Elaboración propia

**Tabla B4.5. 14** Datos subidos en la prueba 3 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14	Saturday, March 20, 2021	3.78541		0	12
maquina19	Sunday, March 14, 2021	3.78541		1	12
maquina11	Saturday, March 20, 2021	3.78541		2	12
maquina11	Wednesday, March 17, 2021	3.78541		3	12
maquina11	Monday, March 15, 2021	3.76541		4	12
maquina12	Friday, March 19, 2021	3.78541		5	12
maquina12	Tuesday, March 16, 2021	3.78541		6	12
maquina2	Wednesday, March 17, 2021	3.78541		7	12



**Tabla B4.5. 15** Resultado del análisis de datos de la prueba 3. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

## Prueba 4

**Tabla B4.5. 16** Datos para prueba 4. Fuente: Elaboración propia

Máquina	Fecha	Cantidad (litros)
maquina14	26/03/2021	3.78541
maquina17	22/03/2021	3.78541
maquina17	27/03/2021	3.78541
maquina19	22/03/2021	3.78541
maquina11	22/03/2021	3.78541
maquina11	24/03/2021	3.78541
maquina8	24/03/2021	3.78541
maquina18	25/03/2021	3.78541
maquina12	24/03/2021	3.78541
maquina15	23/03/2021	3.78541
maquina13	25/03/2021	3.78541

```
-----  
Prueba4.csv  
-----  
New log line added to log file: maquina14,26/03/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina17,22/03/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina17,27/03/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina19,22/03/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina11,22/03/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina11,24/03/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina8,24/03/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina18,25/03/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina12,24/03/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina15,23/03/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina13,25/03/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 17** Impresión del programa al ejecutar la prueba 4. Fuente: Elaboración propia

```
maquina14,26/03/2021,3.78541  
maquina17,22/03/2021,3.78541  
maquina17,27/03/2021,3.78541  
maquina19,22/03/2021,3.78541  
maquina11,22/03/2021,3.78541  
maquina11,24/03/2021,3.78541  
maquina8,24/03/2021,3.78541  
maquina18,25/03/2021,3.78541  
maquina12,24/03/2021,3.78541  
maquina15,23/03/2021,3.78541  
maquina13,25/03/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 18** Datos almacenados por el código de Python en la prueba 4. Fuente: Elaboración propia

**Tabla B4.5. 19** Datos subidos en la prueba 4 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14	Friday, March 26, 2021	3.78541		0	13
maquina17	Monday, March 22, 2021	3.78541		1	13
maquina17	Saturday, March 27, 2021	3.78541		2	13
maquina19	Monday, March 22, 2021	3.78541		3	13
maquina11	Monday, March 22, 2021	3.78541		4	13
maquina11	Wednesday, March 24, 2021	3.78541		5	13
maquina8	Wednesday, March 24, 2021	3.78541		6	13
maquina18	Thursday, March 25, 2021	3.78541		7	13
maquina12	Wednesday, March 24, 2021	3.78541		8	13
maquina15	Tuesday, March 23, 2021	3.78541		9	13
maquina13	Thursday, March 25, 2021	3.78541		10	13

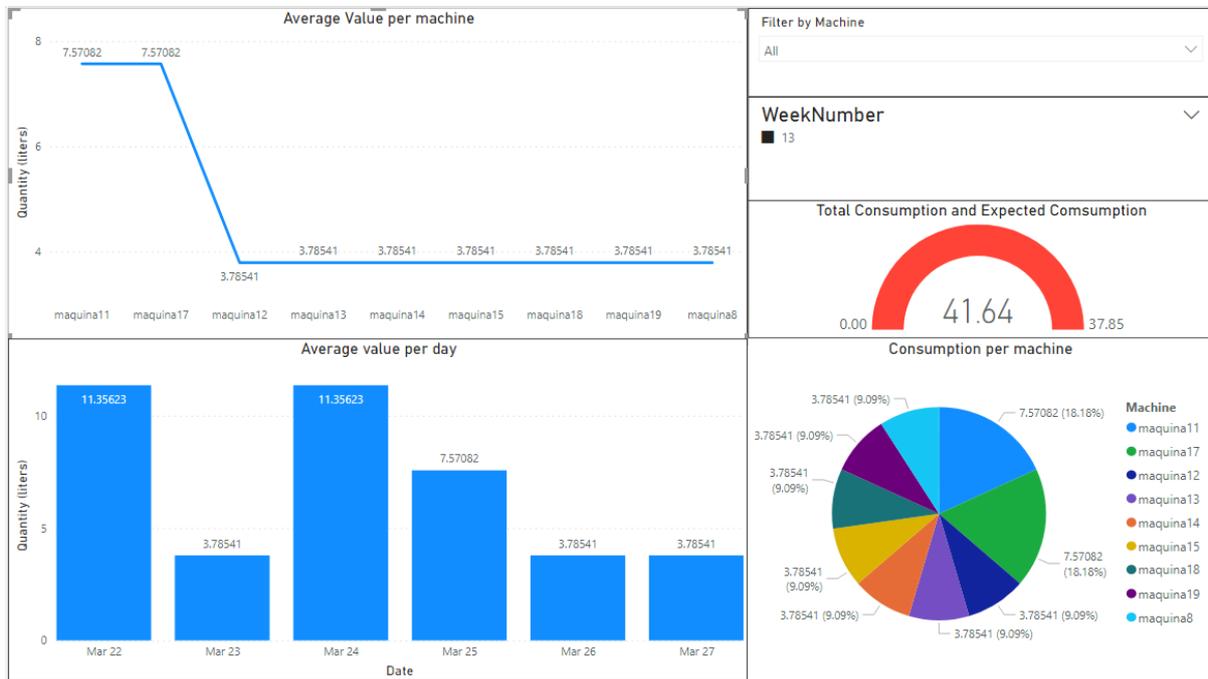


Tabla B4.5. 20 Resultado del análisis de datos de la prueba 5. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

