

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica**



**Diseño de sistema de medición y monitorización de la
cantidad de material de un basurero de reciclaje.**

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

Steven Josué Quiel Hidalgo

Cartago, noviembre de 2021



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

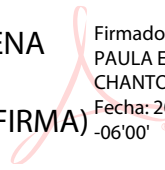
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

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: Steven Josué Quiel Hidalgo

Proyecto: Diseño de sistema medición y monitorización de la cantidad de material de un basurero de reciclaje.

PAULA ELENA
MONGE
CHANTO (FIRMA)



Firmado digitalmente por
PAULA ELENA MONGE
CHANTO (FIRMA)
Fecha: 2021.11.13 16:14:36
-06'00'

Ing. Paula Elena Monge Chanto

Asesora

Cartago, 24 de noviembre 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: Steven Josué Quiel Hidalgo

Proyecto: Diseño de sistema de medición y monitorización de la cantidad de material de un basurero de reciclaje

Miembros del jurado evaluador

**JUAN LUIS CRESPO
MARIÑO (FIRMA)**

Firmado digitalmente por JUAN
LUIS CRESPO MARIÑO (FIRMA)
Fecha: 2021.11.24 17:29:02
-06'00'

**JUAN CARLOS
BRENES TORRES
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por JUAN
CARLOS BRENES TORRES (FIRMA)
Fecha: 2021.11.24 16:57:54
-06'00'

Dr. -Ing. Juan Luis Crespo Mariño

Jurado

MSc. -Ing. Juan Carlos Brenes Torres

Jurado

**ANA MARIA
MURILLO
MORGAN (FIRMA)**

Firmado digitalmente por ANA
MARIA MURILLO MORGAN
(FIRMA)
Fecha: 2021.11.24 15:34:37
-06'00'

Ing. Ana María Murillo Morgan

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.

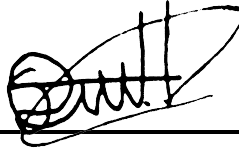
Cartago, 24 de noviembre 2021

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.

Estudiante



Steven Quiel Hidalgo

Céd: 117600010

Cartago, 2021

Resumen

El presente documento detalla una propuesta de solución para un sistema que permita dar trazabilidad de la cantidad de material recolectada por contenedor de reciclaje en la compañía Intel Costa Rica. En este proyecto se diseña un sistema de medición, envío, almacenamiento, visualización y notificación de alertas para mejorar las estrategias de recolección. El objetivo del sistema a corto plazo es que se recolecten los basureros que están listos y no se sobrepase el nivel 15kg recomendados según el código del trabajo. Y a largo plazo es detectar tendencias en los datos a través del tiempo para establecer prioridades de recolección. Por último, se valida que los datos recolectados son útiles para ser introducidos a algoritmos de predicción de la cantidad de material para el mejoramiento de los procesos de recolección.

***Palabras clave:** Medición, Reciclaje, Pesar material, Almacenamiento, Interfaz de visualización, Dash, Python*

Abstract

This document details a proposed solution for a system that allows traceability of the amount of material collected per recycling container in the Intel Costa Rica company. In this project, a system of measurement, shipment, storage, visualization and notification of alerts is designed to improve the collection strategies. The objective of the system in the short term is collect the garbage cans that are ready to be picked up and do not exceed the level of 15 kg according to the labor code. And in the long term, it is to detect trends in the data over time to establish collection priorities. Finally, it is validated that the collected data are useful to be introduced to algorithms for predicting the quantity of material for the improvement of the collection processes.

***Palabras clave:** Measurement, Recycling, Material Weighing, Storage, Display interface, Dash, Python*

Dedicado a mis padres y hermana que siempre me han apoyado a lo largo de todo el proceso académico

Agradecimientos

A mis compañeros, principalmente a Kervin y Jeremy que me ayudaron durante toda la carrera.

A la profesora Paula por toda la ayuda brindada como asesora del proyecto.

A Dios y toda mi familia que siempre fueron la razón para seguir adelante en los momentos difíciles.

Lista de contenidos

Lista de figuras	IV
Lista de tablas	VIII
Lista de abreviaciones	X
1. Introducción	1
1.1. Entorno del proyecto	1
1.2. Problema existente	2
1.2.1. Justificación	2
1.2.2. Problema	5
1.3. Objetivos	5
1.4. Estructura de documento	6
2. Marco Teórico	7
2.1. Automatización	7
2.2. Microcontroladores	8
2.3. Masa y peso	9
2.3.1. Pesar sólidos: Tipos de sistemas de medición de masa	9
2.3.2. Celdas de carga	13
2.3.2.1. Celda de carga neumática y celda de carga hidráulica	13
2.3.2.2. Celda de carga con galga extensiométrica	14
2.4. Normas de protección IEC 60529	15
2.5. Pruebas de calibración	17
2.5.0.1. Prueba de repetibilidad	17
2.5.0.2. Prueba para los errores de las indicaciones	17
2.5.0.3. Prueba de excentricidad	17
2.6. Internet de las cosas	18
2.7. Diseño computacional	18
2.7.1. Bases de datos	19
2.7.2. Interfaz de visualización	20
2.8. Estado del Arte: Problemas similares para pesar material y volumen de llenado	20

3. Metodología	24
3.1. Etapas de la metodología	24
3.2. Desglose de actividades por objetivo específico	26
3.2.1. Establecer un estudio del estado del arte de sistemas de medición de masa y de sistemas de almacenamiento y visualización de datos.	27
3.2.2. Diseñar sistema para la medición de la masa del material ingresado en un basurero de reciclaje.	27
3.2.3. Diseñar arquitectura IoT para el envío, almacenamiento y visualización de los datos de la cantidad de material en el tiempo, y mejoramiento de las estrategias de recolección del personal encargado.	28
3.2.4. Validar que el sistema de medición, almacenamiento y visualización cumplen con los requerimientos de la solución del problema.	29
3.2.5. Etapa 1: Recopilación de información y determinación de necesidades	29
3.2.5.1. Entrevista e interpretación de necesidades	29
3.2.5.2. Importancia relativa de necesidades	31
3.2.6. Etapa 2: Determinación de métricas y especificaciones	32
3.2.6.1. Elaboración de lista de métricas	32
3.2.7. Etapa 3: Descomposición funcional del problema	35
3.2.7.1. Entradas y Salidas	35
3.2.7.2. Definición de subsistemas	36
3.2.8. Etapa 4: Generación de conceptos	38
3.2.8.1. Combinación de conceptos	39
3.2.9. Etapa 5: Selección de concepto	43
3.2.10. Propuesta de concepto de solución	45
3.2.11. Etapa 6: Pruebas de concepto y validación	45
4. Propuesta de diseño	47
4.1. Diseño electrónico	47
4.1.1. Celdas de carga	48
4.1.2. Amplificador de señal	50
4.1.3. Microcontrolador	51
4.2. Diseño mecánico	52
4.2.1. Geometría de diseño mecánico	52
4.2.2. Materiales	53
4.3. Diseño de Software	60
4.3.1. Almacenamiento y conexión a base de datos	61
4.3.2. Módulo de visualización	62
4.3.3. Diseño de indicador de peso	64
4.3.4. Fuente de alimentación	65
4.3.5. Funcionalidades de la interfaz	67

5. Resultados y análisis	73
5.1. Simulación de plataforma	73
5.2. Error de medición de prueba de concepto	78
5.2.1. Estrategia de calibración	79
5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas	83
5.3.1. Prueba de almacenamiento	84
5.3.2. Prueba de conexión entre almacenamiento y visualización	95
5.3.3. Prueba de alerta de correo electrónico	106
5.4. Tarar volver a 0	108
5.5. Validación predicción de cantidad de material	109
6. Análisis económico	115
7. Conclusiones y recomendaciones	119
7.1. Conclusiones	119
7.2. Recomendaciones	120
8. Anexos	128
8.1. Pruebas de error de medición	128
9. Anexo 2	130
9.1. Planos de diseño	130
10. Algoritmo de validación	148
10.1. Predicción de cantidad de material	148

Lista de figuras

1.1. Residuos generados en toneladas y porcentaje de residuos que terminan en botadero.[3]	3
1.2. Estación de reciclaje de Intel. [3]	4
2.1. Balanza de brazos iguales [10].	10
2.2. Balanza de masa deslizante. [11]	11
2.3. Balanza de resortes. [11]	11
2.4. Balanza analítica [12]	12
2.5. Balanza industrial con celda de carga [13]	13
2.6. Celda de carga neumática [15]	14
2.7. Celda de carga hidráulica[16]	14
2.8. Efecto Piezoeléctrico[17]	15
2.9. Tipos de celda de carga. Tipo S, tipo viga y tipo disco[14]	15
2.10. Protección IP Norma IEC 60529 [18]	16
3.1. Pasos metodología de diseño.[36]	24
3.2. Entradas y Salidas del sistema. Fuente: Elaboración propia..	36
3.3. Descomposición funcional del problema. Fuente: Elaboración propia..	36
3.4. Concepto A.Fuente: Elaboración propia.	39
3.5. Concepto B.Fuente: Elaboración propia.	40
3.6. Concepto C.Fuente: Elaboración propia.	40
3.7. Concepto D.Fuente: Elaboración propia.	41
3.8. Concepto E.Fuente: Elaboración propia.	41
3.9. Concepto F.Fuente: Elaboración propia.	42
3.10. Concepto G.Fuente: Elaboración propia.	42
3.11. Concepto H.Fuente: Elaboración propia.	43
4.1. Celda de carga seleccionada 50kg. [38]	49
4.2. Dimensiones de celda de carga seleccionada. [38]	49
4.3. Principio de funcionamiento. [38]	50
4.4. Viga modelo. Fuente: Elaboración propia	54
4.5. Diagramas de esfuerzo cortante y momento flector para el sistema. Fuente: Elaboración propia	55
4.6. Vista superior de celdas de carga y plataforma. Fuente: Elaboración propia	57

4.7. Vista isométrica de celdas de carga con plataforma. Fuente: Elaboración propia	58
4.8. Acople celdas de carga. Fuente: Elaboración propia	59
4.9. Balanza final con guía para cables. Fuente: Elaboración propia	60
4.10. Almacenamiento de información base de datos. Fuente: Elaboración propia	61
4.11. Diagrama de flujo del sistema de envío, almacenamiento y visualización. Fuente: Elaboración propia	63
4.12. Botón de acero inoxidable. [46]	64
4.13. Diseño indicador final(tapa transparente para mejor visualización). Fuente: Fuente: Elaboración propia	65
4.14. Pestaña de estado actual por basurero. Fuente: Elaboración propia . . .	68
4.15. Resumen de la cantidad recolectada en un basurero específico a través del tiempo. Fuente: Elaboración propia	69
4.16. Tabla resumen de la cantidad de peso y valor monetario en cada basurero. Fuente: Elaboración propia	69
4.17. Estado actual de todos lo basureros con límites para establecer priorida- des de recolección. Fuente: Elaboración propia	70
4.18. Resumen de cantidad material recolectada a través del tiempo de todos los basureros. Fuente: Elaboración propia	71
4.19. Visualización de datos de cada ingreso en los recipientes con su respectivo valor monetario. Fuente: Elaboración propia	72
4.20. Visualización datos recolectados y botón para descargar en formato CSV. Fuente: Elaboración propia	72
5.1. Parámetro magnitud de fuerza. Fuente: Elaboración propia	74
5.2. Simulación con fuerza ubicada en el centro. Fuente: Elaboración propia	75
5.3. Simulación con fuerza ubicada en parte superior derecha. Fuente: Elabo- ración propia	75
5.4. Simulación con fuerza ubicada en parte superior izquierda. Fuente: Elabo- ración propia	76
5.5. Simulación con fuerza ubicada en parte inferior derecha. Fuente: Elabo- ración propia	76
5.6. Simulación con fuerza ubicada en parte inferior izquierda. Fuente: Elabo- ración propia	77
5.7. Prueba de concepto de medición de peso. Fuente: Elaboración propia .	78
5.8. celda de carga prueba de concepto. Fuente: Elaboración propia	79
5.9. Curva característica para calibración. Fuente: Elaboración propia . . .	80
5.10. Linealidad de las mediciones en todo el rango de 0 a 15kg. Fuente: Elabo- ración propia	81
5.11. Flujo de datos. Fuente: Elaboración propia	84
5.12. Set de datos enviados prueba 1. Fuente: Elaboración propia	85
5.13. Set de datos enviados prueba 2. Fuente: Elaboración propia	86
5.14. Set de datos enviados prueba 3. Fuente: Elaboración propia	87
5.15. Set de datos enviados prueba 4. Fuente: Elaboración propia	88
5.16. Set de datos enviados prueba 5. Fuente: Elaboración propia	89

5.17. Datos recibidos y almacenados en base de datos prueba 1. Fuente: Elaboración propia	90
5.18. Datos recibidos y almacenados en base de datos prueba 2. Fuente: Elaboración propia	91
5.19. Datos recibidos y almacenados en base de datos prueba 3. Fuente: Elaboración propia	92
5.20. Datos recibidos y almacenados en base de datos prueba 4. Fuente: Elaboración propia	93
5.21. Datos recibidos y almacenados en base de datos prueba 5. Fuente: Elaboración propia	94
5.22. Datos recibidos en sistema de análisis de datos prueba 1. Fuente: Elaboración propia	96
5.23. Datos recibidos en sistema de análisis de datos prueba 2. Fuente: Elaboración propia	97
5.24. Datos recibidos en sistema de análisis de datos prueba 3. Fuente: Elaboración propia	98
5.25. Datos recibidos en sistema de análisis de datos prueba 4. Fuente: Elaboración propia	99
5.26. Datos recibidos en sistema de análisis de datos prueba 5. Fuente: Elaboración propia	100
5.27. Resumen estado actual de todos los recipientes prueba 1. Fuente: Elaboración propia	101
5.28. Tabla resumen del estado actual de los recipientes con el valor monetario de la cantidad para la prueba 1. Fuente: Elaboración propia	101
5.29. Resumen estado actual de todos los recipientes prueba 2. Fuente: Elaboración propia	102
5.30. Tabla resumen del estado actual de los recipientes con el valor monetario de la cantidad para la prueba 2. Fuente: Elaboración propia	102
5.31. Resumen estado actual de todos los recipientes prueba 3. Fuente: Elaboración propia	103
5.32. Tabla resumen del estado actual de los recipientes con el valor monetario de la cantidad para la prueba 3. Fuente: Elaboración propia	103
5.33. Resumen estado actual de todos los recipientes prueba 4. Fuente: Elaboración propia	104
5.34. Tabla resumen del estado actual de los recipientes con el valor monetario de la cantidad para la prueba 4. Fuente: Elaboración propia	104
5.35. Resumen estado actual de todos los recipientes prueba 5. Fuente: Elaboración propia	105
5.36. Tabla resumen del estado actual de los recipientes con el valor monetario de la cantidad para la prueba 5. Fuente: Elaboración propia	105
5.37. Correo de alerta para recolección en la prueba 1. Fuente: Elaboración propia	106
5.38. Correo de alerta para recolección en la prueba 2. Fuente: Elaboración propia	107

5.39. Correo de alerta para recolección en la prueba 3. Fuente: Elaboración propia	107
5.40. Correo de alerta para recolección en la prueba 4. Fuente: Elaboración propia	107
5.41. Correo de alerta para recolección en la prueba 5. Fuente: Elaboración propia	108
5.42. Ejemplo primeras líneas de dataset de peso en kg. Fuente: Elaboración propia	111
5.43. Gráfico de peso en kg vs día. Fuente: Elaboración propia	112
5.44. Gráfico error 50 épocas. Fuente: Elaboración propia	113
5.45. Gráfico error 100 épocas. Fuente: Elaboración propia	113
5.46. Gráfico de peso en kg vs día con datos de validación y entrenamiento. Fuente: Elaboración propia	114
6.1. Estudio económico por 5 periodos para el cálculo de retorno y valor actual neto. Fuente: Elaboración propia	118

Lista de tablas

2.1. Sistemas similares a los deseados y sus componentes. Fuente: Elaboración propia	23
3.1. Interpretación de necesidades a partir de entrevista con el cliente. Fuente: Elaboración propia.	30
3.2. Necesidades con su respectiva importancia relativa. Fuente: Elaboración propia.	32
3.3. Métricas y necesidades a las que corresponde. Fuente: Elaboración propia	33
3.4. Métricas valores marginales e ideales. Fuente: Elaboración propia . . .	35
3.5. Conceptos encontrados en búsqueda interna y externa. Fuente: Elaboración propia.	38
3.6. Filtrado de conceptos. Fuente: Elaboración propia.	44
3.7. Selección de conceptos. Fuente: Elaboración propia.	45
4.1. Celdas de carga selección. Elaboración propia	48
4.2. Selección de amplificador. Fuente: Elaboración propia	51
4.3. Selección de placa de desarrollo. Fuente: Elaboración propia.	51
4.4. Matriz de selección microcontrolador. Fuente: Elaboración propia. . . .	51
4.5. Tabla de selección de materiales. Fuente: Elaboración propia	53
4.6. Selección de material para plataforma. Fuente: Elaboración propia. . .	54
4.7. Selección de material para acoples de celda con plataforma. Fuente: Elaboración propia.	58
4.8. Corriente y potencia del sistema. Fuente: Elaboración propia	66
4.9. Fuente de alimentación del circuito. Fuente: Elaboración propia	66
5.1. Tabla resumen de simulaciones mecánicas. Fuente: Elaboración propia .	77
5.2. Medición de masas en balanza calibrada. Fuente: Elaboración propia. .	80
5.3. Obtención de pares x,y para obtención de curva característica. Fuente: Elaboración propia.	80
5.4. Resumen error de medición. Fuente: Elaboración propia	81
5.5. Resumen pruebas de error probando una misma carga en diferentes lugares de la plataforma. Fuente: Elaboración propia.	83
5.6. Tabla resumen pruebas de envío de datos. Fuente: Elaboración propia .	95
5.7. Tabla resumen pruebas de envío de datos repetibilidad. Fuente: Elaboración propia	95

5.8. Tabla resumen pruebas de visualización y análisis de datos. Fuente: Elaboración propia	106
5.9. Tabla resumen pruebas de alertas de recolección. Fuente: Elaboración propia	108
5.10. Resultados luego de tarar la balanza con un peso inicial de 1,9kg. Fuente: Elaboración propia	109
5.11. Resultados luego de tarar la balanza con un peso inicial de 1,9kg. Fuente: Elaboración propia	109
5.12. Parámetros de red utilizada. Fuente: Elaboración propia	111
5.13. Error para diferentes épocas. Fuente: Elaboración propia	112
6.1. Desglose de costos del proyecto. Fuente: Elaboración propia	116
6.2. Análisis de mejora de recolección. Fuente: Elaboración propia	117
6.3. Indicadores y cálculo de retorno total sobre la inversión. Fuente: Elaboración Propia	118
8.1. Pruebas de error de medición. Fuente: Elaboración propia	128
8.2. Pruebas de error probando una misma carga en diferentes lugares de la plataforma. Fuente: Elaboración propia.	129

Lista de abreviaciones

Abreviaciones

PLC	Programmable Logic Controller
VA	Visión Artificial
BI	Business intelligence
LSTM	Long short-term memory
Dest. Stdr	Desviación estándar
Med	Medición
TIR	Tasa interna de retorno
VAN	Valor actual neto
ROI	Return on investment
ADC	Analog-to-digital converter
RMSE	Root mean square error
MSE	Mean square error
RNN	Recurrent neural network
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
SARIMA	Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average

Capítulo 1: Introducción

En este primer capítulo del documento, se presentará el entorno bajo el cual se desarrollará el proyecto, también se muestra el planteo del problema al que se dará solución y los objetivos que guiarán el proceso para el desarrollo del proyecto y el documento.

1.1. Entorno del proyecto

Intel es una empresa consolidada en Costa Rica desde 1997 que aporta al crecimiento del país con inversión extranjera directa. El Site en Costa Rica está integrado por más de 3000 empleados. Intel diseña, prototipa, prueba y valida soluciones de circuitos integrados y software. También resalta que brinda soporte en finanzas, recursos humanos, ventas y marketing [1]. Intel aporta en muchas áreas, es una de las empresas que representa una alta inversión extranjera directa debido que representa el 60% de las exportaciones de R&D del país [2].

Intel tiene estrecha relación con las universidades públicas y privadas para fortalecer las áreas de conocimiento relacionadas a STEM. Por lo anterior, se crean actividades como pasantías, cursos, giras y espacios físicos para desarrollar proyectos en coalición con las universidades donde estudiantes pueden aportar y poner en práctica los conocimientos académicos.

El espacio donde se desarrolla este proyecto es el Centro de Innovación, el cual es un espacio que provee Intel para fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías. El Centro de Innovación cuenta con la infraestructura y equipos para desarrollar proyectos tanto con universidades como con empresas externas a Intel las cuales quieran llevar cabo proyectos de alto impacto. Debido a esto, el Centro de Innovación no está alineado a un sector en específico, puesto que, además de proyectos internos de Intel, se desarrollan proyectos relacionados con sectores como industria médica, ambiental y social.

1.2. Problema existente

1.2.1. Justificación

Debido a la gran cantidad de procesos que se desarrollan en Intel, tanto de manufactura como administrativos, en la empresa se generan gran cantidad de residuos como papel, metal, plástico, orgánicos y cartón. Intel ha reducido los desechos a nivel mundial con programas de reciclaje y recuperación de residuos que terminan en un botadero a 5% de 414 toneladas en el año 2020, lo que sigue siendo una cantidad de residuos considerable, en los últimos 2 años como se puede observa en la figura 1.1 se ha dado un aumento y en Costa Rica aún más por el crecimiento de operaciones de manufactura. Para el 2030, como parte de sus objetivos corporativos, Intel quiere que 0% de sus desechos terminen en un botadero y para ello la empresa busca optimizar sus procesos de recolección así como la separación de residuos diariamente.