## Prueba 5

**Tabla B4.5. 21** Datos para prueba 5. Fuente: Elaboración propia

Máquina	Fecha	Cantidad (litros)
maquina14	31/03/2021	3.78541
maquina17	30/03/2021	3.78541
maquina19	29/03/2021	3.78541
maquina11	31/03/2021	3.78541
maquina7	28/03/2021	3.78541
maquina12	29/03/2021	3.78541

```
-----
Prueba5.csv
-----
New log line added to log file: maquina14,31/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina17,30/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina19,29/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina11,31/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina7,28/03/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina12,29/03/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 22** Impresión del programa al ejecutar la prueba 5. Fuente: Elaboración propia

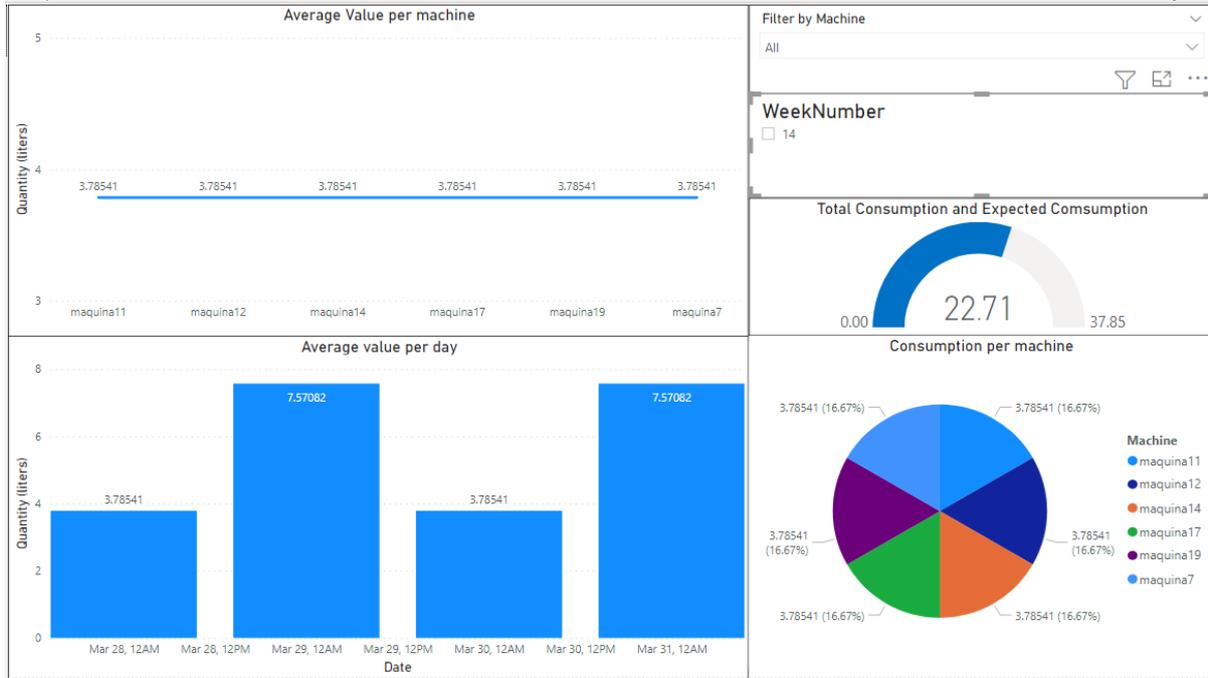
```
maquina14,31/03/2021,3.78541
maquina17,30/03/2021,3.78541
maquina19,29/03/2021,3.78541
maquina11,31/03/2021,3.78541
maquina7,28/03/2021,3.78541
maquina12,29/03/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 23** Datos almacenados por el código de Python en la prueba 5. Fuente: Elaboración propia

**Tabla B4.5. 24** Datos subidos en la prueba 5 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14	Wednesday, March 31, 2021	3.78541		0	14
maquina17	Tuesday, March 30, 2021	3.78541		1	14
maquina19	Monday, March 29, 2021	3.78541		2	14
maquina11	Wednesday, March 31, 2021	3.78541		3	14
maquina7	Sunday, March 28, 2021	3.78541		4	14
maquina12	Monday, March 29, 2021	3.78541		5	14



**Tabla B4.5. 25** Resultado del análisis de datos de la prueba 5. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

## Prueba 6

**Tabla B4.5. 26** Datos para prueba 6. Fuente: Elaboración propia

Máquina	Fecha	Cantidad (litros)
maquina11	5/4/2021	3.78541
maquina8	6/4/2021	3.78541
maquina18	8/4/2021	3.78541
maquina15	8/4/2021	3.78541
maquina13	9/4/2021	3.78541
maquina13	9/4/2021	3.78541

```

Prueba6.csv
-----
New log line added to log file: maquina11,5/4/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina8,6/4/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina18,8/4/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina15,8/4/2021,3.78541
New log line added to log file: maquina13,9/4/2021,3.78541
Duplicated log line ignored: maquina13,9/4/2021,3.78541

```

**Tabla B4.5. 27** Impresión del programa al ejecutar la prueba 6. Fuente: Elaboración propia

```

maquina11,5/4/2021,3.78541
maquina8,6/4/2021,3.78541
maquina18,8/4/2021,3.78541
maquina15,8/4/2021,3.78541
maquina13,9/4/2021,3.78541

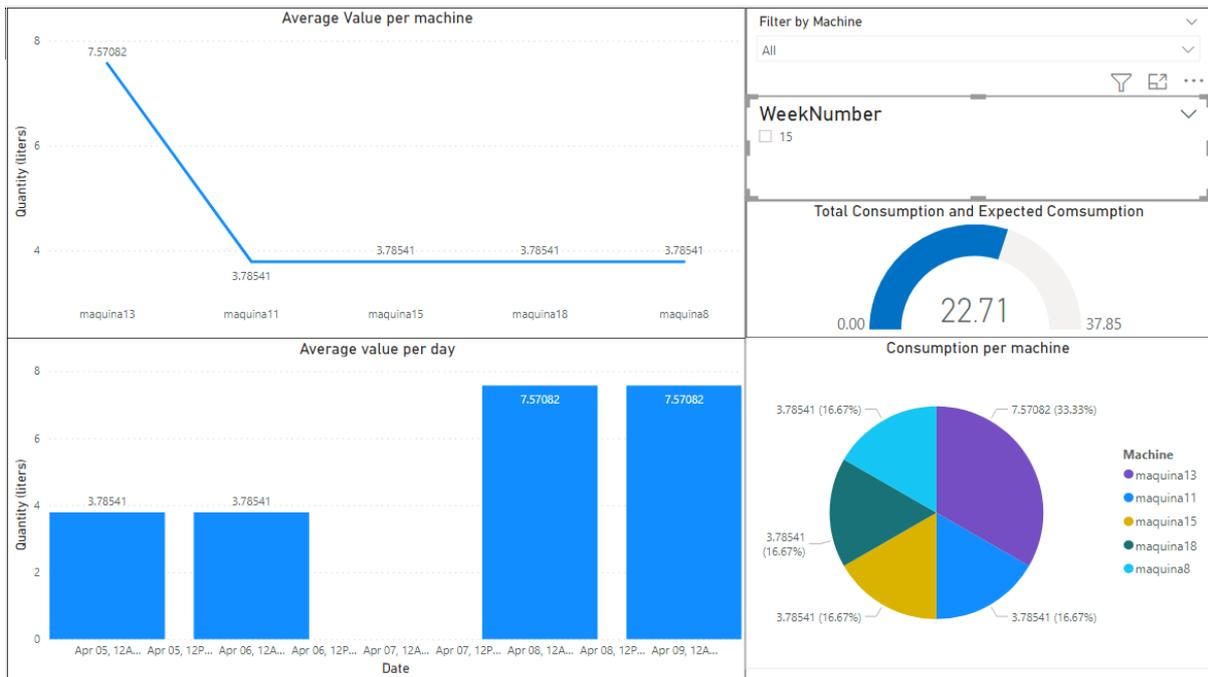
```

**Tabla B4.5. 28** Datos almacenados por el código de Python en la prueba 6. Fuente: Elaboración propia

**Tabla B4.5. 29** Datos subidos en la prueba 6 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina11	Monday, April 5, 2021	3.78541		0	15
maquina8	Tuesday, April 6, 2021	3.78541		1	15
maquina18	Thursday, April 8, 2021	3.78541		2	15
maquina15	Thursday, April 8, 2021	3.78541		3	15
maquina13	Friday, April 9, 2021	3.78541		4	15
maquina13	Friday, April 9, 2021	3.78541		5	15