1.2. Problema existente

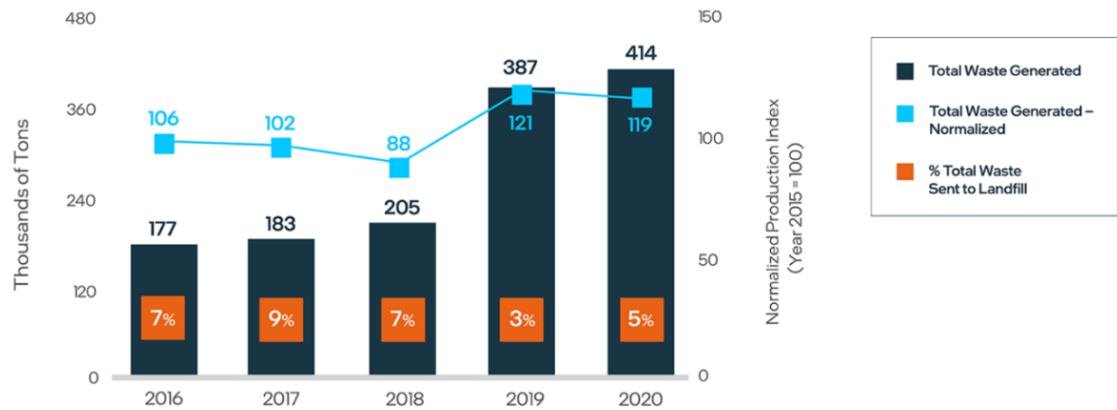


Figura 1.1: Residuos generados en toneladas y porcentaje de residuos que terminan en botadero.[3]

El campus Intel posee un área de más de 26000m² distribuidos en 3 grandes edificios. La empresa en Costa Rica cuenta con 12 estaciones de reciclaje a lo largo del campus como se muestra en la figura 1.2, las cuales tienen contenedores de basura con dimensiones de 30cmx30cmx70cm, en estas estaciones se separa papel, cartón, plástico, vidrio, metal y orgánico. El proceso de recolección de los contenedores consiste en revisar y recolectar cada una de las estaciones de reciclaje varias veces al día. Posteriormente, los residuos se llevan a un contenedor principal donde por estimación empírica realizan el cálculo de cantidad y tipo de material. Esta metodología de recolección presenta 3 grandes deficiencias: la primera es que por la gran extensión de los edificios las personas tienen que realizar largos recorridos para revisar todos los contenedores y no siempre estos están listos para ser recolectados; la segunda es que las cargas que puede almacenar un contenedor pueden superar los 15kg si no se está revisando frecuentemente lo cual es peligroso si una persona lo carga según el código del trabajo [4]; y tercero es que la trazabilidad de la cantidad de material recolectada por estación se pierde cuando se lleva a un contenedor común.



Figura 1.2: Estación de reciclaje de Intel. [3]

Intel Costa Rica busca tener trazabilidad de la cantidad de residuos que se separa por día, semana, o semestralmente en los diferentes edificios y departamentos de la empresa para mejorar las deficiencias de la metodología actual. Para esto, la empresa necesita recolectar datos que la respalden para tomar decisiones y por ello nace este proyecto que busca adquirir datos de la cantidad de material para posteriormente almacenarlos y mostrarlos al usuario de la mejor manera. Con los datos recolectados y almacenados, se busca crear un sistema que mejore las estrategias de recolección de manera que las personas encargadas no deban realizar largos recorridos y no levanten cargas mayores a los 15kg. Como parte de los planes que tiene Intel para mejorar el manejo de residuos, está incentivar a la población a separar adecuadamente los desechos y para ello desea obtener los valores monetarios del material ingresado a un contenedor para posteriormente recompensar al usuario. Los esfuerzos para que 0% de los residuos terminen en un botadero se realizan en todos los Sites de Intel alrededor del mundo, por lo que este proyecto está planteado para realizarlo en Costa Rica, pero debe ser

fácilmente escalable a otros países en caso de que funcione.

1.2.2. Problema

En Intel Costa Rica se presenta la necesidad de desarrollar un sistema el cual mejore la trazabilidad del material recolectado por hora, día, semana y mensualmente en cada estación de manera que se puedan generar mejores estrategias de recolección de residuos y así el personal no deba realizar largos recorridos para realizar revisiones. Para realizar lo anterior, se desea un sistema que realice la medición de masa del material y con estos datos alertar cuando se sobrepasa el peso máximo permitido en el recipiente y así no provocar lesiones en el personal. El sistema que se necesita debe ser capaz de almacenar y mostrar los datos de cantidad de material junto con su valor monetario para que ayude a la empresa en la toma de decisiones relacionadas a la recolección de residuos.

1.3. Objetivos

El objetivo general que se plantea para este proyecto de graduación es el siguiente:

Diseñar un sistema que permita dar trazabilidad de la cantidad de material recolectada por contenedor para el mejoramiento de las estrategias de recolección a través del monitoreo, almacenamiento y visualización del peso del material.

Se plantea con los siguientes objetivos específicos:

1. Establecer un estudio del estado del arte de sistemas de medición de masa y de sistemas de almacenamiento y visualización de datos.
2. Diseñar sistema para la medición de la masa del material ingresado en un basurero de reciclaje.
3. Diseñar arquitectura IoT para el envío, almacenamiento y visualización de los datos de la cantidad de material en el tiempo, y mejoramiento de las estrategias

de recolección del personal encargado.

4. Validar que el sistema de medición, almacenamiento y visualización cumplen con los requerimientos de la solución del problema.

1.4. Estructura de documento

- **Marco Teórico:** En esta sección se desarrolla todos los conceptos y definiciones técnicas que permiten un mejor entendimiento del documento.
- **Metodología:** En esta sección se explica cada uno de los pasos para desarrollar un producto, desde las interacciones con el cliente hasta la selección de un concepto final y pruebas para validarlo.
- **Propuesta de solución:** En esta sección se desarrolla a detalle el concepto seleccionado, se explica cada selección relacionada a componentes del diseño de este proyecto.
- **Resultados y Análisis de Resultados:** En esta sección se explica tanto las pruebas de la propuesta de diseño como sus resultados. Al final de esta prueba se verifica que el diseño cumple con todo lo requerido.
- **Análisis Económico:** En esta sección se explica el proyecto desde el punto de vista económico y sus aportes en diferentes ámbitos como ambiental o social.
- **Conclusiones y Recomendaciones:** En esta sección se explica los principales hallazgos del proyecto, así como el aprendizaje y experiencias que podrían servir en un futuro para posibles mejorar de la solución.

Capítulo 2: Marco Teórico

Este capítulo explica los conceptos que permiten un mejor entendimiento de las secciones del proyecto y de la solución planteada. Se explican temas como automatización, las diferencias entre peso y masa, las diferentes maneras de pesar sólidos, el internet de las cosas, y aspectos relacionados a software.

Finalmente se realiza un estudio del estado del arte de sistemas similares a los deseados en este proyecto.

2.1. Automatización

La automatización es una de las herramientas que cada día simplifican más la vida al ser humano. La automatización consiste en la incorporación de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento [7]. En otras palabras, un proceso de automatización se compone de sensores y/o actuadores y controladores principalmente. Los sensores son los encargados de medir las variables del proceso que se desea automatizar por lo que transforman una variable física en una variable eléctrica. Por otra parte, los actuadores reciben energía y esta la transforman en una energía diferente a la de entrada para generar un efecto en el proceso automatizado.

Un aspecto importante de la automatización es que tiene como objetivo situar el proceso y a los recursos humanos que lo asisten en la situación más favorable [7].

Lo anterior está estrechamente relacionado con el enfoque de este proyecto ya que los objetivos están dirigidos a que el personal no realice las mediciones de masa de material y que cuando el material se recolecte, vaya debidamente medido. Otro beneficio que nos brinda la automatización es la capacidad de monitorear variables de un proceso para inclinar la decisiones en el crecimiento del negocio como es el caso de este proyecto para mejorar los procesos de recolección del personal encargado.

2.2. Microcontroladores

El Controlador es un circuito que incluye todos los componentes de un computador el cual a partir de una secuencia o combinación de entradas se toma decisiones en las salidas [8]. Los controladores son lo encargados de procesar la información y hacerla de fácil lectura para el usuario. Existen varias opciones en el mercado entre ellas el PLC y los microcontroladores.

El PLC es una máquina electrónica programable, usualmente por personal de ingeniería, destinada a cumplir distintas funciones [9]. Por lo general se utiliza en ambientes de industria y son capaces de soportar vibraciones, altas temperaturas. Por otra parte los microcontroladores son un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador. Los microcontroladores usualmente son usados en la vida diaria como en los electrodomésticos, calculadoras o en robots. Al igual que los PLC poseen entradas, salidas y unidades de procesamiento. Además, poseen ventaja con respecto a los PLC ya que son más pequeños. Otra característica a resaltar es que los microcontroladores no son tan robustos comparado a los PLC en cuando a protecciones físicas o eléctricas.

2.3. Masa y peso

Existe un mal uso del término peso de un objeto en la sociedad, ya que el peso se mide en Newtons (N), mientras que la masa se mide en gramos (g) o kilogramos (kg). Para efectos de este proyecto el término peso y masa se va a utilizar refiriéndose solamente a la masa.

- **Peso de un objeto:** es la fuerza con que la Tierra atrae al cuerpo debido a la gravedad. [10]
- **Masa de un objeto:** La masa caracteriza las propiedades inerciales de un cuerpo. La masa esta relacionada con el peso debido a la segunda ley de Newton donde la fuerza ejercida sobre un cuerpo es proporcional a la multiplicación de la masa por la aceleración [10]. Lo anterior se define con la siguiente fórmula $w=m*g$ donde m es la masa y g la aceleración debido a la gravedad

Existen muchas maneras de obtener la masa de un cuerpo y muchas se aprovechan de obtenerla a través del peso. A continuación se mostrará diferentes métodos para obtener la masa de un material.

2.3.1. Pesar sólidos: Tipos de sistemas de medición de masa

La balanza o báscula es un instrumento de medición el cual es altamente utilizado en supermercados, industrias, medicina, reciclaje y otros. Sus precios varían de acuerdo al tipo, precisión y rango de masas que pueden pesar. Cabe resaltar, que se utiliza el término pesar, pero en realidad su valor de salida por lo general es la masa del cuerpo.

- **Una balanza de brazos iguales:**

Esta balanza utiliza una masa conocida en un brazo y una masa desconocida en otro (figura 2.1). Cabe resaltar que los brazos son de igual distancia por lo que al

momento en que ambas masas se equilibren significa que tienen el mismo peso y por ende, misma masa.

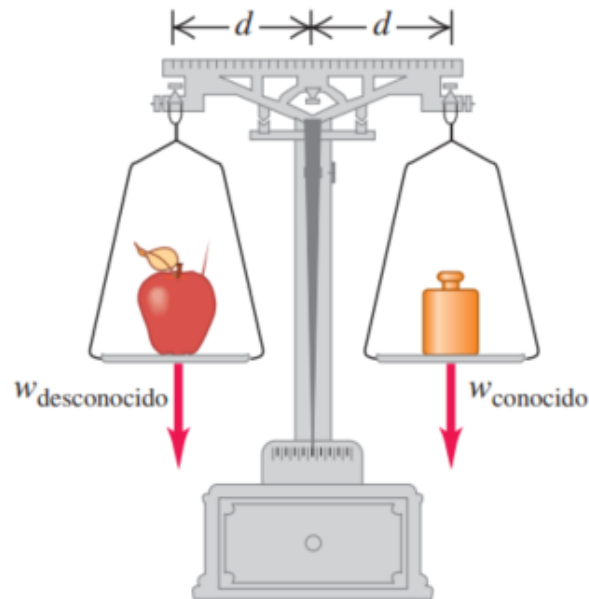


Figura 2.1: Balanza de brazos iguales [10].

- **Balanza de peso deslizante:**

La balanza de peso deslizante utiliza el mismo principio de equilibrio que la balanza de brazos iguales. Sin embargo, esta posee 2 pesos los cuales son deslizantes y permiten equilibrar el cuerpo desconocido, para luego multiplicar el peso conocido por un factor y así obtener el peso desconocido. (Ver figura 2.2)



Figura 2.2: Balanza de masa deslizante. [11]

■ **Balanza de resortes:**

La balanza de resorte se basa en el principio de cuanto se comprime o elonga un resorte (figura 2.3), y de acuerdo al delta de distancia sabe cuanto es el peso del objeto. Cabe resaltar que la calibración inicialmente se realiza con pesos conocidos (ver figura 2.3). Comercialmente también conocidas como dinamómetro

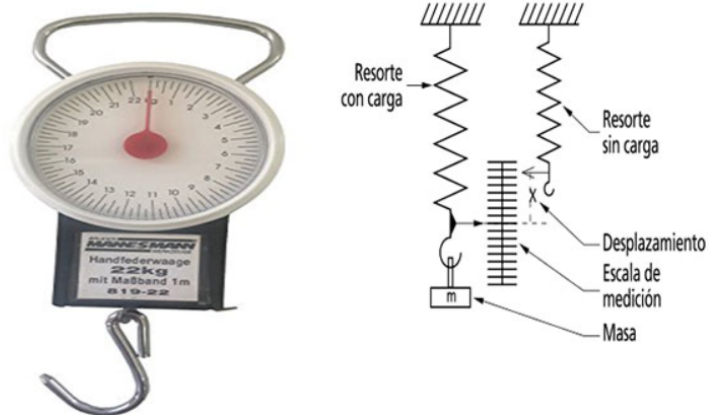


Figura 2.3: Balanza de resortes. [11]

■ **Balanza de analítica de laboratorio:**

Existen combinaciones de los tipos antes mencionados los cuales aumentan su complejidad para obtener mayor precisión como es el caso de las balanzas analíticas

de laboratorios como la mostrada en la figura 2.4. Algunas utilizan servomotores los cuales son muy precisos y ante un cambio en el eje se genera un cambio del campo magnético y esto se puede traducir a valores de masa. [12]

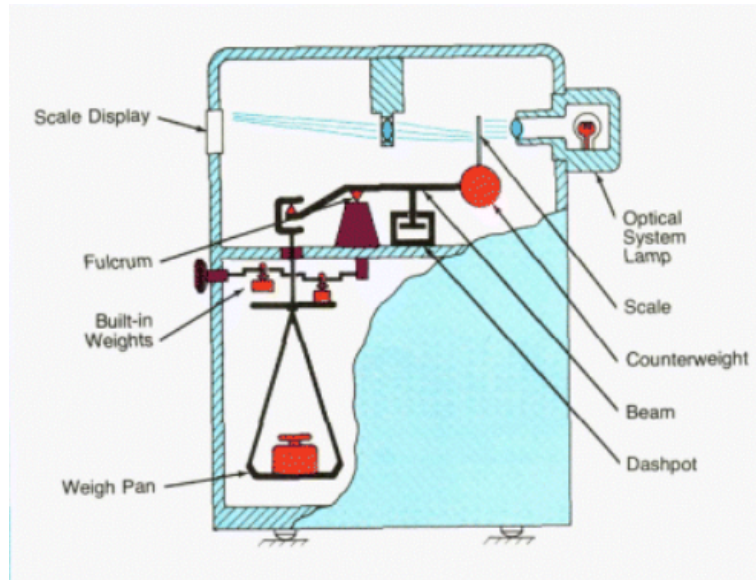


Figura 2.4: Balanza analítica [12]

- **Balanza con celdas extensiométricas:**

Ante los avances de la tecnología se presentó la necesidad de obtener precisión sin mayor complejidad, otro aspecto que se ha dado en las balanzas es que conforme se modernizan, tienden a ser más digitales. Las balanzas con celdas extensiométricas (figura 2.5) solucionan lo antes mencionado. Estas permiten traducir el nivel de deflexión de una estructura y convertirlo a un valor electrónicamente legible. En la sección celdas de carga y deflexión se ahondará más en el principio de funcionamiento.



Figura 2.5: Balanza industrial con celda de carga [13]

2.3.2. Celdas de carga

Un celda de carga se define como un transductor el cual tiene como entrada una presión y esta la convierte a una señal eléctrica[14]. Existen diferentes tipos los cuales se diferencian dependiendo del tipo de energía que utilicen.

2.3.2.1. Celda de carga neumática y celda de carga hidráulica

La celda neumáticas (figura 2.6) y las hidráulicas (figura 2.7) utilizan aire y aceite respectivamente. Estructuralmente el principio de funcionamiento es muy similar [15]. Poseen un diafragma en el cual la carga realiza la presión, esta presión se transmite a través del fluido y esta presión puede ser traducida a su valor de masa con ayuda de un manómetro y una conversión.

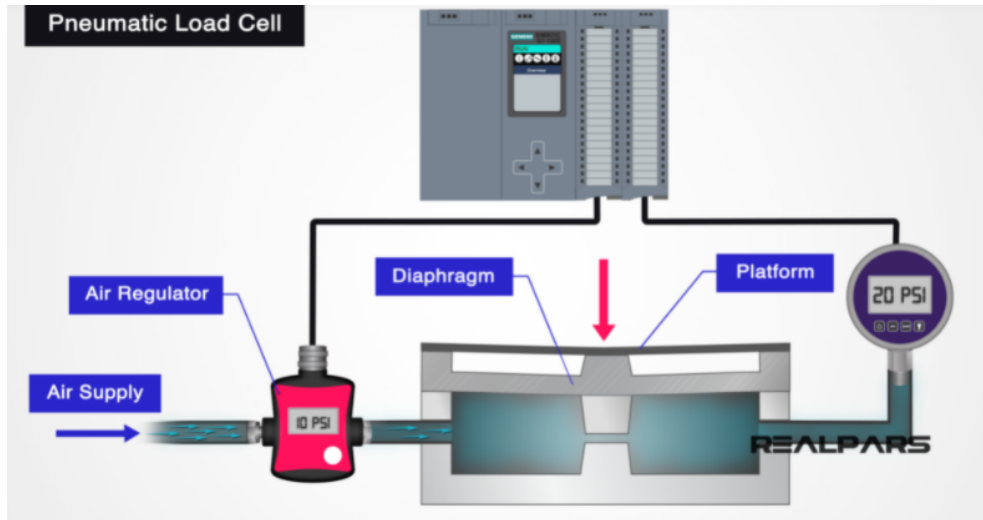


Figura 2.6: Celda de carga neumática [15]

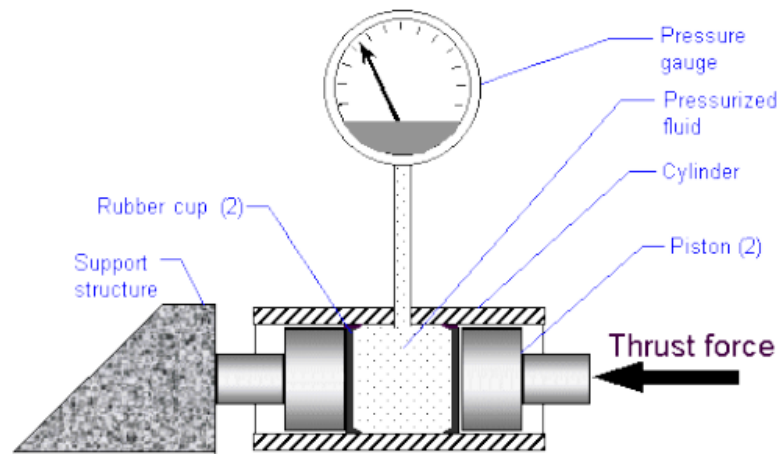


Figura 2.7: Celda de carga hidráulica[16]

2.3.2.2. Celda de carga con galga extensiométrica

Las galgas extensiométricas se basan en el principio piezoresistivo de metales y semiconductores. La resistividad varía en función de la deformación a la que está sometidos.

La relación entre la resistencia y la deformación de una galga esta dada por el factor de galga (Ecuación 2.1) el cual es un valor brindado por el fabricante.

$$GF = \frac{\partial R/R}{\epsilon} \quad (2.1)$$

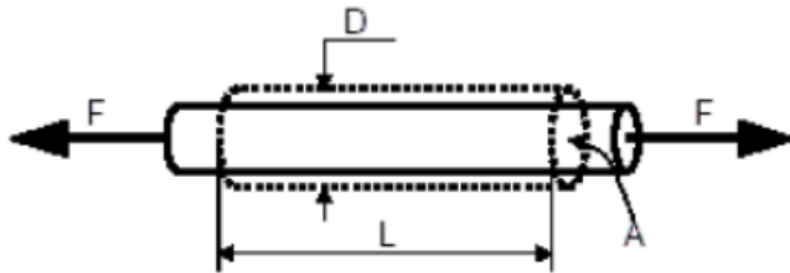


Figura 2.8: Efecto Piezoeléctrico[17]

Existen diferentes tipos de celdas de carga galga extensiométrica de acuerdo a su geometría figura 2.9:

- Celda de carga tipo S
- Celda de carga tipo Viga
- Celda de carga tipo discos



Figura 2.9: Tipos de celda de carga. Tipo S, tipo viga y tipo disco[14]

2.4. Normas de protección IEC 60529

Todos los equipos electrónicos comerciales están protegidos dependiendo del ambiente donde este vaya a funcionar. La norma IEC 60529 permite medir el grado de

protección que tiene un equipo o parte de un equipo. Por lo general el grado de protección de un dispositivo viene indicado en las especificaciones del mismo. El grado de protección se define en 2 pruebas y es indicado de la manera IPXY, X es un número de 0 a 6 que indica el grado de protección a sólidos y Y indica el grado de protección a líquidos y va de 0 a 8. En la figura 2.10 se muestra el significado de cada dígito:

Elemento	Cifras o Letras	Significado para la protección del equipo
Letras del código	IP	—
Primera cifra característica	0 1 2 3 4 5 6	Contra el ingreso de objetos sólidos extraños (no protegidos) ≥ 50 mm de diámetro ≥ 12,5 mm de diámetro ≥ 2,5 mm de diámetro ≥ 1,0 mm de diámetro protegido contra el polvo estanco al polvo
Segunda cifra característica	0 1 2 3 4 5 6 7 8	Contra la penetración de agua con efectos perjudiciales (no protegido) protegido contra las caídas verticales de gotas de agua protegido contra las gotas de agua con inclinación máx. de 15° protegido contra el agua en forma de lluvia protegido contra las proyecciones de agua protegido contra los chorros de agua protegido contra los chorros fuertes de agua inmersión temporal inmersión continua

Figura 2.10: Protección IP Norma IEC 60529 [18]

2.5. Pruebas de calibración

2.5.0.1. Prueba de repetibilidad

La prueba consiste en la colocación repetitiva de la misma carga en el receptor de carga, bajo condiciones idénticas de manejo de la carga y del instrumento, y bajo las mismas condiciones de prueba, tanto como sea posible. Se debe realizar al menos 5 veces.

2.5.0.2. Prueba para los errores de las indicaciones

Esta prueba se debe realizar al menos 5 veces. El objetivo de esta prueba es una estimación del desempeño del instrumento en el alcance completo de la medición.

La prueba se debe realizar cambiando la carga de manera ascendente de 0 hasta su capacidad máxima y luego cambiar la carga de manera descendente hasta 0.

2.5.0.3. Prueba de excentricidad

La prueba consiste en poner una carga de prueba en diferentes posiciones del receptor de carga, de tal manera que el centro de gravedad de la carga ocupe, tanto como sea posible, las siguientes posiciones.

1. Centro
2. Frontal izquierda
3. Posterior izquierda
4. Posterior derecha
5. Frontal derecha

2.6. Internet de las cosas

Internet de las cosas en la combinación del mundo real con el mundo digital, para ello cada objeto posee una serie de sensores conectados los cuales generan información del estado de las variables, la información generada puede ser accedida por las personas con un identificador único de cada objeto.

La existencia de nuevos algoritmos y el rápido aumento de la potencia de cálculo y el almacenamiento de datos permiten agregar, correlacionar y analizar grandes cantidades de datos [19]. Los hogares, empresas, hospitales y municipios buscan optimizar sus procesos por medio de internet de las cosas ya que es una tecnología que cada vez es más accesible y el monitoreo de variables es casi en tiempo real sin necesidad de estar en el lugar. Una arquitectura de internet de las cosas está compuestas por 4 fases:

- Fase 1 sensores y actuadores: Es donde se supervisa o controla algún proceso físico
- Fase 2 Sistema de adquisición de datos: Es donde se convierten los datos a un valor digital.
- Fase 3 Preprocesamiento: En esta etapa los datos se procesan para reducir su volumen antes de que vayan a la nube.
- Fase 4 Análisis en profundidad: Es donde se analizan los datos para detectar patrones, tendencias o anomalías de los procesos. A este punto las empresas pueden tomar decisiones seguras respaldadas con la información recolectada.