**Tabla B4.5. 30** Resultado del análisis de datos de la prueba 6. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

## Prueba 7

**Tabla B4.5. 31** Datos para prueba 7. Fuente: Elaboración propia

Máquina	Fecha	Cantidad (litros)
maquina14	12/4/2021	3.78541
maquina19	13/4/2021	3.78541
maquina11	13/4/2021	3.78541
maquina8	14/4/2021	3.78541
maquina18	15/4/2021	3.78541
maquina12	16/4/2021	3.78541
maquina15	17/4/2021	3.78541

```
-----  
Prueba7.csv  
-----  
New log line added to log file: maquina14,12/4/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina19,13/4/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina11,13/4/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina8,14/4/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina18,15/4/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina12,16/4/2021,3.78541  
New log line added to log file: maquina15,17/4/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 32** Impresión del programa al ejecutar la prueba 7. Fuente: Elaboración propia

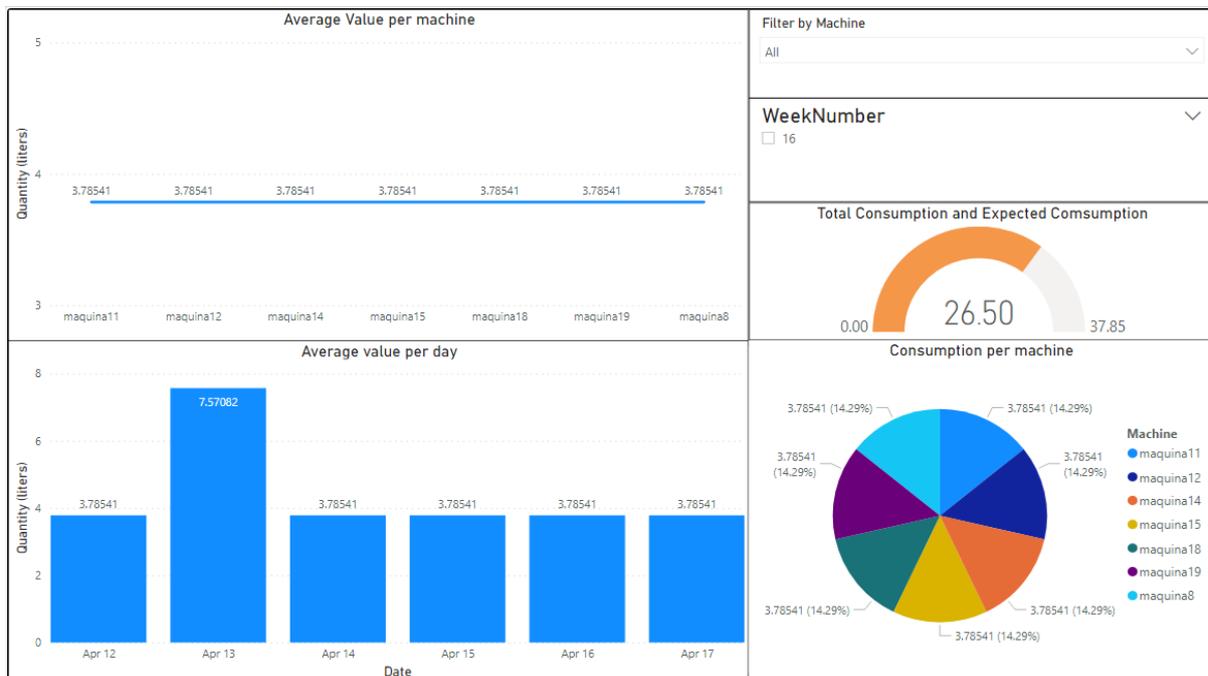
```
maquina14,12/4/2021,3.78541  
maquina19,13/4/2021,3.78541  
maquina11,13/4/2021,3.78541  
maquina8,14/4/2021,3.78541  
maquina18,15/4/2021,3.78541  
maquina12,16/4/2021,3.78541  
maquina15,17/4/2021,3.78541
```

**Tabla B4.5. 33** Datos almacenados por el código de Python en la prueba 7. Fuente: Elaboración propia

**Tabla B4.5. 34** Datos subidos en la prueba 7 a partir del documento almacenado. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14	Monday, April 12, 2021	3.78541		0	16
maquina19	Tuesday, April 13, 2021	3.78541		1	16
maquina11	Tuesday, April 13, 2021	3.78541		2	16
maquina8	Wednesday, April 14, 2021	3.78541		3	16
maquina18	Thursday, April 15, 2021	3.78541		4	16
maquina12	Friday, April 16, 2021	3.78541		5	16
maquina15	Saturday, April 17, 2021	3.78541		6	16



**Tabla B4.5. 35** Resultado del análisis de datos de la prueba 7. Fuente: Elaboración propia

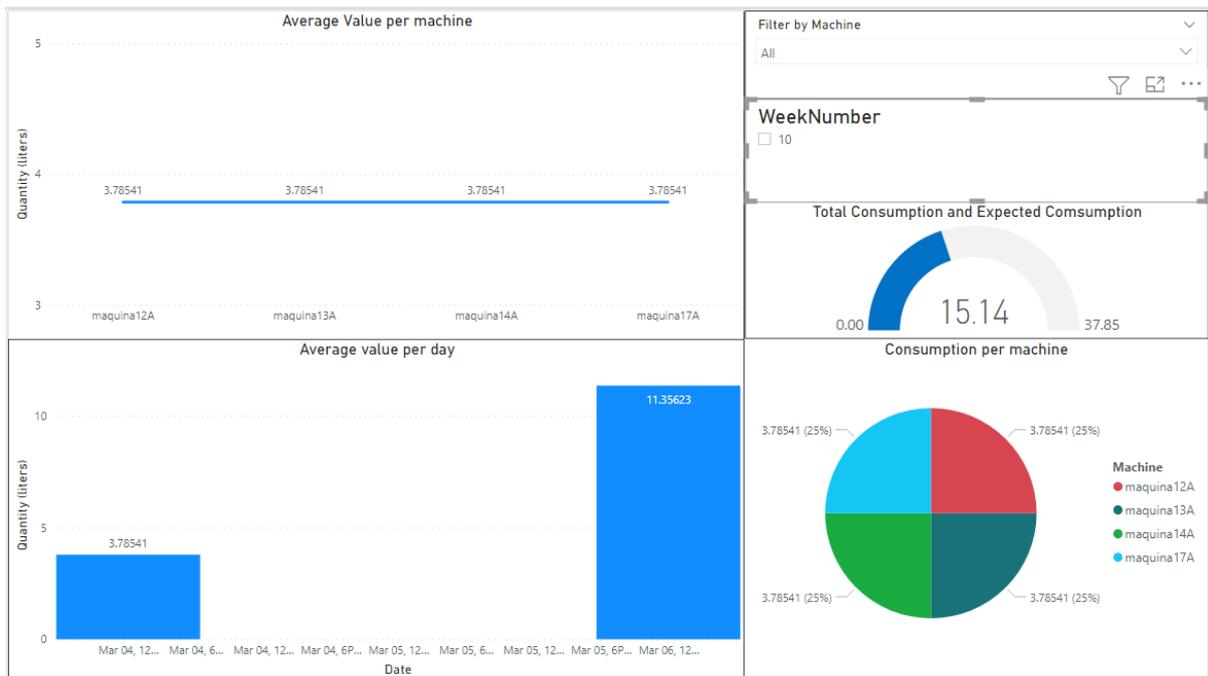
Elaborado con Power BI

## Prueba A

**Tabla B4.5. 36** Datos subidos en la prueba A. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14A	Thursday, March 4, 2021	3.78541		0	10
maquina17A	Saturday, March 6, 2021	3.78541		1	10
maquina12A	Saturday, March 6, 2021	3.78541		2	10
maquina13A	Saturday, March 6, 2021	3.78541		3	10



**Figura B4.5. 1** Resultado del análisis de datos de la prueba A. Fuente: Elaboración propia

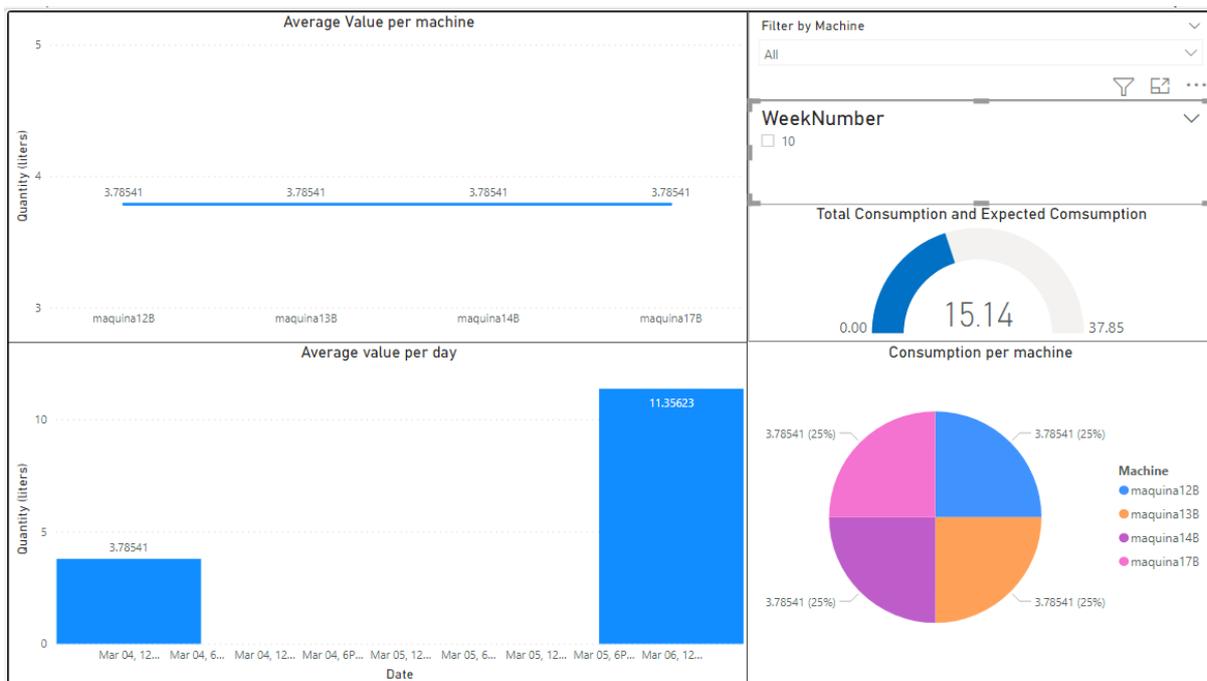
Elaborado con Power BI

## Prueba B

**Tabla B4.5. 37** Datos subidos en la prueba B. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14B	Thursday, March 4, 2021	3.78541		0	10
maquina17B	Saturday, March 6, 2021	3.78541		1	10
maquina12B	Saturday, March 6, 2021	3.78541		2	10
maquina13B	Saturday, March 6, 2021	3.78541		3	10



**Figura B4.5. 2** Resultado del análisis de datos de la prueba 7. Fuente: Elaboración propia

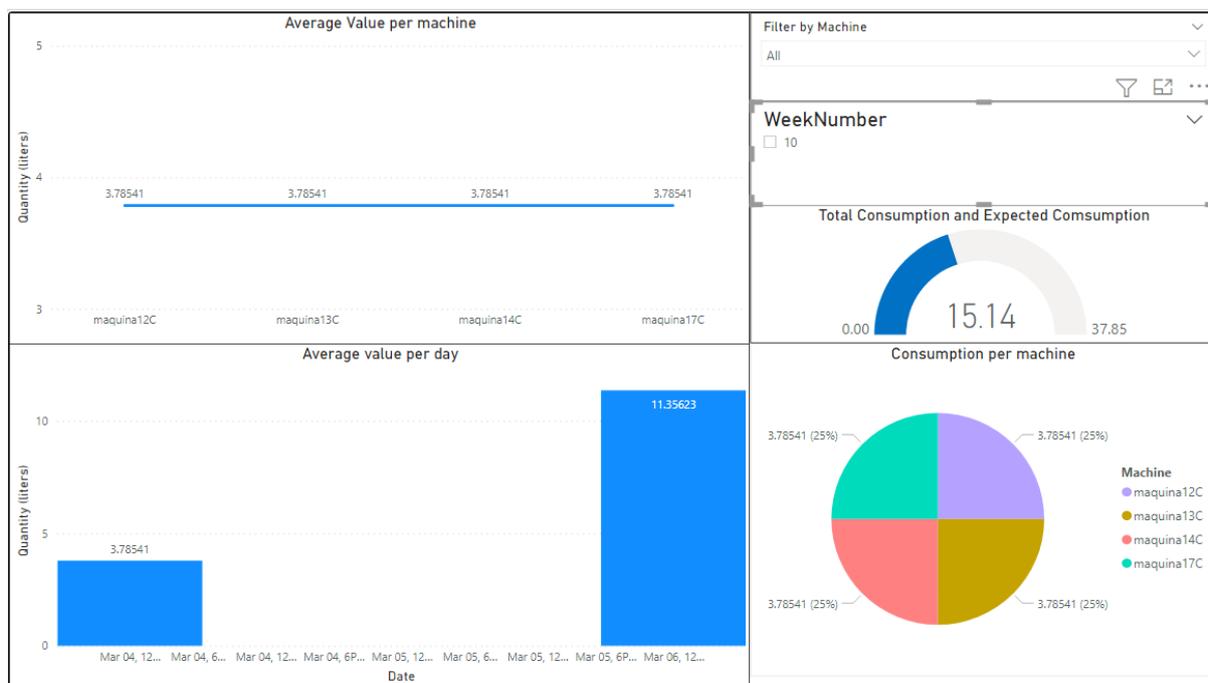
Elaborado con Power BI

## Prueba C

**Tabla B4.5. 38** Datos subidos en la prueba A. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14C	Thursday, March 4, 2021	3.78541		0	10
maquina17C	Saturday, March 6, 2021	3.78541		1	10
maquina12C	Saturday, March 6, 2021	3.78541		2	10
maquina13C	Saturday, March 6, 2021	3.78541		3	10



**Figura B4.5. 3** Resultado del análisis de datos de la prueba 7. Fuente: Elaboración propia

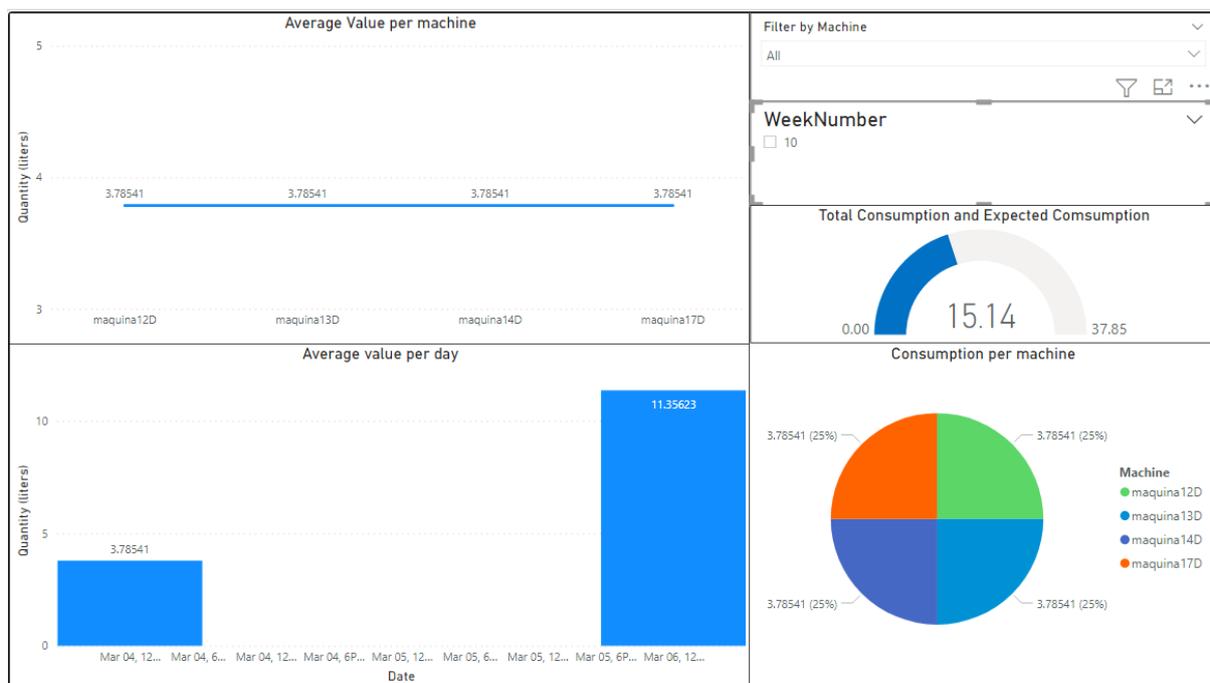
Elaborado con Power BI

## Prueba D

**Tabla B4.5. 39** Datos subidos en la prueba A. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14D	Thursday, March 4, 2021	3.78541		0	10
maquina17D	Saturday, March 6, 2021	3.78541		1	10
maquina12D	Saturday, March 6, 2021	3.78541		2	10
maquina13D	Saturday, March 6, 2021	3.78541		3	10



**Figura B4.5. 4** Resultado del análisis de datos de la prueba 7. Fuente: Elaboración propia

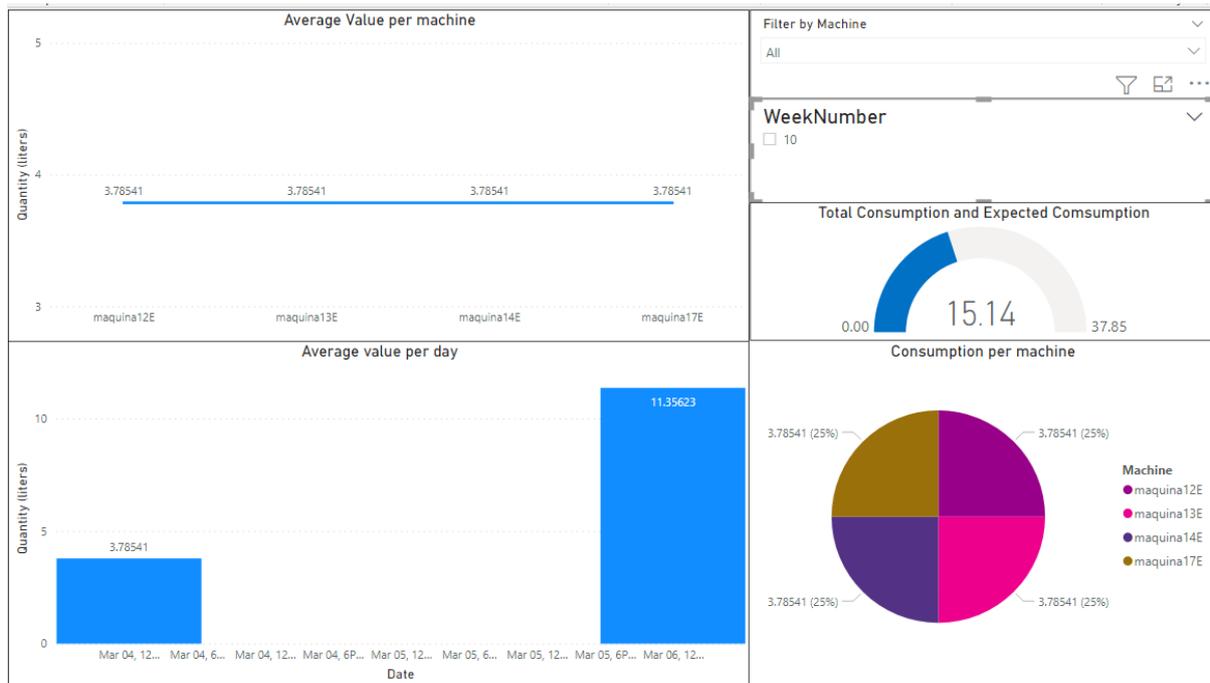
Elaborado con Power BI

## Prueba E

**Tabla B4.5. 40** Datos subidos en la prueba A. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

Machine	Date	Value	Time	Index	WeekNumber
maquina14E	Thursday, March 4, 2021	3.78541		0	10
maquina17E	Saturday, March 6, 2021	3.78541		1	10
maquina12E	Saturday, March 6, 2021	3.78541		2	10
maquina13E	Saturday, March 6, 2021	3.78541		3	10



**Figura B4.5. 5** Resultado del análisis de datos de la prueba 7. Fuente: Elaboración propia

Elaborado con Power BI

## **Anexo 5: Análisis de riesgos de trabajo**

## Job Hazard Analysis

GENERAL INFORMATION			
<b>Equipment</b>	HDMXx10, HDMXx30, iCDC		
<b>Normal activities</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Operation <input checked="" type="checkbox"/> Manteinance <input checked="" type="checkbox"/> Repair		
<b>Equipment Description :</b>	The HDMX run test on cold and hot temperatures to check performance of chips	<b>Other Involved People</b>	Maria Mora Fallas
<b>Equipment Location</b>	CRVL, CR03 HDMX	<b>Organization</b>	MVE CRVL
<b>Site:</b>	CR	<b>Notes:</b>	
<b>Campus:</b>	BELEN	For operation: Ops will be operating HDMX. For maintenance: L3 Techs will be performing maintenance specified on PM and Health check. Repair: N/A	
<b>Bulding</b>	CR3		
<b>System Owner:</b>	Jazmín Gómez Soza		
Activities to evaluate			
Activity	Task	Sub task	
<b>Operation</b>	LIQUIDO A tank refill	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. From chemical cabinet took one pail of LIQUIDO A using trolley with wheels and install on LIQUIDO A cart.</li> <li>2. Install suction hose from pump.</li> <li>3. Move cart near to the tester.</li> <li>4. Turn on the cart.</li> <li>5. Scan tester identifier and set liquid target on the panel.</li> <li>6. Take hose end to the tank and start the refill process.</li> <li>7. Turn of the cart</li> <li>8. If you want to save the data go to the computer connect it the Arduino a press data saving option in the panel.</li> <li>9. Return cart to the place it is stored.</li> </ol>	