2.7. Diseño computacional

En esta sección de desarrollan conceptos relacionados al diseño computacional que permite procesar, almacenar, transmitir y mostrar la información que se recolecta con este proyecto.

2.7.1. Bases de datos

Las bases de datos son una herramientas muy importante en los sistema informático y en una estructura de internet de las cosas, ya que son las encargadas de almacenar la información de manera segura para que posteriormente el usuario pueda accederla. Existen varios tipos de base de datos, entre ellas se encuentran las siguientes [20]:

- Bases de datos orientadas a objetos.
- Bases de datos relacionales.
- Bases de datos no relacionales.
- Bases de datos distribuidas

Las bases más populares son las relaciones o SQL [20] (Lenguaje de Consulta Estructurada por sus siglas en inglés) ya que permite organizar la información como un conjunto de tablas con columnas y filas. Cada fila corresponde a un atributo y cada columna corresponde a los atributos de cada registro.

A medida de que las bases de datos se han popularizado se dio la necesidad de sistemas para administrarlas y para ello se crearon los sistemas gestores de bases de datos que se pueden definir como un sistema que permite la creación, gestión y administración de bases de datos, así como la elección y manejo de las estructuras necesarias para el almacenamiento y búsqueda de información del modo más eficiente posible [21]. Algunos ejemplos de gestores de bases de datos se encuentran: Oracle database, MariaDB, PostgreSQL, MongoDB y SQLite. Este último tiene licencia dual esto quiere decir que tiene tanto licencia comercial como pública y además, es considerada una de las más populares del mundo.

2.7.2. Interfaz de visualización

Con la cantidad de dispositivos electrónicos que tienen conexión a internet y el alto número de transacciones que estos realizan, el manejo de información se vuelve cada vez más complejo y como se ha mencionado en la subsección 2.7.1, las bases de datos cubren parte de esta necesidad, porque se presenta otro problema relacionado con mostrar grandes cantidades de información de manera eficiente para que el usuario y las empresas puedan tomar sus decisiones. Para solucionar este problema existen librerías o software de inteligencia empresarial como por ejemplo: Plotly, Bokeh, Nivoh Rocks y software de tipo drag and drop como Tableau y Power BI [22]. Las librerías por lo general son más personalizables, pero se necesita un conocimiento técnico en programación para utilizarlas. Los software BI son más fáciles de usar pero no son tan personalizables porque todos los componentes ya viene programados para agregar los datos de entrada.

2.8. Estado del Arte: Problemas similares para pesar material y volumen de llenado

En esta sección se explica investigaciones y sistemas similares a este proyecto, cabe resaltar que el problema planteado en este proyecto es muy específico para la empresa, y por ello no se ha generalizado sistemas comerciales que cumplan los requerimientos en su totalidad.

Cada una de las investigaciones y sistemas que se presentan en este apartado son de apoyo para tomar decisiones relacionadas acerca de los componentes y subfunciones necesarias para resolver el problema por el cual surgió este proyecto.

El problema de recolección de residuos no es nuevo, la sociedad está consciente que para reducir la contaminación debe realizar buenas prácticas de recolección, separación

y procesamiento de residuos. En muchos países se han implementado estrategias para promover la adecuada recolección de residuos, como es el caso de Madrid España [23], en este año se remplazaron 12000 de los recipientes de recolección de residuos por recipientes inteligentes, estos recipientes poseen sensores infrarrojos los cuales permiten monitorear la cantidad de llenado y la temperatura de los recipientes. Los recipientes cuentan con un sistema de alarma para cuando el llenado sobrepase el 80% de su capacidad o si su temperatura supera los 70 grados centígrados. En el caso que se de una alarma los vehículos encargados realizan la respectiva recolección.

En [24] igualmente se presenta un problema de que los contenedores de basura se llenan aleatoriamente y se necesita una revisión humana continua para controlar el exceso de residuos en un recipiente. Otra situación que se presenta en los contenedores de basura es que en época lluviosa cuando entra agua los recipientes aumentan los olores desagradables. Para que no haya una revisión humana continua lo que se realiza en [24] es utilizar sensores ultrasónicos para detectar el nivel de llenado de los contenedores, para solucionar que cuando llueva el recipiente no permita el ingreso de agua utilizan un sensor de lluvia el cual cuando se activa cierra la compuerta del recipiente, y para evitar que hayan residuos alrededor del recipiente utilizan sensores infrarrojos. Todos los sensores están conectados a una página web la cual es la encargada de brindar alertas al personal del municipio en este caso.

La correcta separación de residuos es un problema principalmente por que las personas no adoptan iniciativas en los hogares para separar adecuadamente y en muchos casos se da también por la falta de educación. Por consiguiente, investigaciones como [25] trata de implementar sistemas que cuando las persona separe los residuos de manera adecuada sea recompensado con puntos o dinero. Cabe resaltar que estos sistemas realizan las mediciones de cantidad y tipo de material en el lugar, pero por lo general los cálculos y almacenamiento de información se realizan en un servidor donde la persona puede verificar sus puntos con un identificador y así ver la cantidad de material y

su valor monetario. Por ejemplo en [26] se desarrolla en Malasia y utilizan tecnología RFID para detectar cuando el usuario quiere ingresar el material a los recipientes y con la información del usuario se guardan datos de cantidad, tipo y peso de material en una base de datos. Posteriormente, el usuario ingresa a un sistema en línea para verificar su cantidad de puntos. Existen diferentes maneras para pesar la cantidad de material como se ha mencionado en la sección de tipos de balanzas, lo que se utiliza por lo general son celdas de carga por su rango de pesos que pueden medir, su facilidad de conseguirlos y principalmente por la facilidad de digitalizar los datos. En [27] describen una correlación de peso y volumen de material para encontrar la mejor cantidad de sensores ultrasónicos. Así como se utiliza sensores ultrasónicos para medir nivel de llenado, se utilizan sensores capacitivos, inductivos e infrarrojos [28], estos últimos con mayor frecuencia ya que pueden medir tanto distancias discretas como analógicas y en algunos casos pueden medir la temperatura de los materiales.

La recolección de información de contenedores es importante porque luego de tener un set de datos representativo muchos investigadores han empezado a utilizar tecnologías mas robustas para optimizar los procesos de recolección. Un ejemplo de lo anterior es utilizar redes neuronales convolucionales para separar adecuadamente los residuos utilizando visión por computadora [29]. En estos casos donde el procesamiento de datos es alto, el procesado de la información lo realizan con microprocesadores [29] fáciles de conseguir para poder replicar los sistemas en grandes cantidades de basureros. Otro ejemplo donde utilizan los datos recolectados de nivel de llenado es en [30], los autores desarrollan un algoritmo de clasificación para determinar cuales recipientes deben ser recolectados y así generan rutas de recolección para el vehículo encargado de recolectar los residuos.

En definitiva, estudiar y mejorar los procesos de recolección de residuos es algo importante donde se debe poner atención. Ya en muchos países han implementado procesos para mejorar la recolección desde los hogares. Por lo tanto no se debe dejar

por fuera las empresas, que también producen muchos residuos en sus procesos y deben ser recolectados de la mejor forma.

En la tabla 2.1 se muestra un resumen de sistemas similares a los que se desean en este proyecto y las tecnologías que utilizan. Es importante resaltar que en la mayoría el procesamiento de datos se realiza en un servidor luego de haber almacenado la información, y los resultados se muestran en una aplicación para móviles o en una interfaz web. Además, para la adquisición de las variables, por lo general se utilizan microcontroladores a menos que las variables que se midan involucren procesamiento de imágenes. En cuanto a los tipos de comunicación los más utilizados son GSM, Wifi y Ethernet; este último suele ser más estable. pero con la desventaja de que no es inalámbrica comparado a las otras 2.

Tabla 2.1: Sistemas similares a los deseados y sus componentes. Fuente: Elaboración propia

Título	Sensores	Procesado de información	Comunicación	Interfaz	Otros
Diseño de un contenedor de basura inteligente para el manejo inteligente de residuos. [31]	Celda de carga con galgas extensiométricas Sensor Ultrasónico	Microcontrolador	GSM Bluetooth	Aplicación móvil	Base de datos mysql
Contenedor inteligente basado en IOT eficiente para un entorno limpio. [24]	Sensor ultrasónico, infrarrojo y de lluvia	Arduino uno	Ethernet	Aplicación web	-
Un sistema de gestión de contenedores de basura inteligente basado en IoT propuesto con una ruta optimizada: un estudio de caso de Ghana. [32]	Sensor ultrasónico	ATmega 328P	Gsm	Aplicación de móvil	Base de datos SQL
Diseño de contenedor inteligente para ciudades más inteligentes. [33]	Sensor ultrasónico e inductivos	Arduino mega 26500	WIFI ESP8266-01	Interfaz web y LCD	-
Sistema inteligente de gestión de residuos para Bangladesh[34]	Sensor ultrasónico	Arduino uno r3	GSM	LCD, SMS	-
Un contenedor de reciclaje inteligente basado en la nube para uso interno [29]	Cámara 8MPx	Raspberry Pi Zero W	Wifi integrado	-	CNN classifier, MySQL

Capítulo 3: Metodología

Para dar solución al problema descrito en la sección 1.2, se plantea el objetivo general y los objetivos específicos mostrados en la sección 1.3. En este capítulo se presenta la metodología de diseño que se sigue para encontrar diferentes soluciones y seleccionar una de acuerdo a una series de criterios.

3.1. Etapas de la metodología

Para desarrollar el proyecto se utiliza como base la metodología de diseño y desarrollo de productos planteada por K. Ulrich y S. Eppinger [36]. los pasos utilizados para dar seguimiento a la metodología se muestran en la figura 3.1. Cabe resaltar que cada etapa se realiza iterativamente y en caso de deficiencias se devuelve a la etapa anterior hasta encontrar la mejor solución.

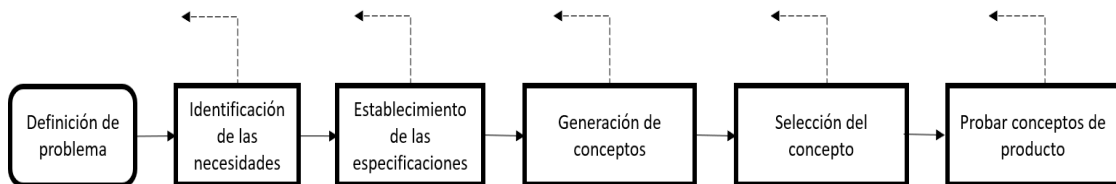


Figura 3.1: Pasos metodología de diseño.[36]

- **Identificación de necesidades**

En esta sección es donde más se interactúa con el cliente debido a que es donde

se exponen los requerimientos de la solución. Luego de recopilar la información expuesta por el cliente, se procede a interpretar sus necesidades seguido de una jeraquización de las mismas en necesidades primarias, secundarias y terciarias, estas últimas en caso de ser necesario. Posteriormente, se mantienen las interacciones con el cliente para establecer la importancia relativa de las necesidades interpretadas. Esta sección ayuda tanto a encontrar necesidades explícitas como ocultas de las interacciones con el cliente, con el fin de no dejar necesidades muy importantes por fuera y tener documentados los requerimientos. Por último, en esta y cada una de las etapas de diseño se realiza una reflexión acerca de los resultados obtenidos.

- **Establecimiento de las especificaciones**

Luego se procede a establecer las especificaciones, estas tienen como objetivo explicar las necesidades con detalles precisos y medibles, ya que los deseos del cliente están explicadas subjetivamente y a la hora de diseñar se deja mucho margen de interpretación [36]. Para determinar especificaciones, lo primero que se realiza es una lista de métricas que permitan medir las necesidades establecidas. Con investigaciones internas y las interacciones con el cliente, se establecen los valores aceptables y marginalmente aceptables de cada métrica.

- **Generación de conceptos**

Esta etapa se divide en 5 subetapas. La primer etapa es aclarar el problema, para ello se definen las entradas y salidas del sistema total, luego se realiza una descomposición del problema en subproblemas más sencillos, lo que facilita etapas futuras. Cuando se tengan los subproblemas se realiza búsqueda interna y búsqueda externa de conceptos que solucionen cada subproblema. Luego de tener varias opciones para cada subproblema se procede a realizar árboles de clasificación para identificar las soluciones más prometedoras. Posterior a un filtrado, se realiza la

tabla de combinación.

■ Selección de conceptos

Con las combinaciones más prometedoras de la etapa de generación se realiza la selección de concepto, para ello se establecen los criterios de selección los cuales deben estar alineados a las necesidades expuestas por el cliente. Después se debe realizar un filtrado de conceptos para reducir la cantidad de opciones; puede que algunas alternativas combinadas generen conceptos nuevos que puedan considerarse en la evaluación. Por último se realiza una evaluación de las combinaciones que hayan pasado la etapa de filtrado. La evaluación se realiza con matrices de selección y con ponderación de criterios de acuerdo a la importancia de cada necesidad.

■ Probar conceptos de producto

Luego de obtener el concepto ganador se procede a establecer un conjunto de pruebas para validar su funcionalidad. Con la ayuda de las necesidades y especificaciones se plantean los objetivos a medir y las variables de influencia, respectivamente, también se determina cuales factores externos pueden influir en las pruebas del producto.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

Para simplificar el desarrollo del proyecto, este se lleva a cabo siguiendo una serie de actividades las cuales fueron desglosadas con el objetivo de que estén alineadas con el proceso de diseño de ingeniería que se explicó en la sección 3.1.

3.2.1. Establecer un estudio del estado del arte de sistemas de medición de masa y de sistemas de almacenamiento y visualización de datos.

Este objetivo está alineado con la obtención de necesidades y especificaciones del proyecto las cuales son obtenidas por el cliente y por el análisis de la literatura de sistemas similares a los deseados.

1. Solicitar entrevistas para determinar necesidades y especificaciones del proyecto
2. Realizar un estudio de documentos y referencias existentes de sistemas similares a los deseados
3. Realizar entrevistas de cómo es el proceso recolección y medición de cantidad de material actual en la empresa
4. Generar una tabla requerimientos, necesidades y especificaciones que ayudan a solucionar el problema, así como sus componentes y dimensiones.

3.2.2. Diseñar sistema para la medición de la masa del material ingresado en un basurero de reciclaje.

Una vez obtenidas las necesidades y especificaciones se procede a seguir con la etapa de generación, evaluación y selección de conceptos. Para efectos de este objetivo los subproblemas que se buscan solucionar es el de adquisición de datos ya que se debe pesar el material y este traducirlo a valores almacenables. Además, al finalizar este objetivo se debe tener una prueba de concepto que permita ayudar con la validación de pesar material.

1. Investigar sobre diseños para pesar material.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

2. Generar ideas para pesar material y procesar la información.
3. Seleccionar el concepto para pesar y procesar la información.
4. Realizar diseño electrónico y mecánico para la medición del peso del material.
5. Seleccionar los materiales y equipo para la implementación del diseño.
6. Construir prueba de concepto para validar la medición y calibración de peso.

3.2.3. Diseñar arquitectura IoT para el envío, almacenamiento y visualización de los datos de la cantidad de material en el tiempo, y mejoramiento de las estrategias de recolección del personal encargado.

Este objetivo se desglosa de manera que al final se obtiene un sistema de de visualización a partir de los datos almacenados. Los datos adquiridos por el objetivo 2 deben ser enviados y por ello al final de este objetivo se obtiene un sistema de transmisión de datos.

1. Buscar maneras de transmitir, almacenar y visualizar la información.
2. Generar ideas para el sistema deseado.
3. Seleccionar de concepto de envío, almacenamiento y visualización de los datos.
4. Reunión con cliente para establecer requerimiento de visualización.
5. Diseñar código de programación para le envío de datos.
6. Diseñar sistema de visualización y almacenamiento.

3.2.4. Validar que el sistema de medición, almacenamiento y visualización cumplen con los requerimientos de la solución del problema.

Para el objetivo 4, se deben establecer las pruebas que se realizan así como definir los objetivos y factores de influencia de cada prueba. Cabe resaltar que al final de este objetivo se debe verificar el cumplimiento de los requerimientos del problema.

1. Definir cuáles son los objetivos por medir en las pruebas.
2. Establecer las pruebas a realizar.
3. Realizar pruebas.
4. Documentación de validación del sistema de medición, almacenamiento y visualización de los datos.

3.2.5. Etapa 1: Recopilación de información y determinación de necesidades

3.2.5.1. Entrevista e interpretación de necesidades

En esta primera etapa la recopilación de datos se realiza a través de reuniones con el cliente, el cual es el encargado del proyecto y es el encargado del Centro de Innovación. Luego de las reuniones e interacciones con el cliente, los datos son analizados e interpretados. La interpretación de las necesidades del cliente se pueden ver en la tabla 3.1. Además de necesidades explícitas, se buscó encontrar necesidades ocultas en los enunciados del cliente.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

Tabla 3.1: Interpretación de necesidades a partir de entrevista con el cliente. Fuente: Elaboración propia.

Cliente: Dirección:	Sergio Hutt Rodríguez Intel	Entrevistador: Steven Quiel Hidalgo Fecha: 02/08/2021
Teléfono: Dispuesto a otra llamada:	83256258 Sí	Actualmente usa: – Tipo de usuario: Gerente de innovación
Pregunta/Sugerencia	Enunciado del cliente	Necesidad interpretada
Usos típicos	Necesito que pese el material ingresado a basurero	Sistema que sea capaz de medir la cantidad de masa requerida
	Me gustaría insertar el material y que además del valor de la masa, me dé el valor monetario	Sistema que permita observar la cantidad de material ingresado en una interfaz gráfica. Sistema que indique al usuario cuanto es el valor monetario de la cantidad de masa ingresada
	La idea es proponerlo a la empresa y si funciona expandirlo a otros sites	Sistema que se ajuste al tamaño de los basureros de reciclaje de la empresa. Sistema que sea escalable.
	Me gustaría almacenar la información de alguna manera para saber en qué lugares se separa más cierto material y analizar estrategias de recolección	Sistema que sea capaz de almacenar un historial de la masa ingresada al basurero de reciclaje
	Actualmente la recolección se realiza varias veces al día. Lo ideal es que la persona solo revise los contenedores que están listos para ser recolectados	Sistema que indique al recolector cuales recipientes están listos para ser recolectados. Sistema que alerte al usuario si sobrepasa cierto nivel de peso
Características	Sería bueno también tener la cantidad de masa total del basurero	Sistema que muestre la cantidad total de masa ingresada en una interfaz gráfica
	Los basureros de la empresa tienen un tamaño estándar	Sistema que se ajuste al tamaño de los basureros de reciclaje de la empresa
	Los datos se quieten analizar y transmitir para tener un registro de los datos	Sistema que transmita información. Sistema que permita registrar la hora en la que se realiza un ingreso
Costo	Se tiene un presupuesto estimado de 300\$	Sistema que se ajuste al presupuesto

3.2.5.2. Importancia relativa de necesidades

Luego de obtener una lista de necesidades, se procede a establecer la importancia relativa de cada una. Esto se realiza a partir de interacciones con el cliente para saber cuáles necesidades son de mayor importancia o cuales funciones son indeseables. La escala utilizada para calificar la importancias de cada necesidad se muestra a continuación:

1. La función es indeseable. No consideraría un producto con esta función.
2. La función no es importante, pero no me importaría tenerla.
3. Sería bueno tener esa función, pero no es necesaria.
4. La función es altamente deseable, pero consideraría un producto sin ella.
5. La función es de importancia crítica. No consideraría un producto sin esta función.

Finalmente, se agregan necesidades que no se consideraron en un inicio o estaban ocultas, luego de realizar una reflexión de los resultados. La lista de necesidades con su respectiva importancia se muestran en la tabla 3.2

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

Tabla 3.2: Necesidades con su respectiva importancia relativa. Fuente: Elaboración propia.

Num	Importancia	Necesidad determinada
1	4	Sistema que sea capaz de medir la cantidad de masa requerida
2	4	Materiales utilizados deben ser capaces de soportar la carga requerida
3	5	Sistema que sea capaz de almacenar un historial de la masa ingresada al basurero de reciclaje
4	5	Sistema que permita registrar la hora en la que se realiza un ingreso de masa
5	3	Sistema que permita observar la cantidad de material ingresado en una interfaz gráfica
6	3	Sistema que muestre la cantidad total de masa ingresada en una interfaz gráfica
7	3	Sistema que indique al usuario cuanto es el valor monetario de la cantidad de masa ingresada
8	4	Sistema que se ajuste al tamaño de los basureros de reciclaje de la empresa
9	5	Sistema que se ajuste al presupuesto
10	3	Sistema que posea cierto grado de protección debido al ambiente
11	3	Sistema con capacidad descargar datos del historial
12	3	Sistema que indique al recolector cuales recipientes están listos para ser recolectados.
13	3	Sistema que alerte al usuario si sobrepasa cierto nivel de peso
14	3	Sistema que sea escalable
15	3	Sistema que transmita información
16	4	Sistema con capacidad de tarar cuando se realiza la recolección.

3.2.6. Etapa 2: Determinación de métricas y especificaciones

3.2.6.1. Elaboración de lista de métricas

Luego de haber establecido una lista de necesidades, se procede a establecer una lista de métricas las cuales permitirán medir el aporte de este proyecto en las necesidades del cliente. En la tabla 3.3 se observan las métricas con su respectiva necesidad.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

Tabla 3.3: Métricas y necesidades a las que corresponde. Fuente: Elaboración propia

# métrica	# necesidad	Métrica	Importancia	Unidades
1.1	1,2	Carga que soporta el sistema	4	kg
1.2	1,2	Factor de seguridad	4	FS
1.3	1,2	Porcentaje de error máximo entre masas medidas en sistema y masa medidas en instrumento calibrado	4	%
2	3,4	Porcentaje de error entre valor almacenado y valor mostrado	5	%
3	5,6,7	El sistema muestra cantidad en interfaz gráfica	3	Binaria
4	6	Porcentaje de error entre suma de cada cantidad ingresada y cantidad total mostrada	3	%
5	7	Porcentaje de valores monetarios correctos comparado con el valor calculado manualmente	3	%
6.1	8	Largo	4	cm
6.2	8	Ancho	4	cm
7	9,14	Costo total del sistema	5	\$
8	10	Grado de protección	3	Categoría
9	11	Descarga datos	3	Binaria
10	12,13	Porcentaje de alertas de recolección correctas	3	%
11	15	Rango de transmisión de datos	3	m
12	16	El sistema se tara	4	Binaria

Para el caso de las cargas que soporta el sistema, según el código de trabajo [4] la carga máxima que debe levantar una persona es entre 15kg y 20kg, por ello se establece como valor ideal pesar cargas desde 0 hasta 20kg, y valor marginal pesar cargas de 0 a 15kg. Pesando 15kg como máximo se puede asegurar que el sistema alertará en caso de exceder el peso permitido.

Con respecto a las dimensiones del sistema al encontrarse en una estación y depen-

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

der del tamaño del basurero, las dimensiones de largo y ancho deben ser mayores a 30cmx30cm pero no deben exceder los 60cmx60cm para no interferir con los recipientes aledaños de la estación.

Con respecto a la protección de partes en [5] que son productos comerciales similares a los deseados, los grados de protección que se utilizan van desde IP43 a IP65. Por lo anterior se utilizan estos valores como valores marginales e ideales.

Luego de establecer las métricas de productos similares o a partir de normas, se realizan acercamientos con el cliente para establecer los valores ideales y marginales de las métricas faltantes que son más específicas de la solución (ver tabla 3.4). Algunas de estas métricas están muy relacionadas a los indicadores que permiten verificar si el proyecto cumple con los requerimientos necesarios.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

Tabla 3.4: Métricas valores marginales e ideales. Fuente: Elaboración propia

# métrica	Métrica	Impor- tancia	Unidades	Valor marginal	Valor ideal
1.1	Carga que soporta el sistema	4	kg	0 a 15	0 a 20
1.2	Factor de seguridad	4	FS	>2.5	>3
1.3	Porcentaje de error máximo entre masas medidas en sistema y masas medidas en instrumento calibrado.	4	%	<5	<3
2	Porcentaje de error entre valor almacenado y valor mostrado	5	%	$10 < e < 20$	<10
3	El sistema muestra cantidad en interfaz gráfica	3	Binaria	Sí	Sí
4	Porcentaje de error entre suma de cada cantidad ingresada y cantidad total mostrada	3	%	$10 < e < 20$	<10
5	Porcentaje de valores monetarios correctos comparado con el valor calculado manualmente	3	%	>90	100
6.1	Largo	4	cm	$35 < \text{Largo} < 55$	$30 < \text{Largo} < 35$
6.2	Ancho	4	cm	$35 < \text{Ancho} < 55$	$30 < \text{Ancho} < 35$
7	Costo total del sistema	5	\$	350\$	300\$
8	Grado de protección	3	Categoría	IP43	IP65
9	Descarga datos	3	Binaria	Sí	Sí
10	Porcentaje de alertas de recolección correctas	3	%	90 % correctas	100 % correctas
11	Rango de transmisión de datos	3	m	Min 20	Min 35
12	El sistema se tara	4	Binaria	Sí	Sí

3.2.7. Etapa 3: Descomposición funcional del problema

3.2.7.1. Entradas y Salidas

Una vez establecidas las especificaciones del proyecto se procede a establecer las entradas y salidas del sistema deseado. La definición de entradas y salidas se puede observar en la figura 3.2, donde se establece la energía con signo de interrogación debido

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

a que la energía puede ser ingresada de una fuente externa o almacenada en una fuente interna. Además, se necesita un dispositivo capaz de convertir la información de la masa en un dato leíble y por ello se establecen los sensores como entrada. En el caso de la entrada de material se refiere al material reciclaje que pesa el sistema.

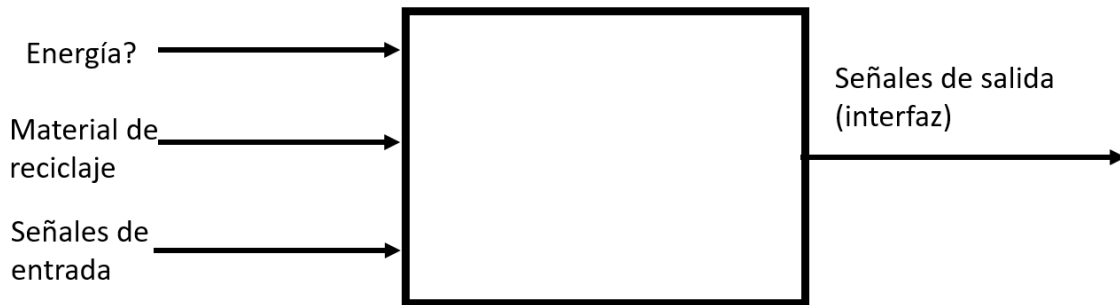


Figura 3.2: Entradas y Salidas del sistema. Fuente: Elaboración propia..

3.2.7.2. Definición de subsistemas

En la figura 3.3 se observa la descomposición funcional del sistema deseado, cada uno de las subfunciones se ataca con diferentes conceptos. Esta descomposición funcional permite generar mayor innovación en nuestro producto.

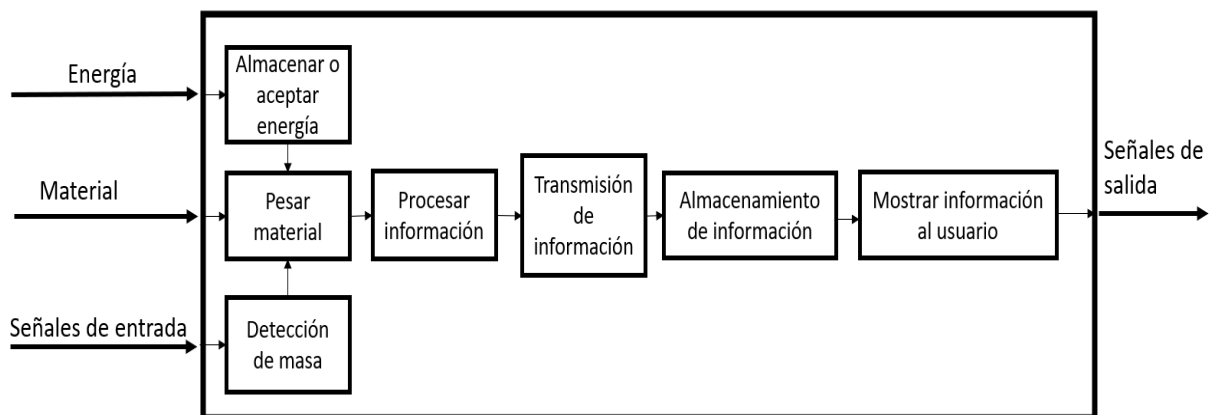


Figura 3.3: Descomposición funcional del problema. Fuente: Elaboración propia..

- **Almacenar o aceptar energía:** Esta subfunción se define debido a la necesidad

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

de una fuente de energía ya sea externa o interna.

- **Detección de masa:** Esta subfunción se define debido a que la información debe ser actualizada cada cierto tiempo y para ello se necesita una señal de entrada.
- **Medir el volumen de llenado:** Está subfunción se define debido a que las personas deben revisar constantemente si está lleno el recipiente por lo que es necesario medir el volumen de llenado.
- **Pesar material:** Esta subfunción se define debido a la necesidad de pesar el material ingresado y el material total que almacena el basurero.
- **Procesar información:** Esta subfunción se establece debido a que luego de haber medido la masa del material se debe enviar la información y realizar el cálculo de kg a su valor monetario.
- **Transmisión de datos:** Esta función es necesaria debido a que se necesita una manera para realizar la comunicación entre el procesado de información y el almacenamiento.
- **Almacenamiento de información:** Luego de obtener la información de los kg y los valores monetarios se deben guardar y por ello se debe tener la capacidad de almacenamiento de información.
- **Mostrar información al usuario:** Esta subfunción se establece porque se debe mostrar la información al usuario de alguna forma según las necesidades expuestas por el cliente. Además para el análisis de datos se necesita una herramienta que permita la visualización de patrones o tendencias para mejorar las rutas de recolección.

3.2.8. Etapa 4: Generación de conceptos

Una vez obtenidas las subfunciones del sistema, se procede a buscar conceptos para solucionar cada una de ellas. Esta búsqueda se realiza en patentes, documentación de bases de datos de ingeniería como la IEEE y búsqueda interna con la ayuda de herramientas como lluvia de ideas. Los conceptos obtenidos se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Conceptos encontrados en búsqueda interna y externa. Fuente: Elaboración propia.

Almacenar o aceptar energía	Detección de masa	Pesar material	Procesar información	Trasmisión de información	Almacenamiento de información	Mostrar información al usuario
Baterías litio	Sensor ultrasónico	Celda de carga con galgas	Microprocesador	Wi fi	Bases de datos	Aplicación móvil
Baterías alcalinas	Manual, indicada por el usuario	Elongación Resortes con VA	Microcontrolador	Ethernet	Archivo de texto con usb	Aplicación de escritorio
Baterías plomo acido	Visión artificial	Por contrapeso	Computadora portátil	GSM	Archivo Excel con usb	Interfaz basada en internet
Conexión directa a la red eléctrica	Celda de carga	Dinamómetro	PLC	Bluetooth		
Paneles solares		Celda neumática		Zigbee		
		Celda hidráulica				

Una vez realizada la búsqueda externa e interna, se analiza que ciertos conceptos se pueden seleccionar antes o se pueden abordar de manera individual y así realizar la combinación con las subfunciones más importantes. Para el caso de la subfunción de almacenar y aceptar energía esta se abordará de manera detallada en la sección de propuesta de diseño cuando se tenga una visión más amplia de los componentes a utilizar. Además, se define que el concepto para detectar masa conlleva complejidad elevada ya que un sensor ultrasónico podría dar anomalías por la naturaleza irregular de los materiales de un recipiente de residuos, un sistema de visión artificial conlleva un costo elevado para el presupuesto que se maneja y las celdas de carga son muy sensibles para detectar valores de presencia o ausencia. Por lo anterior se decide que la subfunción de detección de masa para actualizar la información se realice de manera

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

automática cada cierto tiempo y que el sistema esté constantemente midiendo el peso. El cliente aprobó la decisión debido a que por su parte las prioridades del proyecto son pesar material, procesar información, transmitir información, almacenar información y mostrar información.

3.2.8.1. Combinación de conceptos

- **Concepto A:** Se propone que para pesar el material se utilicen resortes con un sistema de visión artificial, las imágenes generadas son procesadas con un microprocesador para posteriormente enviar la información a través de Ethernet a un archivo de texto el cual almacena la información. Además el análisis y visualización de los datos generado se realiza con una interfaz basada en internet.

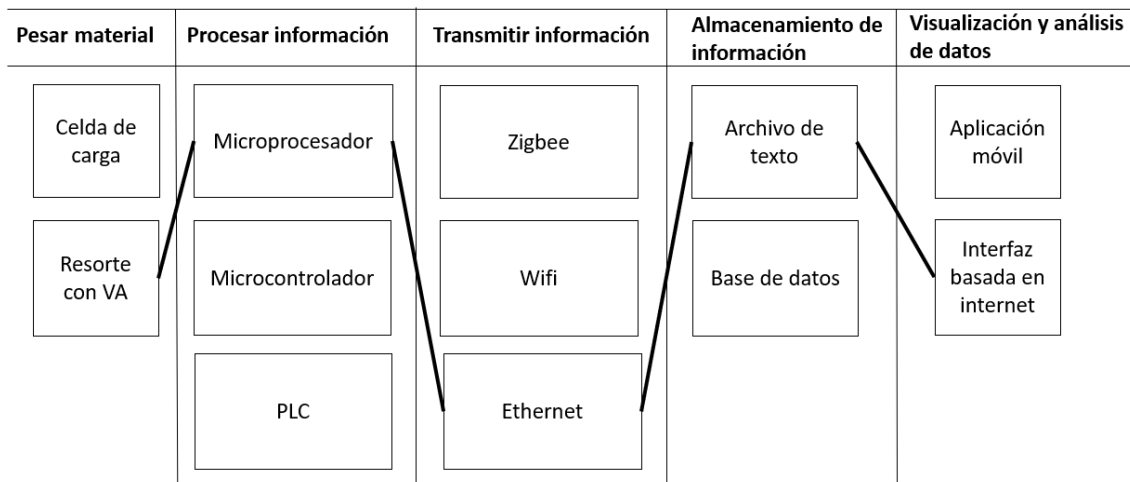


Figura 3.4: Concepto A. Fuente: Elaboración propia.

- **Concepto B:** Este concepto utiliza resortes con visión artificial para pesar el material y un microprocesador es el encargado de traducir la información para posteriormente enviarla con un protocolo de comunicación Wifi a una base de datos la cual está conectada a una aplicación móvil que muestra los datos para el análisis.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

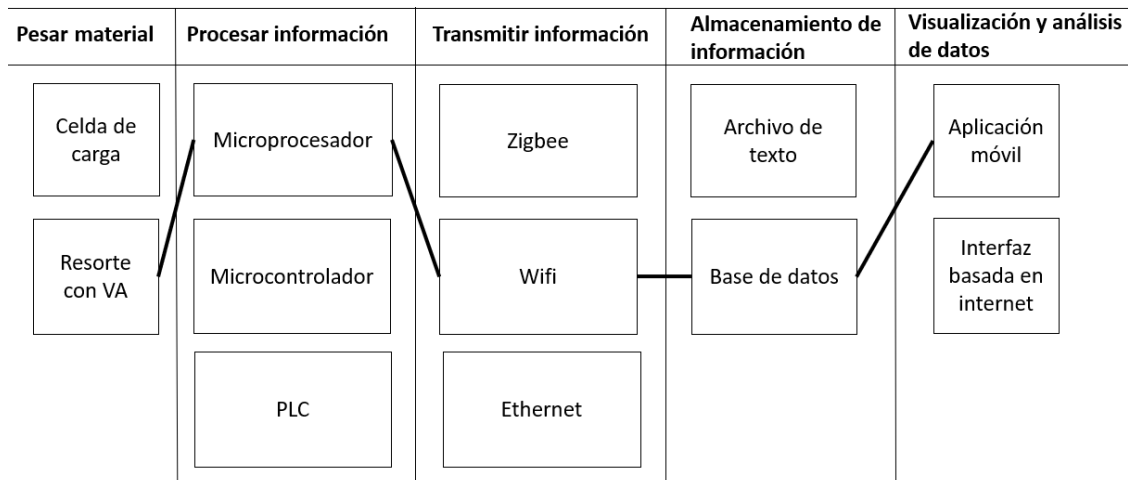


Figura 3.5: Concepto B.Fuente: Elaboración propia.

- Concepto C:** El concepto utiliza resortes para pesar material y los datos son traducidos con un microprocesador para que se transmitan a través de una red Zigbee a una base de datos y estos se muestren en una aplicación móvil.

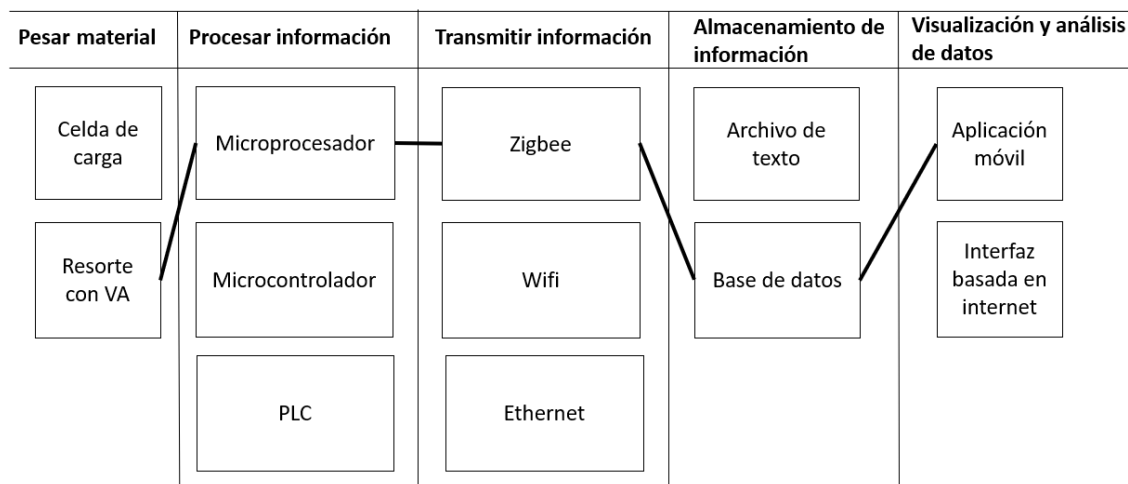


Figura 3.6: Concepto C.Fuente: Elaboración propia.

- Concepto D:** Se propone utilizar resortes y un microprocesador para que se realice y traduzca el peso del material a valores digitales. Estos valores son enviados a través de Ethernet a una base de datos que está conectada a un interfaz web.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

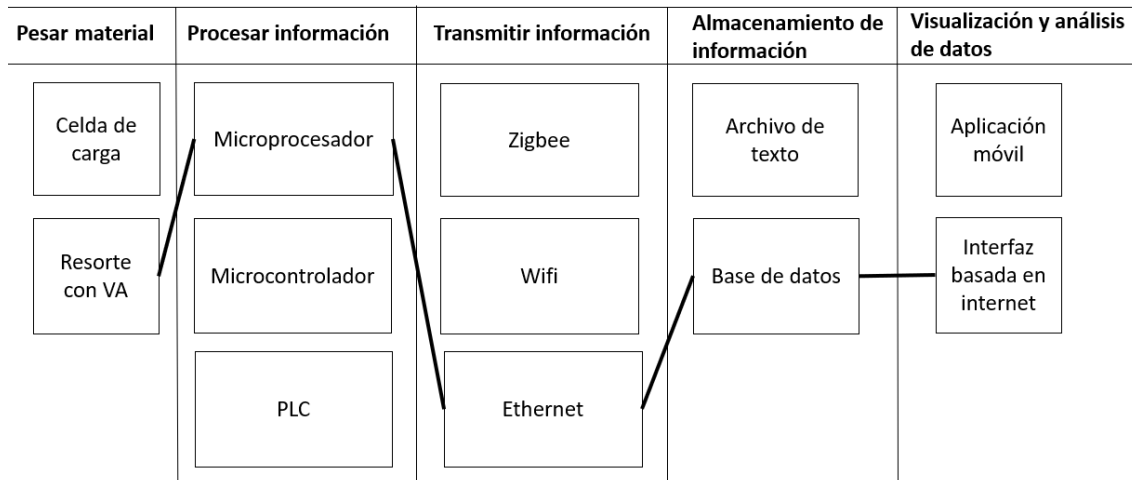


Figura 3.7: Concepto D.Fuente: Elaboración propia.

- Concepto E:** Para el concepto E se propone utilizar celdas de carga para pesar material y estas conectadas a un PLC para procesar la información. Los datos son enviados por medio de Ethernet a una base de datos conectada a una aplicación móvil para que se realice el análisis de datos.

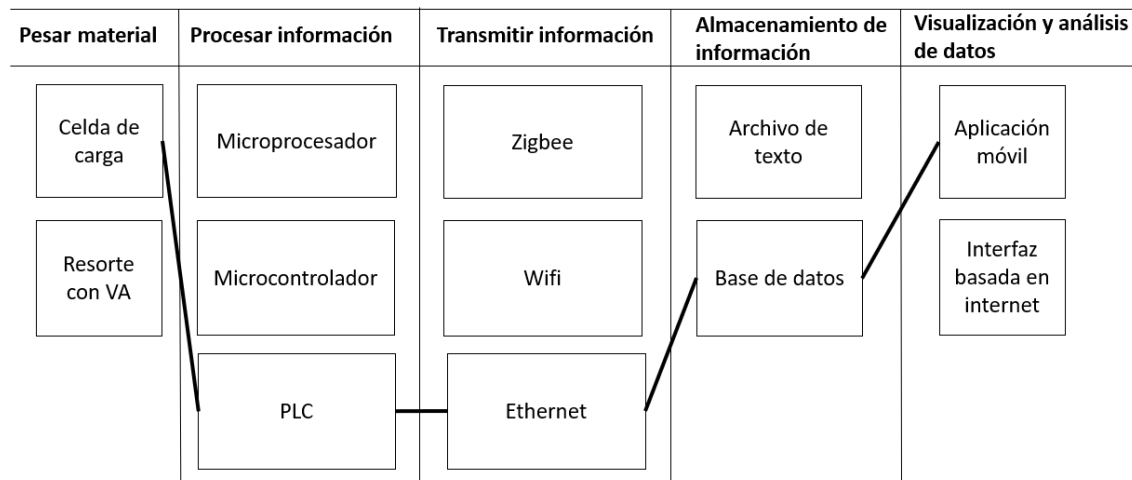


Figura 3.8: Concepto E.Fuente: Elaboración propia.

- Concepto F:** Para este concepto se propone el uso de celdas de carga conectadas a un microcontrolador que por medio de Wifi transmite la información a una base de datos la cual se conecta a una interfaz web para mostrar la información al usuario.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

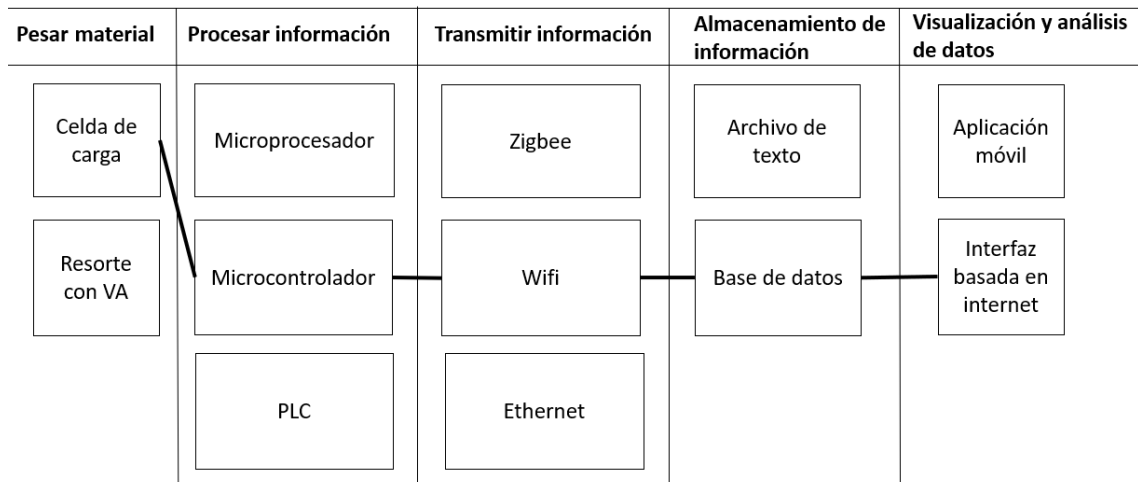


Figura 3.9: Concepto F.Fuente: Elaboración propia.

- Concepto G:** Este concepto utiliza celdas de carga y un microprocesador para realizar las lecturas de peso del material, los datos son enviados con Ethernet a un archivo de texto el cual se conecta a una aplicación móvil para realizar el análisis de los datos.

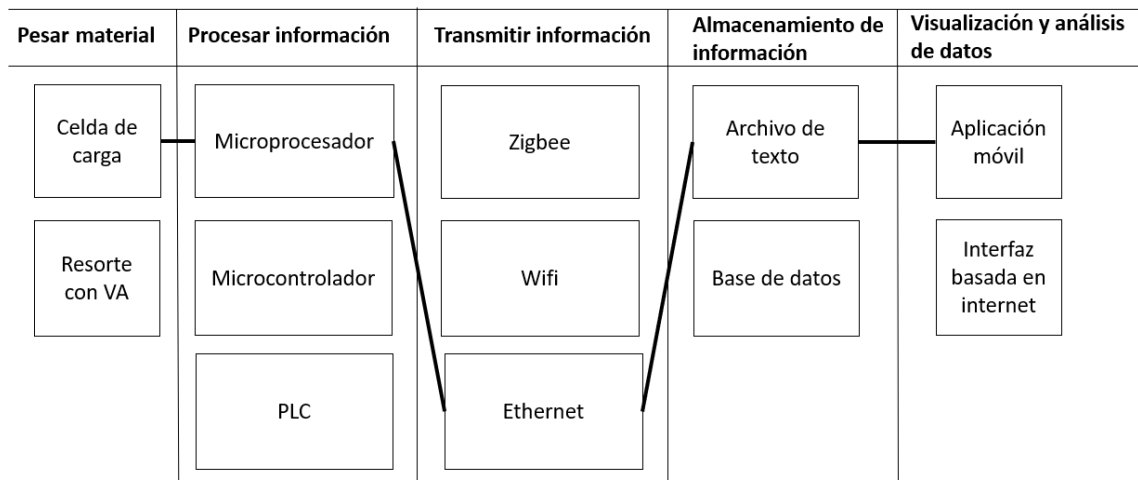


Figura 3.10: Concepto G.Fuente: Elaboración propia.