<b>Maintenance</b>	Caster wheels inspection	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Visually inspect on all the wheels</li> </ol>	

	Pump tubing	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Turn it off</li> <li>2) LOTO assignment</li> <li>3) Remove the metallic cover.</li> <li>4) Remove the lid of the pump</li> <li>5) Remove old tubing</li> <li>6) Replace the tube with new one</li> <li>7) Put again the lid and connect sides to the rest of the system</li> <li>8) LOTO removal</li> <li>9) Turn it on</li> </ol>
	Inspect valves, fittings, and hoses	<ol style="list-style-type: none"> <li>2) Turn it off</li> <li>3) LOTO assignment</li> <li>4) Visually inspect all pipes.</li> <li>5) Inspect elements leaks, if there are, follow procedure to fix.</li> <li>6) Remove LOTO</li> <li>7) Turn it On</li> </ol>
<b>Repair</b>	Damaged card/sensors	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Turn the cart off</li> <li>2) LOTO assignment</li> <li>3) Open the metallic cover (if it is internal) or control panel, uninstall the damaged sensor.</li> <li>4) Install the new sensor, close the covers if needed.</li> <li>5) Remove LOTO</li> <li>6) Turn it on</li> </ol>
	External/Internal Leak Repair	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Turn it off</li> <li>2) LOTO assignment</li> <li>3) Remove metallic cover</li> <li>4) Remove the componects that are affected</li> <li>5) Make the replacement</li> <li>6) Close metallic cover</li> <li>7) LOTO removal</li> <li>8) Turn it on</li> </ol>

### 1. Equipment Components

Identify components of tool that are might be dangerous.

COMPONENT	PN	Manufacturer
Battery	CB16CL-B	LTH

### 2. Chemical Management

Identify chemical of tool that are might be dangerous.

COMPONENT	SUPPLIER / MANUFACTURER
LIQUIDO A	3M CR

3. Risk analysis: For the Equipment/Tool specified in Section A, mark Yes or No to identify the potential hazards in each of the following Hazardous Categories.

RISK ANALYSIS				
<b>Activity:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Operation <input checked="" type="checkbox"/> Maintenance <input checked="" type="checkbox"/> Repair <b>Activity Description (list Preventative Maintenance (PM) and Operation (OM) or repair activities documented and performed.</b>				
Category	Example	Tasks (name the task were the risk occurs)	Task Frequency	Severity of accident consequences
<b>Impact</b> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Falling parts, Tools	PM, Repair, Covers impact, tools impact.	<input type="checkbox"/> Low <input checked="" type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input checked="" type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High
<b>Penetration</b> Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Sharp objects combined with impact	PM: Covers, Can Filters Repair: Covers	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input checked="" type="checkbox"/> High
<b>Compression</b> Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Rolling or pinching objects		<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High
<b>Transport</b> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Carrying heavy loads, mechanical lifts	Repair: HFE/Chiller transport.	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input checked="" type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Low <input checked="" type="checkbox"/> Medium <input checked="" type="checkbox"/> High
<b>Chemical</b> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Inhalation, dermal, ingestion	Repair, PM, compressor oil refill	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input checked="" type="checkbox"/> High	<input checked="" type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High
<b>Temperature</b> Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Temperature extremes, cryogenics	Repair, PM, HFE hot/cold temperature burn	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input checked="" type="checkbox"/> High
<b>Light/Optical</b> Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Welding, brazing, high density lights		<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High
<b>Electrical</b> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Electrical power equipment	12V	<input checked="" type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input checked="" type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input checked="" type="checkbox"/> High
<b>Ionizing Radiation</b> Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	X-ray equipment, implanters		<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High
<b>Non Ionizing Radiation</b> Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	RF, UV, laser, static, magnetic		<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High
<b>Noise</b> Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Motors, compressors, fans, pumps	< 68DB	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High
<b>Pressure</b> Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	High pressure gas/liquid	Repair: open covers	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input checked="" type="checkbox"/> High
<b>Heights</b> Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Working at heights	Repair example: stepper <1.2m	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High

Other Yes  No

Low  Medium  High

Low  Medium  High

4. **Controls:** For each risk selected in section B, develop a control matrix like the one below.

POTENTIAL HAZARD	PPE	SPECIFIC REQUIRED TRAINNING	ADMINISTRATIVE CONTROL	ENGINEERING CONTROL
<b>Impact</b>	Safety Shoes	Lab Safety and Physical Security Training	Training, Standardized Documentation Authorize specific people for tool utilization. Audits	Covers will be installed in the corners o f the equipment