- Concepto H:** Para el concepto H se utiliza un celda de carga para pesar el material y con un microcontrolador se realiza la traducción de peso a valores digitales que puedan ser enviados por medio de Zigbee a un archivo de texto para que con una aplicación móvil se lean los datos y de visualicen.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

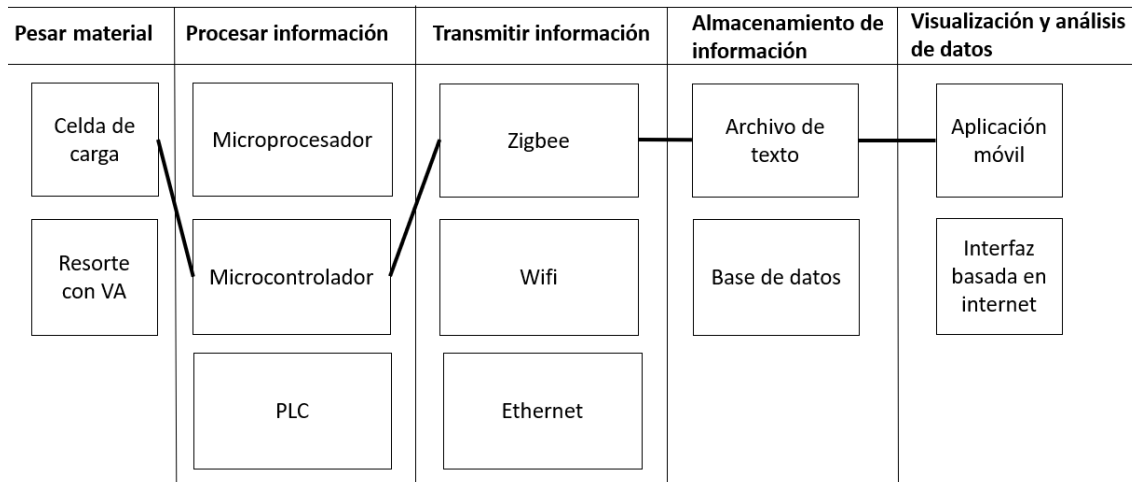


Figura 3.11: Concepto H. Fuente: Elaboración propia.

3.2.9. Etapa 5: Selección de concepto

A continuación, se muestran los criterios de selección que se utilizan para evaluar los conceptos, cabe recalcar que estos criterios están estrechamente relacionados con las necesidades expuestas por el cliente:

Información descargable y almacenable: Se refiere a la facilidad de descargar la información y guardar la información. También, esta relacionado a la seguridad de almacenamiento.

Escalabilidad: Se refiere a que en este proyecto se está realizando para un basurero, pero en caso de quererlo realizar en una cantidad mayor de basureros qué tan fácil de implementar sería.

Costo: Se refiere al costo total del producto.

Interfaz amigable: Se refiere a la facilidad de lectura de información y de que tan interactivo sea el concepto visualmente.

Rango de pesos y precisión: Se refiere a la cantidad de pesos que podría medir el sistema y la precisión, en el sentido de que tan directa es la medición del material.

Rango de transmisión de datos: Se refiere a el alcance que tiene el sistema de enviar los datos recolectados.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

Disponibilidad: Se refiere a que tan disponible están los materiales dentro de Intel, sin embargo, no es prioritario que se encuentren todos los materiales en Intel y por ello se le asigna una importancia de 10 % a este criterio.

Una vez establecidos los criterios de selección, se procede a realizar un filtrado de conceptos para eliminar los conceptos menos prometedores. En este caso se utilizó como referencia el concepto D, para las calificaciones se utiliza un - si es peor que la referencia y un + si es mejor que la referencia. Para casos donde el criterio sea igual que la referencia se califica como 0 Los resultados se pueden observar en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Filtrado de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Concepto							
	A	B	C	D(REF)	E	F	G	H
Información descargable y almacenable	-	0	0	0	0	0	-	-
Escalabilidad	0	0	0	0	-	+	+	+
Costo	0	0	+	0	-	0	+	+
Interfaz amigable	0	-	-	0	-	+	0	0
Rango de pesos y precisión	0	0	0	0	+	+	+	+
Rango de transmisión de datos	0	+	+	0	0	+	0	+
Disponibilidad	0	0	0	0	-	+	+	+
Suma +	0	1	2	0	1	5	4	5
Suma 0	6	5	4	7	2	2	2	1
Suma -	1	1	1	0	4	0	1	1
Evaluación neta	-1	0	1	0	-3	5	3	4
Lugar	6	5	4	5	7	1	3	2
Continuar	No	No	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí

Luego de haber realizado un filtrado de conceptos se realiza la evaluación de los conceptos más prometedores. Los resultados se pueden observar en la tabla 3.7 donde se establece como concepto ganador el concepto F. Cabe resaltar que la selección de se realiza en esta sección es una guía para realizar la selección detallada de cada componente o sistema en la sección de propuesta de diseño.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

Tabla 3.7: Selección de conceptos. Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Peso	CC		CF		CG		CH(REF)	
		C	E	C	E	C	E	C	E
Información descargable y almacenable	15 %	4	0.6	4	0.6	3	0.45	3	0.45
Escalabilidad	10 %	1	0.1	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Costo	25 %	1	0.25	3	0.75	2	0.5	3	0.75
Interfaz amigable	15 %	3	0.45	4	0.6	3	0.45	3	0.45
Rango de pesos y precisión	15 %	1	0.15	3	0.45	3	0.45	3	0.45
Rango de transmisión de datos	15 %	3	0.45	4	0.6	2	0.3	3	0.45
Disponibilidad	5 %	2	0.1	3	0.15	2	0.1	3	0.15
Suma			2.1		3.45		2.55		3
Lugar		4		1		3		2	
¿Desarrollar?		No		Sí		No		No	

3.2.10. Propuesta de concepto de solución

- **Pesar material:** Celda de carga.
- **Procesar información:** Microcontrolador.
- **Transmisión de de información:** Wifi.
- **Almacenamiento de información:** Base de datos.
- **Mostrar información:** Interfaz basada en internet.

3.2.11. Etapa 6: Pruebas de concepto y validación

Las pruebas de validación se realizan con el objetivo de evaluar si el sistema es realizable y cumple con los requerimientos deseados. Los tipos de pruebas que se realizan con las siguientes:

- **Estructural:** Consiste en verificar que las estructuras que están bajo esfuerzo soporten las cargas usuales de trabajo. Al final de esta prueba se debe verifica que el factor de seguridad es mayor a 2,5 y por ende se soportan cargas de 15kg o menos.

3.2. Desglose de actividades por objetivo específico

- **Calibración:** Consiste en verificar que la estrategia de calibración cumple con los requerimientos del rango de pesos medible.
- **Repetibilidad de medición:** Se pesa una carga varias veces para comprobar que el peso obtenido es consistente a lo largo de varios usos. Además en esta prueba se mide el error de medición para verificar que se cumple con los requerimientos.
- **Pruebas de tarado y alerta:** Consiste en probar el botón de tarado y su respuesta varias veces, además se verifica que se alerte cuando los valores son negativos y el sistema necesita tararse.
- **Pruebas de análisis de datos:** Esta prueba está alineada a verificar el funcionamiento del sistema de almacenamiento y visualización. Se verifica que los errores de los valores son correctos.
- **Pruebas de que datos generados son funcionales:** En esta prueba se busca verificar que los datos recolectados son útiles para futuros algoritmos de optimización.
- **Análisis económico:** Se comprueba que el sistema cumple con los requerimientos de costo y además se analizan sus beneficios a largo plazo.

Capítulo 4: Propuesta de diseño

En esta sección se presentan las características de la solución descritas detalladamente. Se divide en 3 grandes secciones: el diseño mecánico, el diseño electrónico y el diseño de software e interfaz para visualizar los datos.

4.1. Diseño electrónico

En cuanto al diseño electrónico, se empieza por la selección de los sensores. La selección de sensores se realiza primero debido a que uno de los objetivos más grandes del sistema es pesar material. Luego de seleccionar los sensores y con el conocimiento de señales que se deben leer, se selecciona el microcontrolador.

Para las celdas de carga, como se mencionó en el marco teórico de este documento, existen de muchos tipos. Para este diseño no se tomará en cuenta celdas de tipo neumático o hidráulico por la compleja infraestructura que conllevaría tener una fuente de estas energías en cada basurero.

Los tipos de celdas de carga que se utilizan en este sistema son de tipo electrónicas con galgas extensiométricas. Estas celdas de carga permiten lecturas tanto de fuerza como de aceleraciones, desplazamientos, aceleración o incluso torques aplicados. Hay que tener en cuenta que existen galgas extensiométricas de tipo metálicas y de tipo semiconductoras, estas últimas suele tener precios muy elevados porque los cambios de deformación se dan en un rango más alto, mientras que las metálicas suele ser más baratas pero los cambios de deformación son muy pequeños.

4.1.1. Celdas de carga

Para la celda de carga, las especificaciones requeridas es que pese de 0 a 20 kg y que la protección IP sea de al menos de un grado IP43 según la norma IEC 60529. La celdas de cargas se pueden utilizar en diferentes configuraciones las cuales permiten aumentar su capacidad de carga. La histéresis es la desviación máxima de la curva característica en el descenso y el ascenso de la carga del sensor. La repetibilidad es la mayor desviación que se obtiene al realizar tres medidas en condiciones idénticas. Estas características son sumamente importantes para que los valores monetarios del material no se vean afectados. A continuación se muestran diferentes tipos de celdas de carga con galgas extensiométricas.

Tabla 4.1: Celdas de carga selección. Elaboración propia

Características	Tipo de celda de carga			
	Tipo S [39]	Tipo botón 1 [38]	Tipo barra [37]	Tipo botón 2 [40]
Protección	IP66	IP65	IP65	IP66
Precio	60\$	10\$	10\$	60\$
Histéresis y repetibilidad (%FS)	± 0.03	± 0.03	± 0.05	± 0.1
Sobrecarga (%FS)	150	150	120	120
Rango de temperatura($^{\circ}$ C)	-10 a +45	0 a +50	-10 a +55	-20 a +65
Rango de pesos kg	0-50	0-50	0-10	0-500

Como se puede observar en la tabla 4.1, todas la celdas comerciales cumplen con la clasificación IP65 la cual es ideal según las especificaciones. La celda de tipo botón 2 presenta un valor alto de histéresis y repetibilidad respecto a los otros tipos. La celda de tipo barra no cumple con el rango de pesos que se desean medir por lo tanto se descarta. Por último, las diferencias entre la celda tipo S y la celda de tipo botón 1 son mínimas, sin embargo el precio de la tipo S es elevado comparado con la de tipo botón 1, la de tipo S posee un rango de temperatura mayor pero en esta solución las temperaturas de operación no están por debajo de los 0° C por lo tanto es innecesario. Por lo anterior se selecciona la celda de tipo botón 1(figura 4.1).

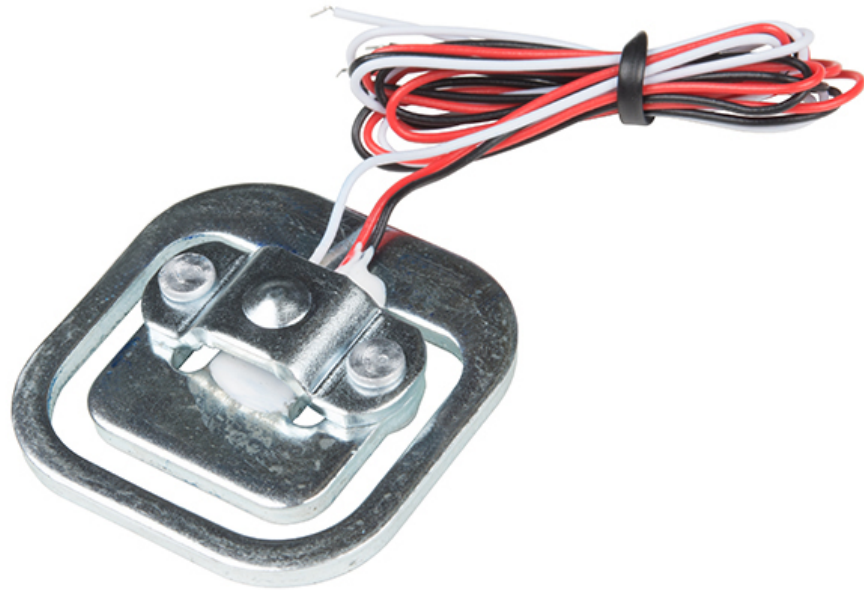


Figura 4.1: Celda de carga seleccionada 50kg. [38]

La celda de carga seleccionada está compuesta por 2 resistencias(figura 4.2) internas las cuales varían si están en compresión o tensión.

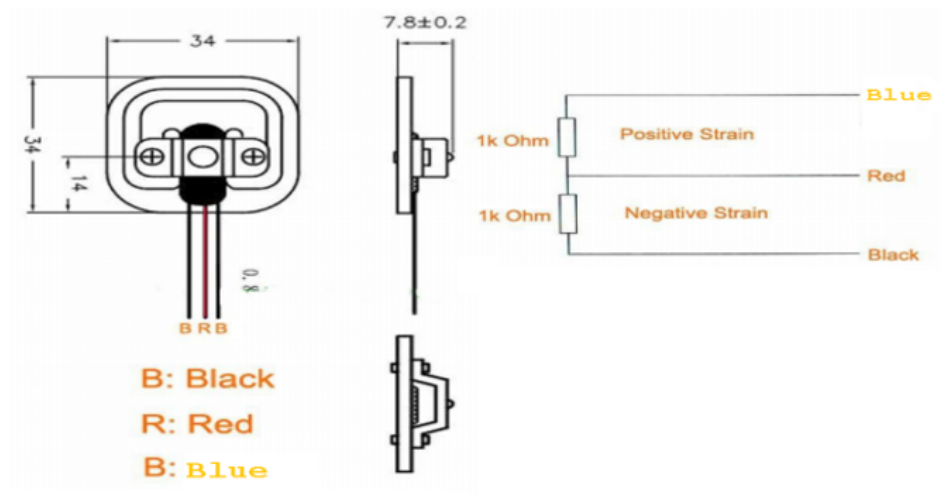


Figura 4.2: Dimensiones de celda de carga seleccionada. [38]

Para unificar y aumentar el valor de salida de la celda de carga se utiliza un puente de Wheatstone(figura 4.3) de manera que cuando el puente esté equilibrado la tensión

de salida sea 0. Al variar las resistencias de la celda de carga por tensión o compresión el puente traduce los cambios a una tensión de salida V_0 . El sistema de celdas de carga al final necesita 2 cables para la alimentación y 2 cables de salida para medir el cambio de deformación. Cabe resaltar que la configuración utilizada en este proyecto es de 4 celdas de carga por su baja sensibilidad respecto a una configuración de 2 o 1 celda de carga. Además, uno de los criterios para la selección de la celda de carga fue el precio el cual es bajo para poder usar una configuración de 4 celdas de carga.

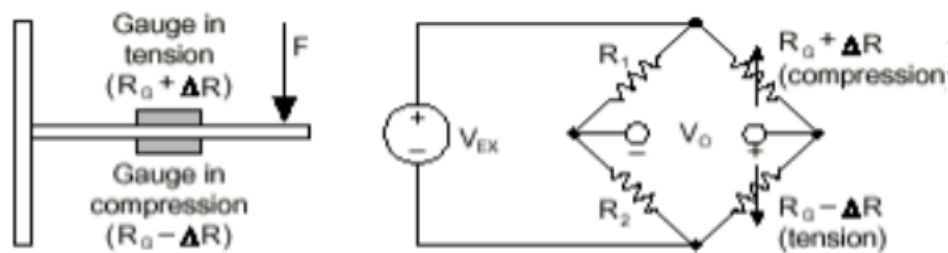


Figura 4.3: Principio de funcionamiento. [38]

4.1.2. Amplificador de señal

Posterior a seleccionar la celda de carga, por la naturaleza de la señal analógica existen problemas de inestabilidad de los valores así como cambios muy pequeños en la salida porque los cambios en deformación del material de la celda son de ordenes muy cercanos a 0. Para ello se utiliza un amplificador de ganancia que permita percibir la variabilidad de la señal. Con respecto a la sensibilidad para contrarrestarla se utiliza un convertidor analógico a digital el cual permite más estabilidad y menos ruido ante perturbaciones pequeñas. Luego de comparar (tabla 4.2) entre 2 amplificadores de señal comerciales se selecciona el amplificador HX711 el cual es de bajo costo y tiene un convertidor de 24bits integrado, mientras que el amplificador INA125P no lo posee y tiene un valor mayor al HX711. Además para el funcionamiento del INA125P se necesita una fuente de tensión negativa lo que conllevaría a necesitar de un convertidor

para obtener los valores necesarios.

Tabla 4.2: Selección de amplificador. Fuente: Elaboración propia

Características	INA125P	HX711
Precio	14.95	10.95
Disponible	Sí	Sí
Adc integrado	No	Sí
Necesaria fuente de tensión negativa	Sí	No

4.1.3. Microcontrolador

En el mercado se pueden encontrar gran cantidad de placas de desarrollo las cuales permiten un mayor nivel de integración de los proyecto. en el caso de IoT se utilizan placas con módulos inalámbricos integrados o se le añaden a placas existentes. Algunas placas que se pueden encontrar y sus características se muestran en la tabla 4.3

Tabla 4.3: Selección de placa de desarrollo. Fuente: Elaboración propia.

Características	Modelo de placa de desarrollo			
	STM32F205	Arduino UNO+ ESP8266	MKR1000	Teensy 3.5
Pines de entrada y salida digitales	12	14	8	62
Memoria flash	128KB	32kb	256 KB	500Kb
Comunicación Wifi	Con módulo	Con módulo	Sí	Con módulo
Velocidad	Alta	Media	Alta	Alta

Tabla 4.4: Matriz de selección microcontrolador. Fuente: Elaboración propia.

Características	Peso	STM32F205		Arduino UNO+ESP8202		MKR1000		Teensy 3.5	
		C	E	C	E	C	E	C	E
Entradas y salidas	20%	3	0.6	4	0.8	2	0.4	5	1
Memoria	15%	4	0.6	2	0.3	4	0.6	5	0.75
Disponibilidad	25%	2	0.5	5	1.25	3	0.75	2	0.5
Wifi	15%	2	0.3	4	0.6	5	0.75	2	0.3
Precio	25%	1	0.25	3	0.75	4	1	1	0.25
Suma			2.25		3.7		3.5		2.8
Lugar			4		1		2		3

En la tabla 4.4 se muestra que los que el microcontrolador ganador de acuerdo a

los criterios de entradas y salidas, memoria, disponibilidad y wifi es utilizar un arduino uno y un módulo ESP8202 esto debido a que a pesar de que el MKR1000 tiene la conexión wifi integrada este posee un alto precio y las entradas son muy pocas lo que no permitiría escalar la solución a más recipientes. En este proyecto las entradas que se necesitan son las 2 de la salida de ADC, y 2 para botones de tarado y envío de datos. Con el arduino uno, se posee un cantidad de entradas y salidas media comparado con las entradas y salidas del tenzsy que es un microncontrolador muy potente pero se desperdiciaría muchas de funciones. Además, en el centro de innovación se promueve el uso de placas nativas de arduino en sus proyecto. Cabe resaltar que cada una de las placas evaluadas pueden ser programadas en el IDLE de arduino para alinear la selección con los principios de centro de innovación.

4.2. Diseño mecánico

Para esta sección se tiene en cuenta varios factores como dimensiones, material, cantidad de celdas de carga.

4.2.1. Geometría de diseño mecánico

Considerando que los basureros tienen un tamaño de 30cmx30cm y que hay una limitación de que el sistema no puede estar dentro del recipiente porque estos utilizan una bolsa la cual es retirada cuando se hace la recolección, el sistema deseado debe estar ubicado en la parte externa del recipiente. Además, las celdas de carga se aprovechan de las gravedad para que funcionen adecuadamente y por ello se necesita que el recipiente se sitúe encima de una plataforma para realizar la medición. La geometría seleccionada es de forma cuadrada para aprovechar al máximo el área de contacto de la base del basurero. A continuación, se realiza una selección del material para la plataforma y sus soportes:

4.2.2. Materiales

En cuanto a la selección de material, los materiales más usados por las balanzas de tipo industrial son de aluminio y acero inoxidable como se muestra en [5][6]. Además, comercialmente se pueden encontrar balanzas de diferentes polímeros como acrílicas o realizadas con impresión 3d. En la tabla 4.5 se muestra las características de los materiales mencionados.

Tabla 4.5: Tabla de selección de materiales. Fuente: Elaboración propia

Características	Acrílico	PLA	Aluminio	Acero inoxidable (AISI 304)
Resiste corrosión	Sí	Sí	No en capa externa	Sí
Esfuerzo de flexión máximo	65Mpa	80Mpa	167Mpa	276Mpa
Precio	Bajo	Medio	Medio	Alto
Forma comercial	Por lo general en láminas	Manufactura aditiva.	En lámina o tubo	En lámina o tubo

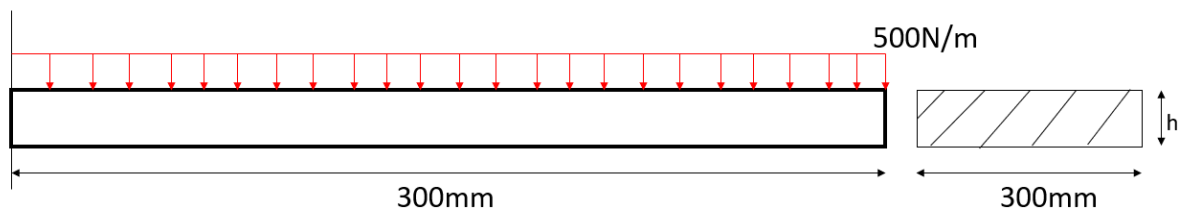
Por lo general las balanzas con celdas de carga posee una plataforma donde se coloca el peso que se desea medir. Para la plataforma de este sistema se realiza la siguiente matriz de selección donde se le da más peso a si el material resistía la corrosión por el ambiente donde se encuentran los recipientes de basura, en el cual pueden haber derrames de líquido o se puede desarrollar un entorno húmedo. Además, criterios como el precio se le asigna un alto peso por la limitante de presupuesto, y al esfuerzo máximo de flexión porque la plataforma es una de las estructuras principales del sistema donde se soporta toda la carga.