<b>Transport</b>	Safety Shoes	Decontamination Training Office Ergonomics	Training, Standardized Documentation Authorize specific people for tool utilization. Audits	Include on PM inspection of wheels. LOTO
<b>Chemical</b>	Safety glasses, gloves	PPE Training for Chemical Handling Decontamination Training Air Permit Compliance Training	Training, Standardized Documentation Authorize specific people for tool utilization. Audits	1 Pile in the cart and a backup are always available on the chemical cabinet. Special area por chemical Piles disposition
<b>Electrical</b>	Electrical gloves, safety shoes,	CoHE Affected Employee Training CPR/First Aid for EEW workers	Always use the given endoscope for oil compressor visual inspection. Label electrical hazardous parts Authorize specific people for tool utilization. Audits	Three point ground measurement LOTO

5. Other risks.

ERGONOMICS							
Please describe the body part that may be impacted by any normal operation, PM or any other activity on the equipment.							
Yes	N/A	Cat	Example	Yes	N/A	Cat	Example
Postures							
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1. Neck		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2. Arms	Arms over shoulders
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3. Shoulders		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4. Wrist	Screw handling
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Legs	Work standing , crouching , kneeling for long time.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6. Back	Turn to get something back, working bent
Movement							
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7. Grip With Force		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	8. Hands Punctures	Pick up a sharp object to hurt the fingers or palms
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9. Move heavy loads	Transportation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Repeated movement/Posture							
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10. Push Buttons	Repetitive finger movement to operate	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11. Mouse use	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	12. Rotate controls	Operating knobs, valves	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	13. Contact Stress	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14. Arms Use	Lift no heavy loads but frequently	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15. Others	Ej.

Capacitación	
<input checked="" type="checkbox"/>	PPE Training for Chemical Handling
<input checked="" type="checkbox"/>	Lab Safety and Physical Security Training
<input checked="" type="checkbox"/>	Decontamination Training
<input checked="" type="checkbox"/>	CoHE Affected Employee Training
<input type="checkbox"/>	CPR/First Aid for EEW workers
<input type="checkbox"/>	Working at Heights
<input checked="" type="checkbox"/>	Office Ergonomics
<input type="checkbox"/>	Air Permit Compliance Training