Tabla 4.6: Selección de material para plataforma. Fuente: Elaboración propia.

Características	Peso	Acrílico		PLA		Aluminio		Acero inoxidable (AISI 304)	
		C	E	C	E	C	E	C	E
Resiste corrosión	30 %	4	1.2	4	1.2	3	0.9	5	1.5
Esfuerzo de flexión máximo	25 %	2	0.5	1	0.25	3	0.75	3	0.75
Precio	25 %	5	1.25	4	1	3	0.75	2	0.5
Facilidad de manufactura	20 %	4	0.8	5	1	3	0.6	2	0.4
Suma			3.75		3.45		3		3.15
Lugar			1		2		4		3

Luego de realizar la selección se obtiene que el material con el que se desarrolla la plataforma es acrílico por la capacidad de resistir la corrosión y el precio principalmente. Además, al ser una plataforma y su geometría ser cuadrada, se facilita su manufactura porque en el centro de innovación se cuenta con cortadoras láser especiales para cortar acrílico.

Una vez seleccionado el material de la plataforma y sus dimensiones de 30x30 por el tamaño del basurero, se procede a definir el grosor de la plataforma. Para ello se simplifica el sistema a una viga empotrada con una carga distribuida a lo largo de toda la viga como se muestra en la figura 4.4. La carga se toma como distribuida porque toda la superficie esta en contacto con el recipiente y el valor seleccionado es equivalente a 150N de tal manera que si se desea simplificar el sistema a una carga puntual sea aproximado a multiplicar $15\text{kg} \cdot 9,81\text{kg/s}^2$, siendo conservadores.

**Figura 4.4:** Viga modelo. Fuente: Elaboración propia

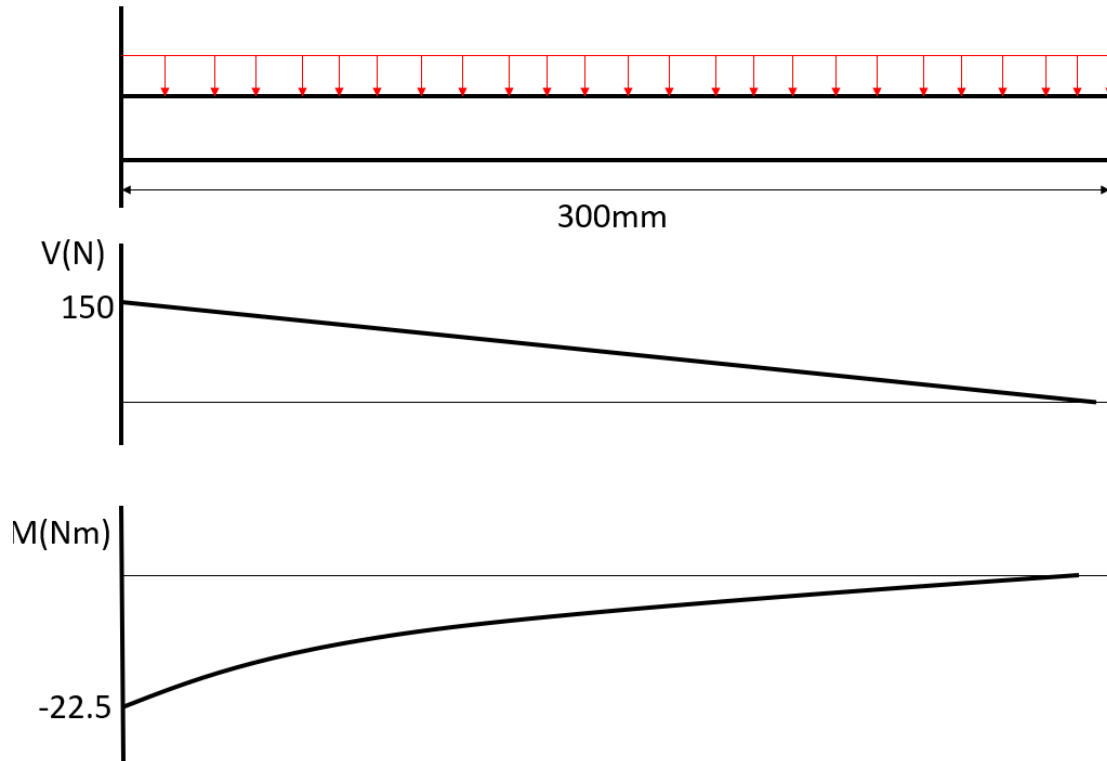


Figura 4.5: Diagramas de esfuerzo cortante y momento flector para el sistema.
Fuente: Elaboración propia

Con el valor de 150N se pueden encontrar los valores de M y V en el punto de empotramiento y así obtener los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector de la viga (figura 4.5). El momento flector máximo en la viga es de 22.5Nm y como se ha investigado en la tabla 4.5 el esfuerzo de flexión máximo es 65MPA(resistencia a la flexión). Aplicando lo expuesto en [43] es posible calcular la altura h mínima que debe tener la viga. Se toma la ecuación 4.1 donde σ_m representa el esfuerzo máximo del material, M_{max} representa el momento máximo ejercido sobre la viga y S representa el módulo de sección de la viga. El módulo para una viga rectangular está dado por la ecuación 4.2

$$\sigma_m = \frac{M_{max}}{S} \quad (4.1)$$

$$S = \frac{bh^2}{6} \quad (4.2)$$

Tomando b como un ancho de 300mm y M_{max} como 22,5Nm y σ_m como 65MPa se obtiene un h de 2.631mm. Para efectos comerciales las láminas que se encuentran son de 3mm y 6 mm las medidas más cercanas superiores a 2.631mm. Además dentro de las especificaciones del proyecto se establece un factor de seguridad mayor a 2.5, entonces, se selecciona un grosor de 6mm porque con 3mm se obtiene un factor de seguridad de 1.3 con el que no se cumpliría con los requerimientos. Con un grosor de 6mm se obtiene un factor de seguridad de 5.

Una vez seleccionadas las celdas de carga y el grosor de la plataforma se deben ubicar estas de tal manera que sean las que soportan las cargas y estén ubicadas de manera simétrica para que haya una adecuada lectura de peso como se muestra en la figura 4.6 y figura 4.7.

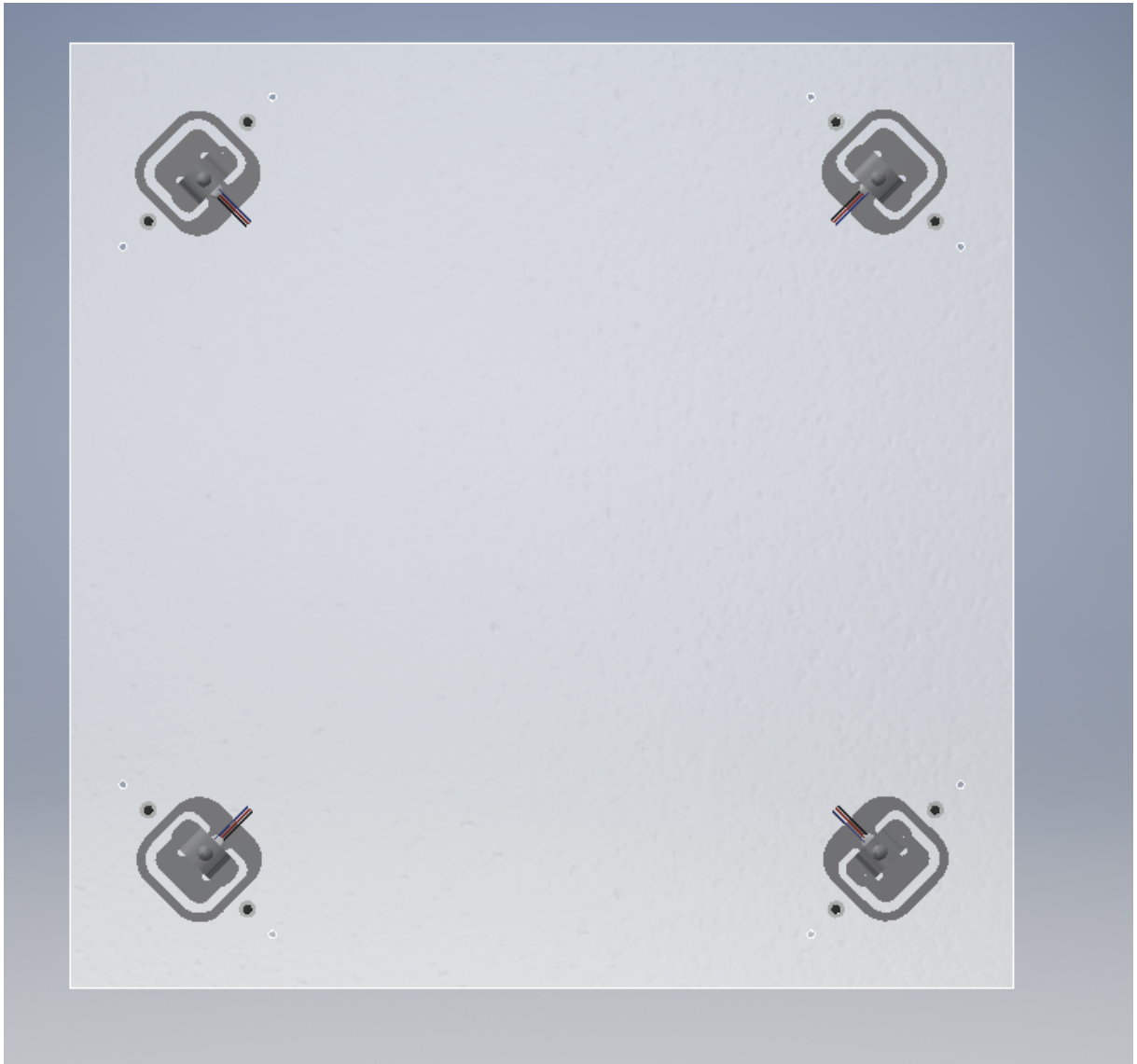


Figura 4.6: Vista superior de celdas de carga y plataforma. Fuente: Elaboración propia

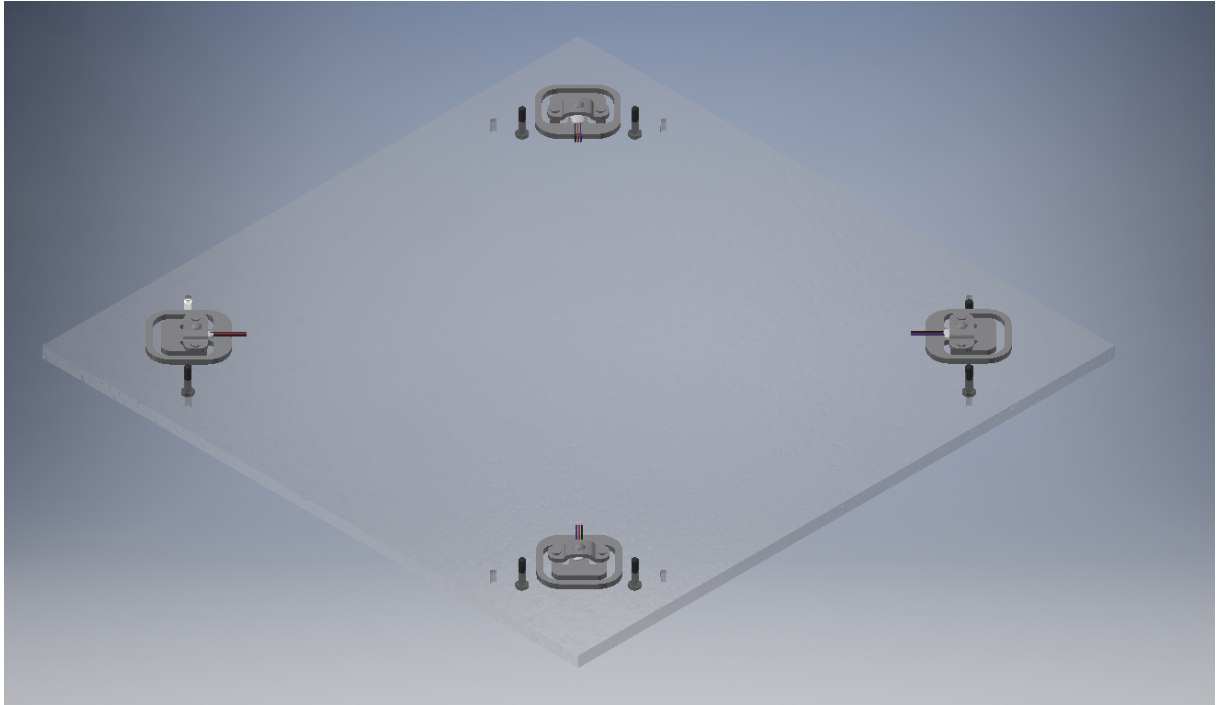


Figura 4.7: Vista isométrica de celdas de carga con plataforma. Fuente: Elaboración propia

Luego de haber ubicado las celdas de carga estas deben acoplarse a la plataforma y para ello se realizó un sistema de sujeción de tal manera que se amoldara a la forma de la celda. La matriz de selección de material para este sistema de sujeción se muestra en la tabla 4.7. Para esta matriz se le da más peso a criterios como precio y facilidad de manufactura por la forma de las celdas.

Tabla 4.7: Selección de material para acoples de celda con plataforma. Fuente: Elaboración propia.

Características	Peso	Acrílico		PLA		Aluminio		Acero inoxidable (AISI 304)	
		C	E	C	E	C	E	C	E
Resiste corrosión	25 %	4	1	4	1	3	0.75	4	1
Esfuerzo de flexión máximo	15 %	2	0.3	1	0.15	3	0.45	3	0.45
Precio	30 %	5	1.5	5	1.5	3	0.9	2	0.6
Facilidad de manufactura	30 %	4	1.2	5	1.5	3	0.9	2	0.6
Suma			4		4.15		3		2.65
Lugar			2		1		3		4

Como es posible observar, el material seleccionado fue PLA principalmente por la facilidad de crear formas complejas de manera sencilla. Una vez seleccionado los materiales se crean los sujetadores como se muestra en la figura 4.8. Por facilidad de mantenimiento estos fueron sujetos a la plataforma con tornillos M3.

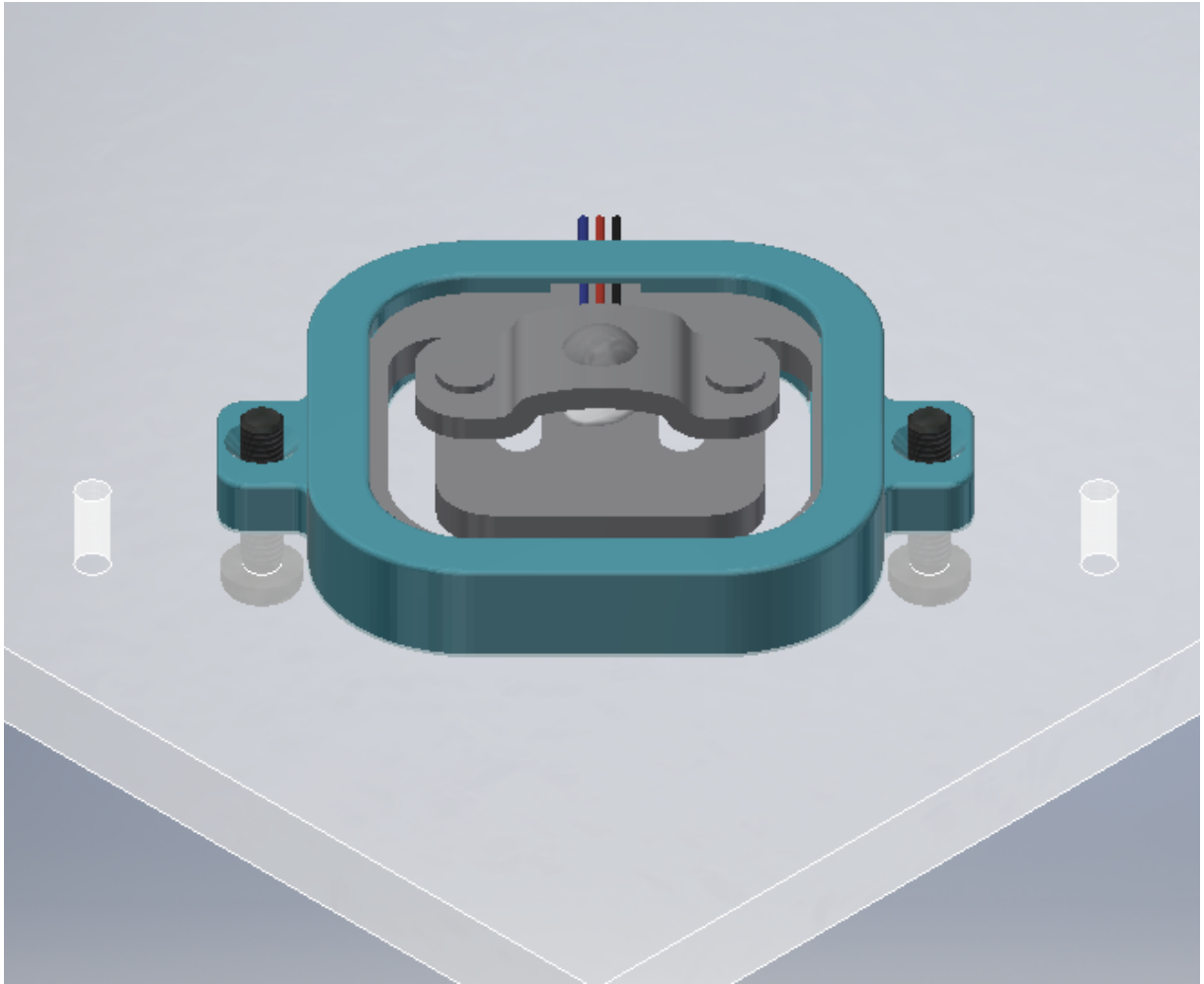


Figura 4.8: Acople celdas de carga. Fuente: Elaboración propia

Luego de ubicar las celdas de carga, estas deben conectarse al microcontrolador, sin embargo, para mayor robustez, orden y estética se elaboraron guías para unificar los cables. Esta estructura no soporta el peso del recipiente y debe acoplarse a la ubicación de las celdas de carga, por ello se realiza con PLA por su facilidad de manufactura para formas específicas. Además, la sujeción de las guías se realiza con tornillos M3 por si se daña una celda de carga tener fácil acceso para reemplazarla. (Ver figura 4.9)

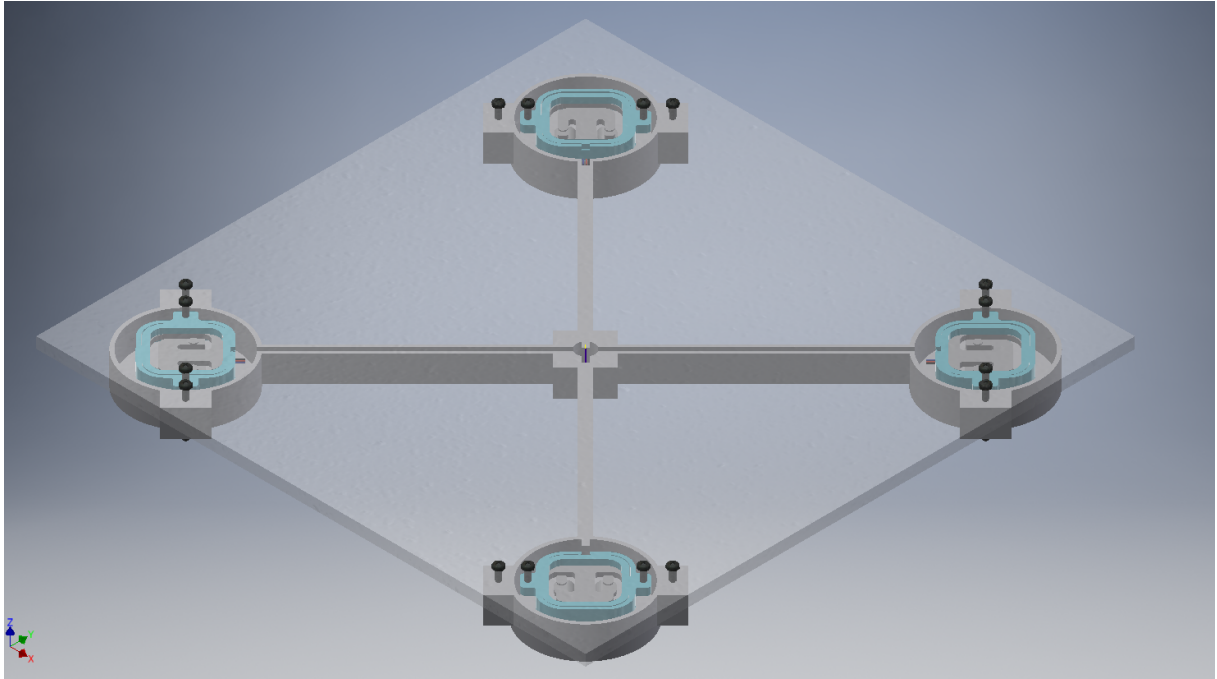


Figura 4.9: Balanza final con guía para cables. Fuente: Elaboración propia

4.3. Diseño de Software

Para la visualización y análisis de datos, como se ha mencionado en el capítulo 2 de marco teórico existen 2 principales herramientas las BI y las librerías de visualización de datos, esta últimas permiten una mayor personalización y combinación con otras herramientas del lenguaje de programación, mientras que las herramientas BI no se necesita un conocimiento técnico elevado pero la modificación de elementos es limitada. Por la escalabilidad del proyecto y la necesidad de utilizar los datos recolectados en un futuro para un análisis más profundo, se utiliza la librería de visualización plotly junto con el framework de Dash estos se desarrollan con el software python. Python es un lenguaje de programación fácil de usar tanto para principiantes como para expertos, además es altamente usado en la ciencia de datos [44] por la gran cantidad de documentación que se encuentra y su facilidad de integración de diferentes librerías. En esta sección primeramente se explica la estructura de la base de datos, luego el diseño de la

interfaz y sus funcionalidades.

4.3.1. Almacenamiento y conexión a base de datos

La base de datos utilizada es de tipo relacional por su alta flexibilidad y eficiencia como se mencionó en el capítulo 2. Los datos que se reciben por parte del sistema adquisición y medición son los siguientes:

- Id del basurero: corresponde a un valor fijo de cada recipiente.
- Tipo de material: Corresponde a un valor fijo de cada recipiente.
- Peso ingresada: Corresponde a la cantidad que ingresa cada usuario por lo tanto es un valor variable.

Otros datos importantes para el análisis son la hora y el día de la semana que se recibe la información. Como ya se ha mencionado las bases de datos de tipo SQL se organizan en filas y columnas, y para ingresar la información se debe realizar con una consulta y con credenciales específicos. Para este proyecto la base de datos administra todos los recipiente de basura y cada fila corresponde a ingreso de material. En la figura 4.10 se muestran ejemplos de ingresos en diferentes recipientes,

+ Options				
Garbagebin	Material	Weight	Date	Hour
Gb1	plastic	2	2021041	1000
Gb2	paper	3	2021041	1000
Gb3	glass	2	2021041	1000
Gb4	organic	3	2021041	1000
Gb5	metal	2	2021041	1000
Gb6	glass	3	2021041	1000
Gb1	plastic	1	2021042	1200

Figura 4.10: Almacenamiento de información base de datos. Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que la fecha y la hora son almacenadas en formatos usados por la empresa en aplicaciones similares. Para la conexión de la interfaz con la base de datos se utilizó el módulo de python `mysql.connector` el cual permite solicitar, ingresar o eliminar datos de la base utilizando el `username`, `password`, `hostname` y el nombre de la base de datos.

4.3.2. Módulo de visualización

El sistema de adquisición cuenta con un indicador de peso el cual tiene la función alertar cuando la balanza muestre datos negativos y por ende indicar al usuario que el sistema se debe tarar. Una vez tarado el sistema, se realiza el envío y actualización de datos cada 50 minutos debido a que la recolección actualmente se realiza cada 3 horas, entonces 50 minutos es un tiempo adecuado para que el personal actúe de manera proactiva. Luego de haber enviado la información a la base de datos esta es consultado por el sistema de visualización para notificar si la carga total del basurero sobrepasa los 10kg para prevenir que no se llegue al peso máximo de 15 kg recomendado según las normas de seguridad. En la figura 4.11 se muestra el flujo de funcionamiento del sistema de envío, almacenamiento y visualización.

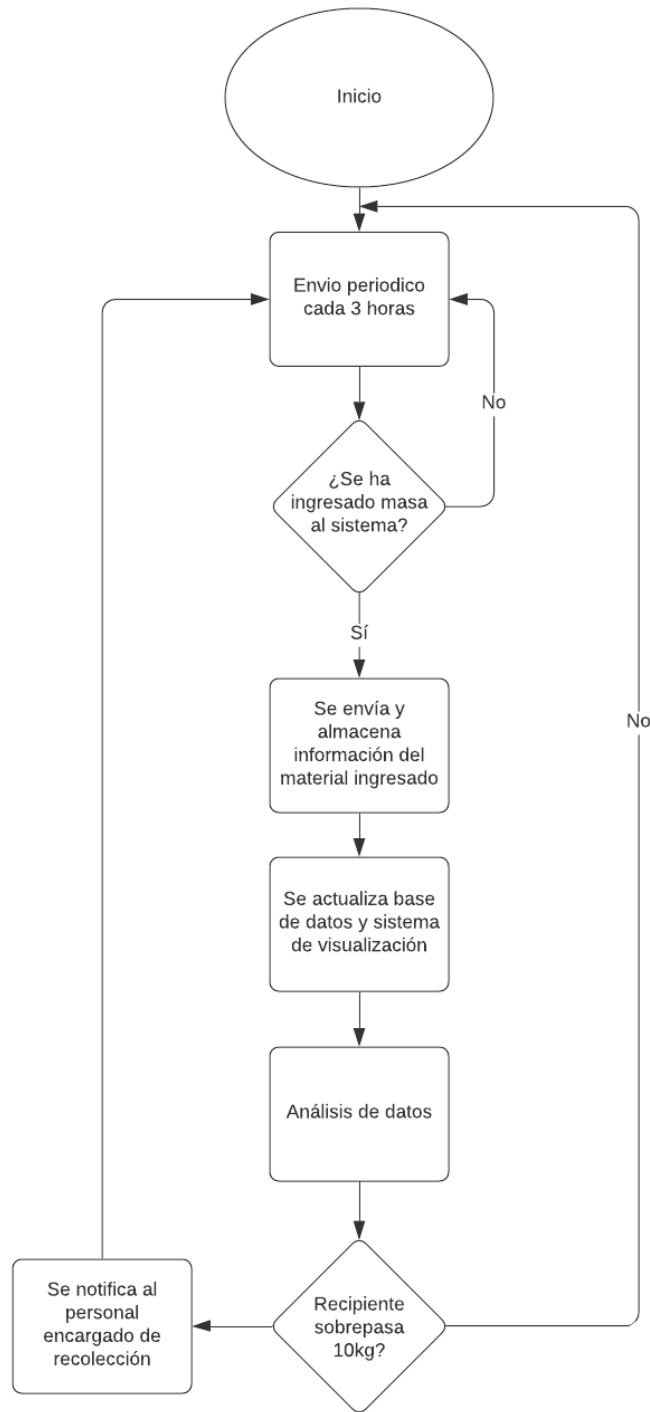


Figura 4.11: Diagrama de flujo del sistema de envío, almacenamiento y visualización. Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Diseño de indicador de peso

A pesar de que todo el procesamiento y visualización de datos se realizan en un servidor, el sistema tiene un indicador de peso local con diferentes funciones: proteger elementos, seleccionar material y tarar la balanza cuando se realiza la recolección. La persona que recolecta las bolsas es el encargado de configurar el material y tarar el sistema. En las balanzas comerciales el indicador se puede encontrar dentro de la balanza o con un cable aparte de ella, en este caso se decide ubicarlo aparte por el ambiente que se genera dentro del basurero y por la ergonomía para que el personal no deba agacharse para interactuar con el sistema. El material seleccionado para la protección del indicador es acrílico, ya que este es altamente usado en cuartos limpios y no genera residuos. En la figura 4.13 se muestra el indicador con el botón de tarar y el potenciómetro para seleccionar la configuración del material. Los botón utilizado en este proyecto es el mostrado en la figura 4.12



Figura 4.12: Botón de acero inoxidable. [46]

Otra funcionalidad es el acceso al puerto de programación del microcontrolador por si se dan actualizaciones en el futuro. La tapa trasera del indicador es sujeta con tornillos M3 para que sea fácilmente desmontable en caso de que se deba reemplazar un elemento; esta tapa también posee los agujeros para sujetar los dispositivos electrónicos e ingresar los cables provenientes de las celdas de carga. Las funcionalidades que utiliza el recolector están protegidas con una puerta giratoria para que un usuario común no

cambie la configuración.

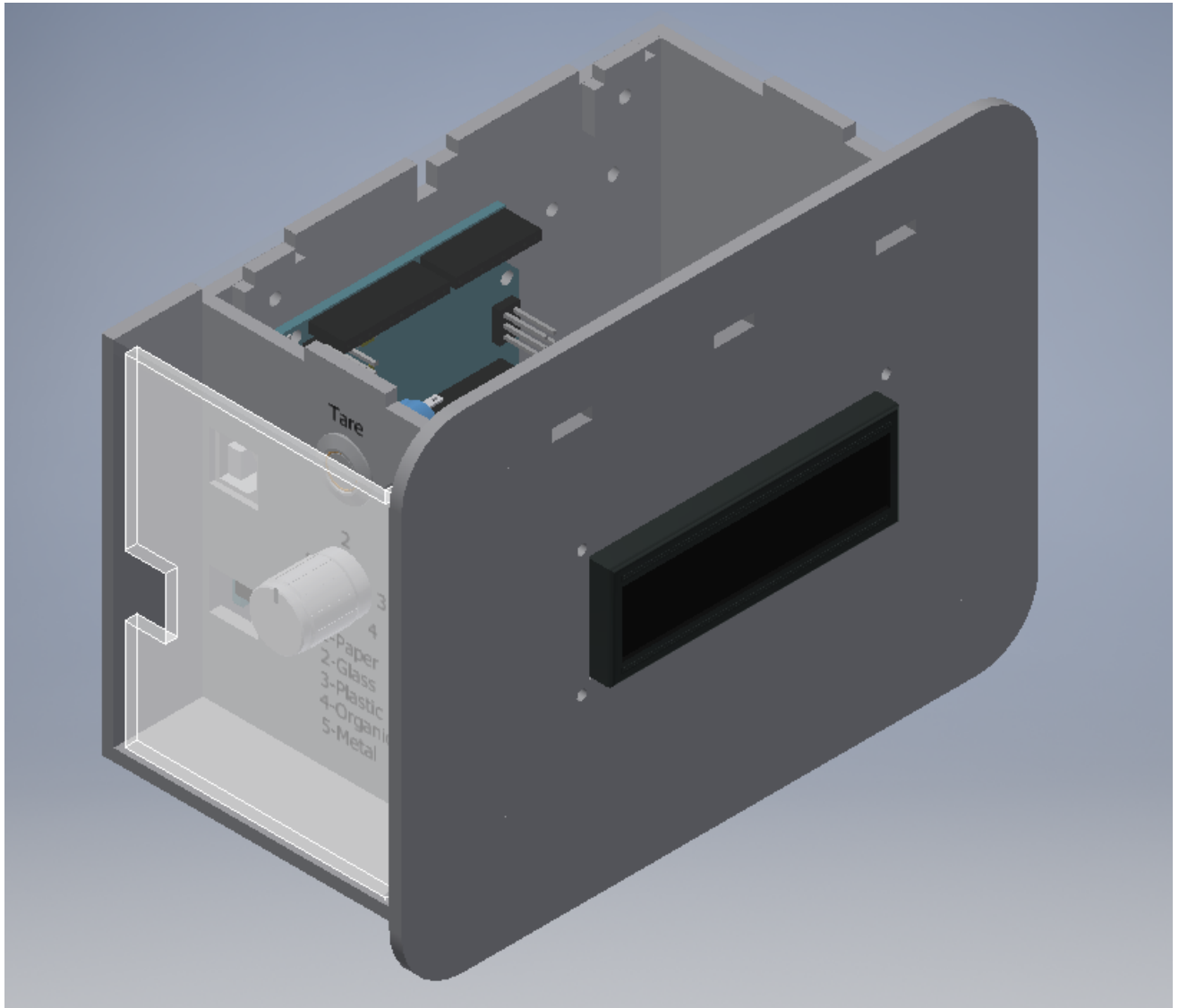


Figura 4.13: Diseño indicador final(tapa transparente para mejor visualización).

Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Fuente de alimentación

Existen muchas fuentes de energía entre ellas se puede encontrar eólica, solar, neumática, sin embargo, para estas se necesitaría un módulo de transformación a energía eléctrica y en la empresa no se cuenta con la infraestructura para poner una fuente de las energías mencionadas por cada estación de reciclaje. Por ello se decide utilizar

energía eléctrica ya que se cuenta con infraestructura a lo largo de toda la empresa. Se descarta el uso de baterías por la naturaleza del sistema de estar siempre conectado a la red y enviando información, además involucraría un costo de mantenimiento alto cada mes al estar reemplazando o recargando las baterías. Utilizando la formula de $P=VI$ se obtiene la potencia total del sistema. Se considera las opciones [47], [48], [49] que se muestran en la tabla 4.9 para la selección. Se descarta la opción 3 debido a que se sobredimensionaría y no se utilizaría todo el recurso disponible, la opción 1 y 2 son capaces de brindar la potencia necesaria, sin embargo, la opción 1 tiene un precio más bajo y tiene mayor capacidad de corriente. Por lo anterior, se selecciona la opción 1 para este proyecto.

Tabla 4.8: Corriente y potencia del sistema. Fuente: Elaboración propia

Componente	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia(W)
Pantalla LCD	5	0.001	0.005
Convertidor ADC	5	0.0016	0.008
Arduino uno	7	0.046	0.322
Potenciometro	5	0.0025	0.0125
Resistencia 1K boton	5	0.005	0.025
Módulo Wifi	3.3	0.0015	0.00495
Total		0.0576	0.37745

Tabla 4.9: Fuente de alimentación del circuito. Fuente: Elaboración propia

Carac.	Power Supply 1	Power Supply 2	Power Supply 3
Tension(V)	9	9	12
Corriente (A)	1	0.65	2
Potencia (W)	9	5.85	24
Precio(\$)	4.95	5.95	5.95

4.3.5. Funcionalidades de la interfaz

La interfaz tiene como objetivo detectar basureros que superen el límite de 10kg y ayudar en el mejoramiento de las estrategias de recolección a través de la visualización de tendencias en los datos recolectados. La página principal de la interfaz cuenta con tres pestañas de selección de página las cuales son el estado actual, un estado general en el tiempo y una página para mostrar los datos como son descargados de la base de datos. La página predeterminada muestra el estado actual del recipiente seleccionado en cuanto a peso como se muestra en la figura 4.14 y muestra como ha cambiado el peso total en las últimas 4 horas debido a que las rondas de recolección se realizan cada 3 horas aproximadamente. Las principales funcionalidades de la interfaz son las siguientes:

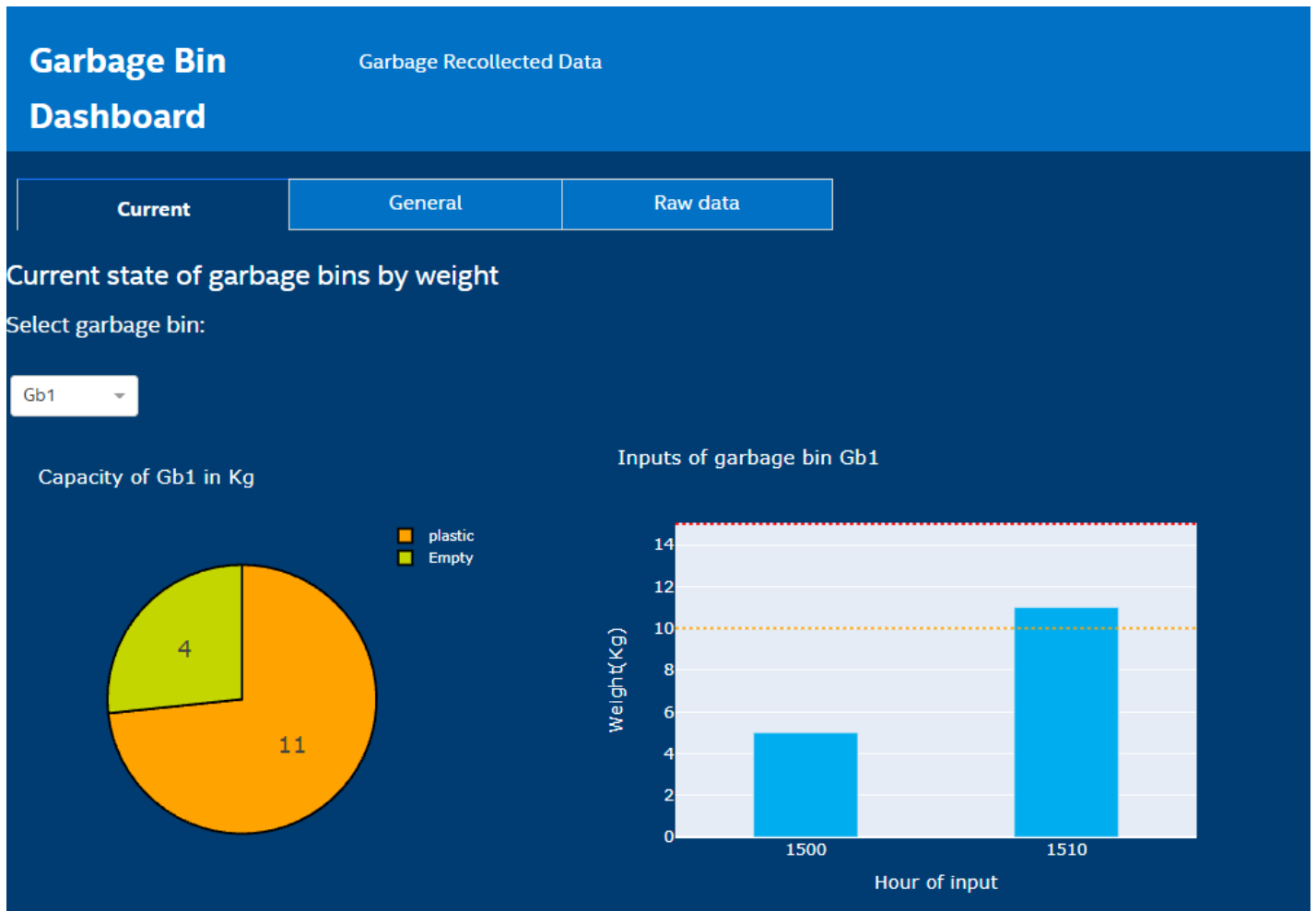


Figura 4.14: Pestaña de estado actual por basurero. Fuente: Elaboración propia

- Monitoreo cantidad de material en el tiempo por basurero:** En el tab de estado actual o current se muestra un resumen del total material recolectado en kg por día o por semana (figura 4.15). Se debe seleccionar el periodo de tiempo en el que se desea mostrar los datos, los días o semanas mostrados están en formato que utiliza la empresa, el cual está formado de la siguiente manera YYYYWWD donde Y corresponde al año, W corresponde a la semana del año (1-52) y D corresponde al día de la semana (1-7). Este gráfico permite detectar tendencias o picos de cantidad de material, por ejemplo en este caso se muestra que en las semanas mostradas los días viernes suele recolectarse más material.

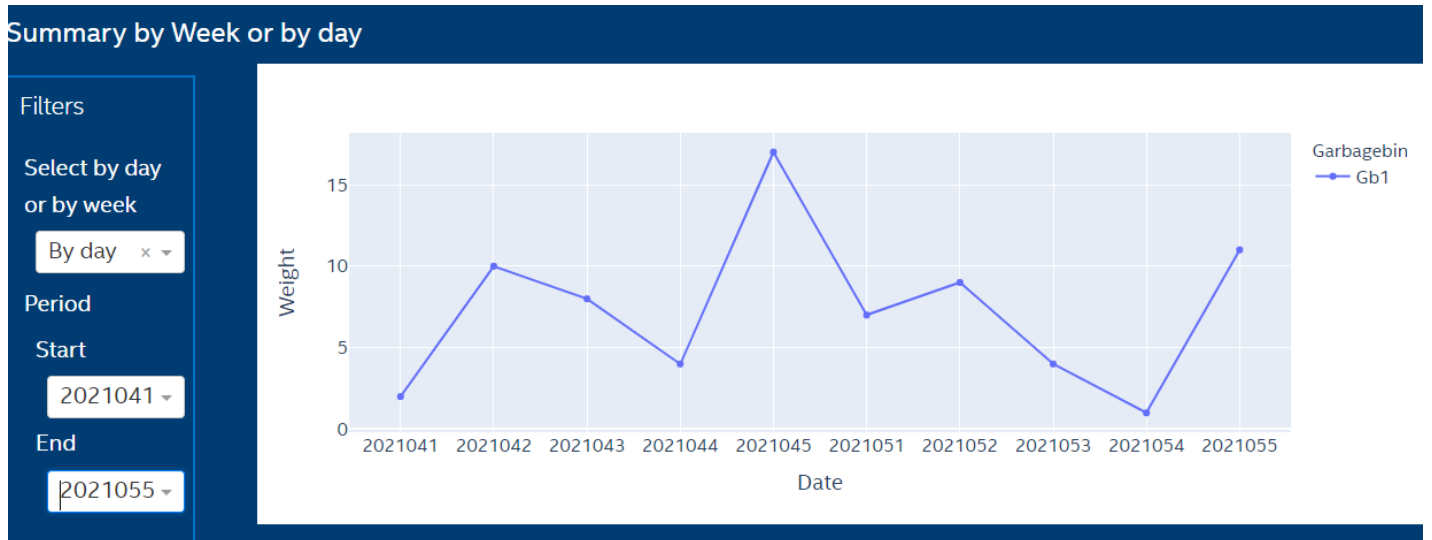


Figura 4.15: Resumen de la cantidad recolectada en un basurero específico a través del tiempo. Fuente: Elaboración propia

- Resumen de peso y valor monetario de todos los recipientes:** En la figura 4.16 se muestra la tabla resumen que tiene como objetivo indicar el estado actual de todos los basureros y principalmente indicar cuando estos sobrepasan los 10kg para prevenir que se exceda el límite de 15kg según las normas de seguridad ocupacional y por ende el personal no sufra lesiones. Otros datos importantes de esta tabla es el total de valor monetario actual de cada basurero. Cabe resaltar que cada material posee un valor monetario diferente el cual puede ser configurado por los administradores de la interfaz.

Summary table			
Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(¢)
Gb1	plastic	11	1100
Gb2	paper	16	320
Gb3	glass	4	280
Gb4	organic	7	0
Gb5	metal	4	3200
Gb6	glass	7	490

Figura 4.16: Tabla resumen de la cantidad de peso y valor monetario en cada basurero. Fuente: Elaboración propia

- **Estado actual general:** Al igual que la tabla antes explicada este gráfico muestra la cantidad actual de peso de cada recipiente e indica cuando se sobrepasan los 10kg de prevención. Un aspecto importante es que la interfaz está alojada en un servidor web por lo que el script está constantemente ejecutándose y por eso cada 3 horas se envía un correo electrónico para indicar cuales recipientes deben ser recolectados con mayor prioridad.

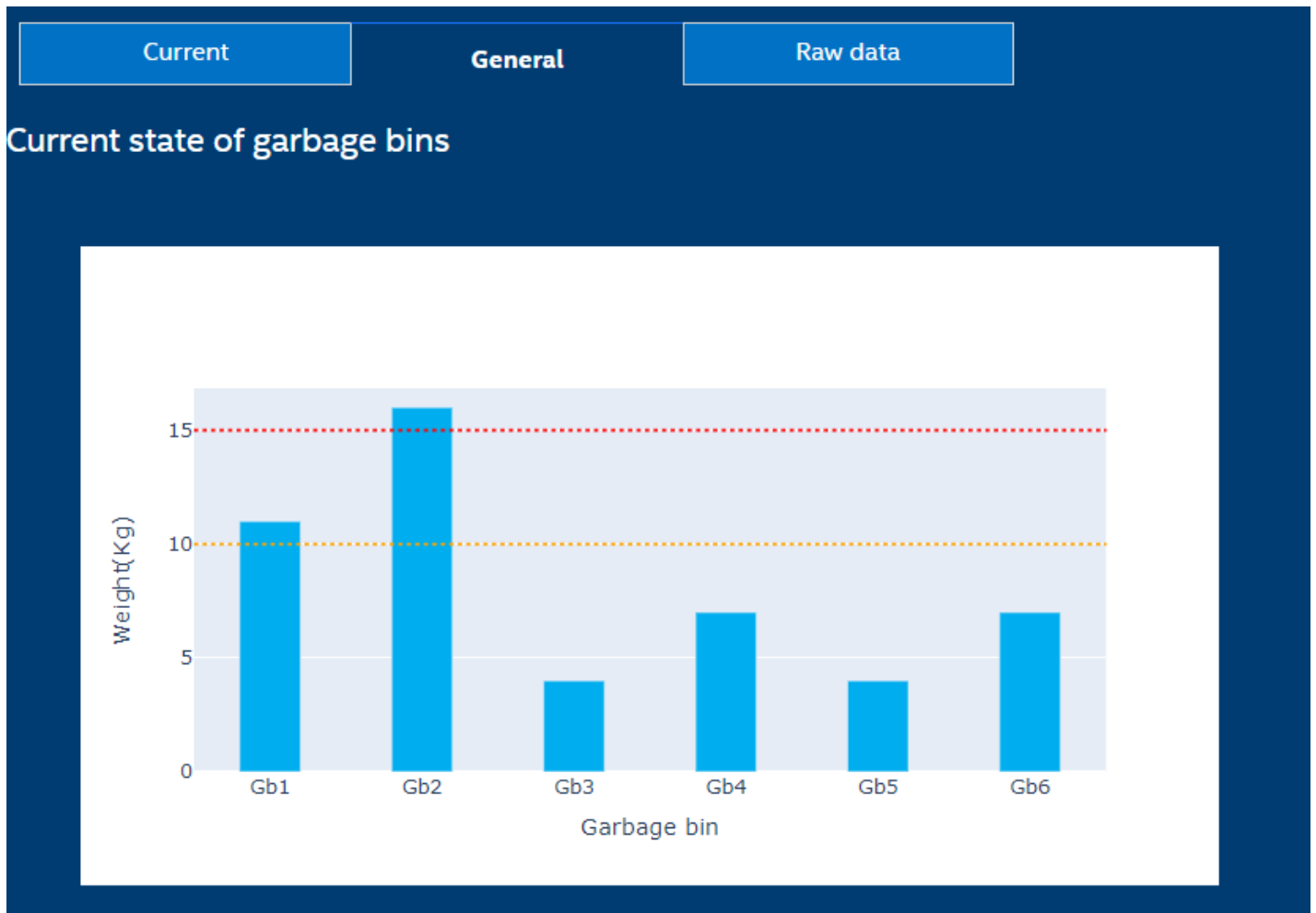


Figura 4.17: Estado actual de todos los basureros con límites para establecer prioridades de recolección. Fuente: Elaboración propia

- **Comparativa en el tiempo de recipientes:** Este gráfico tiene como objetivo mostrar tendencias entre basureros (figura 4.18) para dar prioridad a los que suelen llenarse más en momentos específicos, por ejemplo en el gráfico mostrado

se observa que los basureros 1 y 2 suelen llenarse más los viernes de las 2 semanas mostradas.

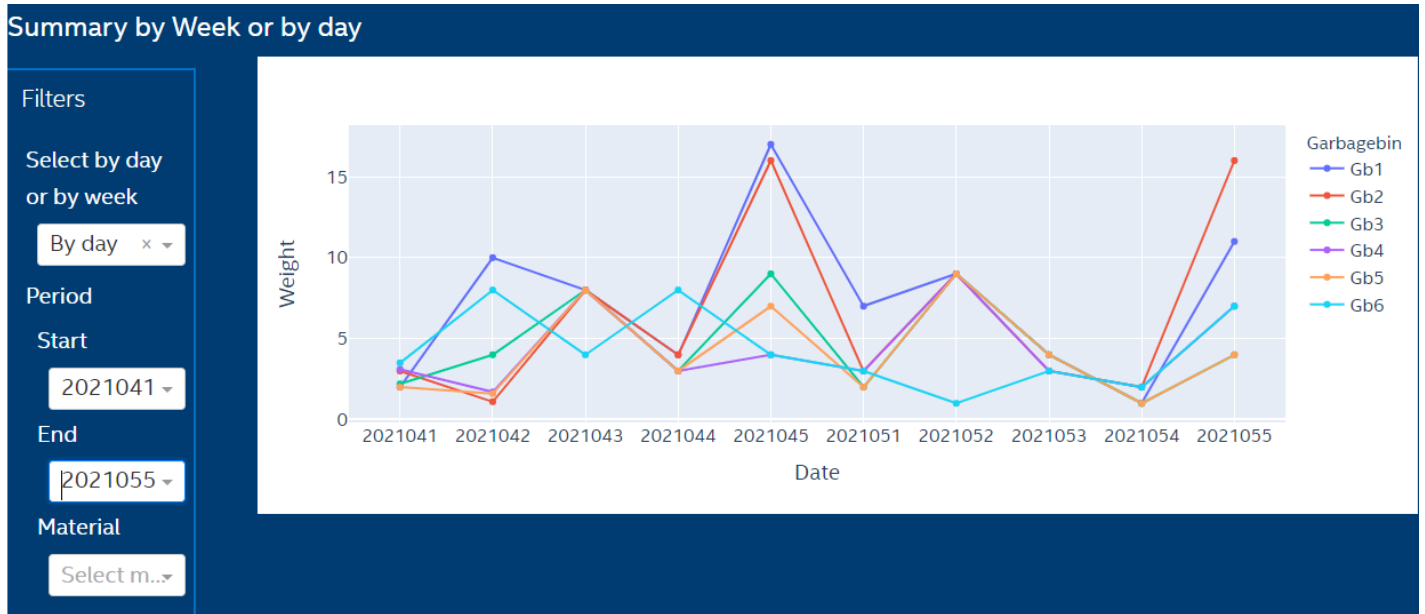


Figura 4.18: Resumen de cantidad material recolectada a través del tiempo de todos los basureros. Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que cada uno de estos gráficos su principal objetivo es el análisis de los datos en el tiempo ya sea días, horas, semanas para establecer prioridades y predicciones a partir del análisis de datos en un primer nivel. Sin embargo, se proyecta y espera que el análisis de datos se lleve a un segundo nivel en un futuro. Por lo anterior se creó la página donde se muestran todos los datos sin procesar (figura 4.19) y estos pueden ser descargados en un formato csv con el botón que se muestra en la figura 4.20 por si se desea realizar un análisis en otra herramienta o lenguaje de programación.

Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(₺)	Date	Hour	WW
Gb1	plastic	2	200	2021041	1000	202104
Gb2	paper	3	60	2021041	1000	202104
Gb3	glass	2.2	154	2021041	1000	202104
Gb4	organic	3.1	0	2021041	1000	202104
Gb5	metal	2	1600	2021041	1000	202104
Gb6	glass	3.5	245	2021041	1000	202104
Gb1	plastic	10	1000	2021042	1200	202104
Gb2	paper	1.1	22	2021042	1200	202104
Gb3	glass	4	280	2021042	1200	202104

Figura 4.19: Visualización de datos de cada ingreso en los recipientes con su respectivo valor monetario. Fuente: Elaboración propia

Gb6	glass	2	140	2021054	1400	202105
Gb1	plastic	5	500	2021055	1500	202105
Gb1	plastic	6	600	2021055	1510	202105
Gb2	paper	7	140	2021055	1500	202105
Gb2	paper	9	180	2021055	1530	202105
Gb3	glass	4	280	2021055	1500	202105
Gb4	organic	7	0	2021055	1500	202105
Gb5	metal	4	3200	2021055	1500	202105
Gb6	glass	7	490	2021055	1500	202105

DOWNLOAD DATA

Figura 4.20: Visualización datos recolectados y botón para descargar en formato CSV. Fuente: Elaboración propia

Capítulo 5: Resultados y análisis

En esta sección se realizan las simulaciones y ejecuciones necesarias para validar el sistema. Entre ellas se realizan simulaciones mecánicas para el área bajo esfuerzo, pruebas de error de medición para obtener la exactitud y precisión del sistema, pruebas de envío, almacenamiento, notificación y visualización de los datos, y por último se realiza una validación para comprobar que los datos recolectados son funcionales para realizar análisis de predicción de la cantidad de material, con el objetivo de mejorar las estrategias recolección.

5.1. Simulación de plataforma

El análisis mecánico de la plataforma se realiza para comprobar que el sistema funciona ante diferentes entradas de carga. A pesar de que la carga por lo general está en el centro existe la posibilidad de que el recipiente se mueva o no quede en el lugar indicado. Por ello se realizan pruebas en las siguientes posiciones:

- **SD:** Superior derecha
- **SI:** Superior izquierda
- **ID:** Inferior derecha
- **II:** Inferior izquierda
- **Centro:** Centro de la plataforma

5.1. Simulación de plataforma

Otro aspecto importante es que los lugares donde se ubican las celdas de carga es donde se fijan las reacciones de la simulación. La fuerza que se utiliza es una fuerza de 200N que es aproximadamente la que generaría una masa de 20kg, esto permitiría verificar que en casos extremos donde no se recolecte el recipiente por largo tiempo el sistema mantenga su integridad y se tenga un margen para que el personal recolecte los residuos.

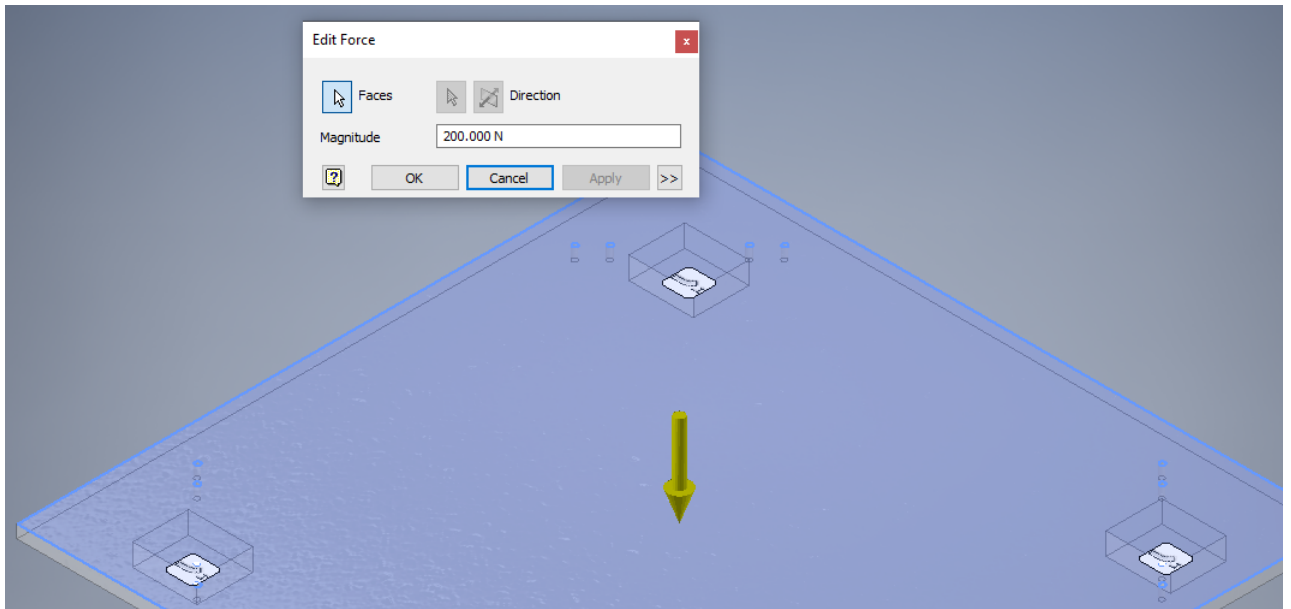


Figura 5.1: Parámetro magnitud de fuerza. Fuente: Elaboración propia

5.1. Simulación de plataforma

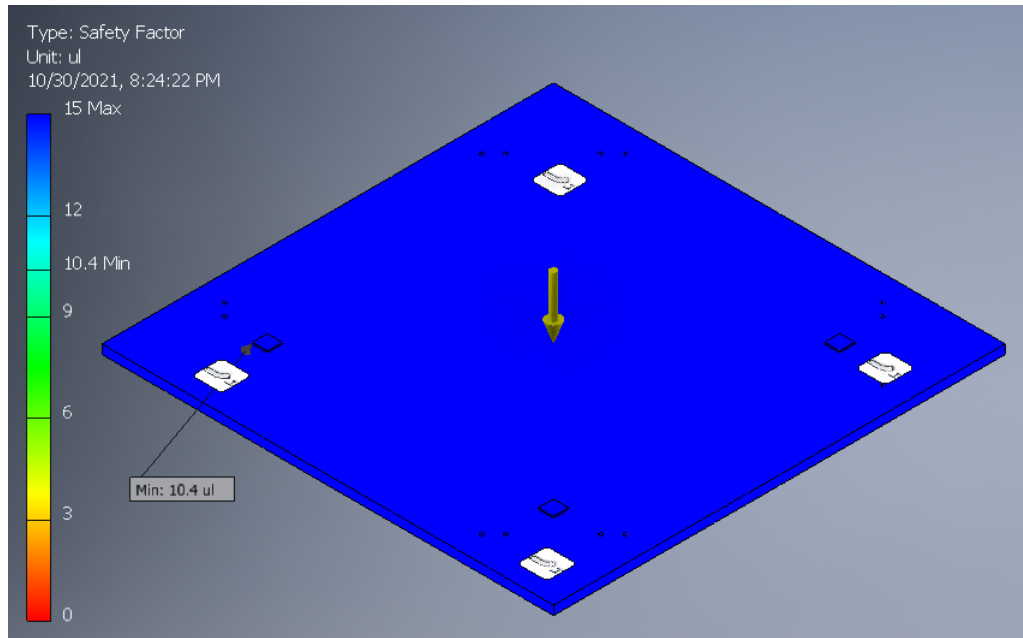


Figura 5.2: Simulación con fuerza ubicada en el centro. Fuente: Elaboración propia

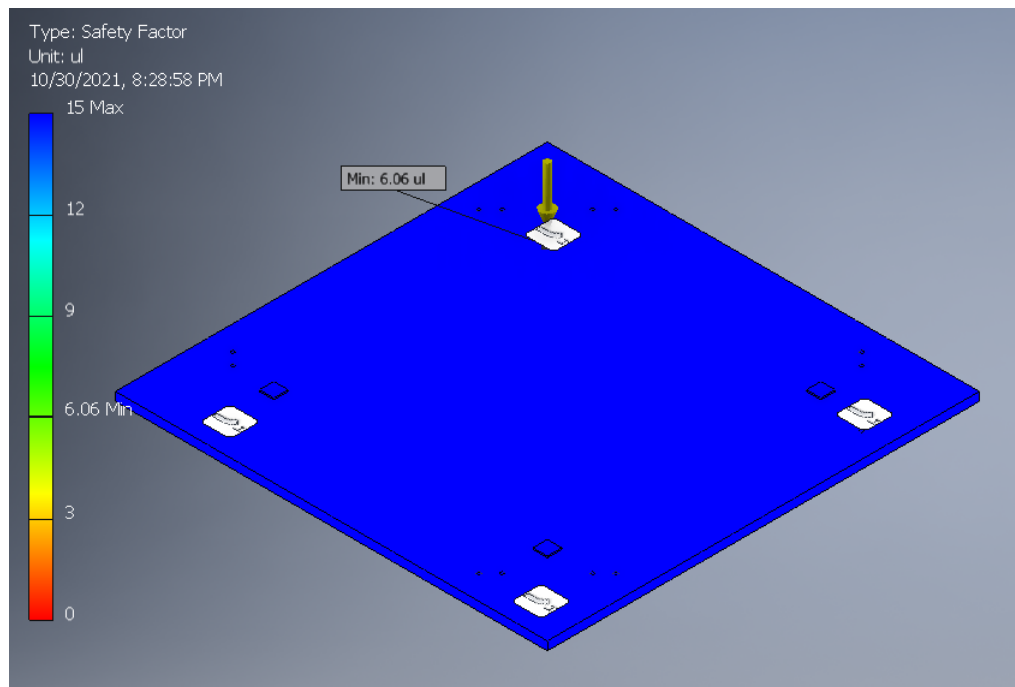


Figura 5.3: Simulación con fuerza ubicada en parte superior derecha. Fuente: Elaboración propia

5.1. Simulación de plataforma

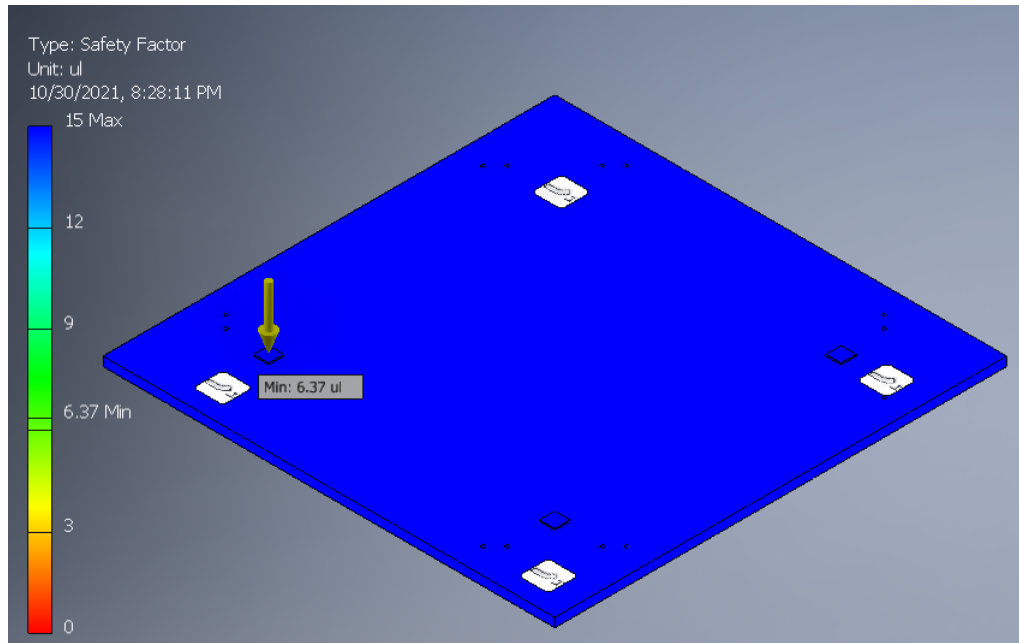


Figura 5.4: Simulación con fuerza ubicada en parte superior izquierda. Fuente: Elaboración propia

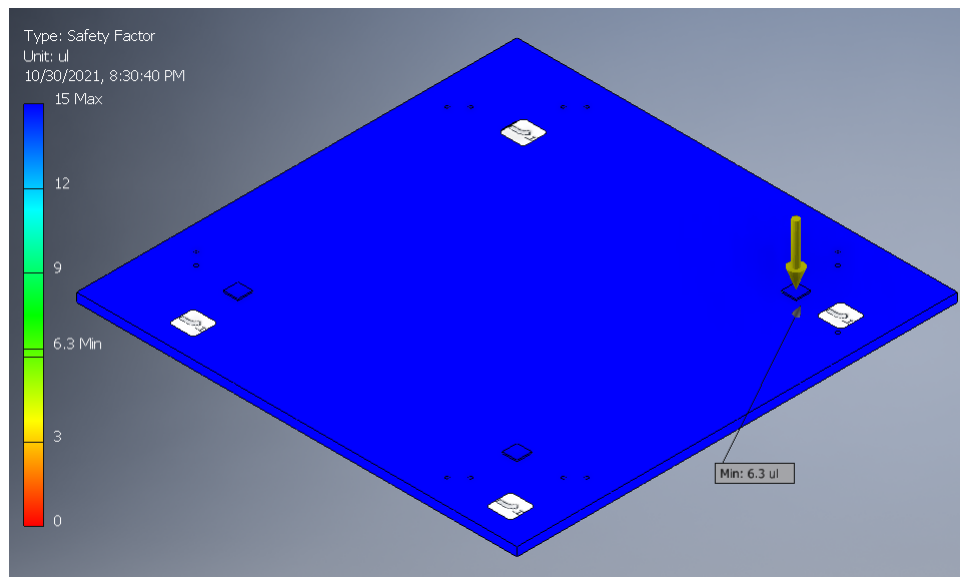


Figura 5.5: Simulación con fuerza ubicada en parte inferior derecha. Fuente: Elaboración propia

5.1. Simulación de plataforma

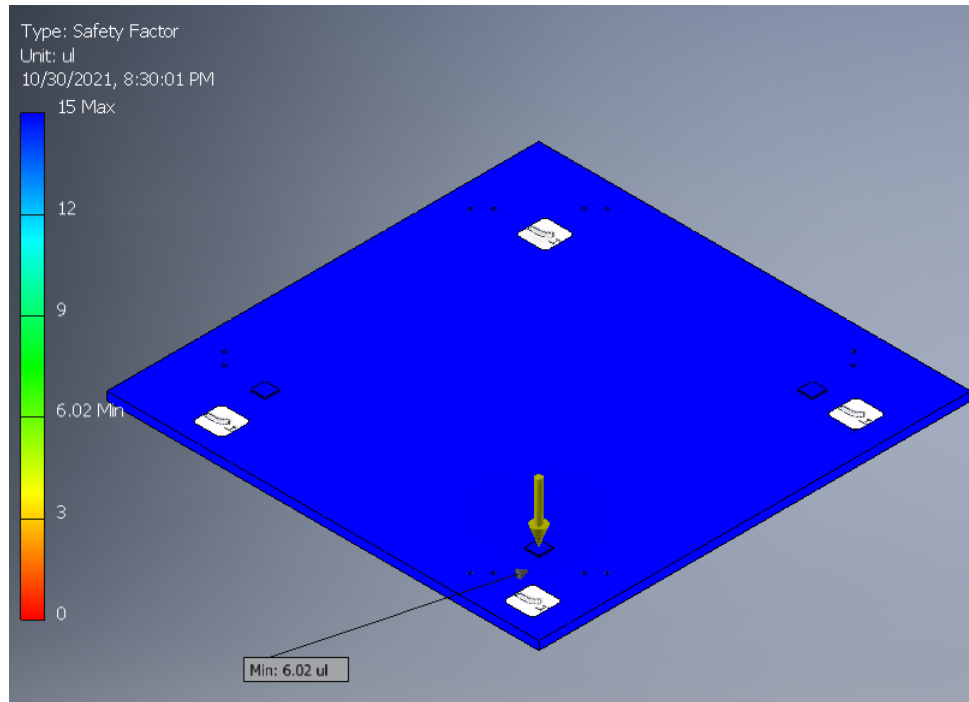


Figura 5.6: Simulación con fuerza ubicada en parte inferior izquierda. Fuente: Elaboración propia

Los resultado de las simulaciones se pueden observar en las figuras 5.2-5.6 y en la tabla 5.1 se muestra un resumen. El factor de seguridad menor utilizando el criterio de Von misses se encuentra en los agujeros para sujetar las celdas de carga. Sin embargo, de todos los casos el factor de seguridad menor fue de 6.02 y el establecido para este proyecto es que sea mayor a 2.5 por lo tanto se verifica que el sistema soporta cargas de hasta 20 kg con un factor de seguridad mayor a 3. Por lo tanto, se cumple con las métricas 1.1 y 1.2 que se encuentran en la tabla 3.4.

Tabla 5.1: Tabla resumen de simulaciones mecánicas. Fuente: Elaboración propia

Prueba	FS obtenido	FS esperado	Resultado
Prueba SD	6.37	>2.5	Cumple
Prueba SI	6.06	>2.5	Cumple
Prueba ID	6.02	>2.5	Cumple
Prueba II	6.3	>2.5	Cumple
Prueba centro	10.4	>2.5	Cumple

5.2. Error de medición de prueba de concepto

Las mediciones de error se realizaron con diferentes masas a lo largo de todo el rango de 0 a 15kg, estas mediciones se realizaron con la prueba de concepto que se muestra en la figura 5.7 y la celda de carga de la figura 5.8, pero primero se lleva a cabo la estrategia de calibración mostrada en la subsección 5.2.1.



Figura 5.7: Prueba de concepto de medición de peso. Fuente: Elaboración propia



Figura 5.8: celda de carga prueba de concepto. Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Estrategia de calibración

Para calibrar el sistema de medición se pesan 8 cargas diferentes, estas distribuidas en todo el rango de 0 a 15kg. Estas mediciones se realizaron en una balanza del Centro de Investigación y Extensión en Ingeniería de los Materiales (CIEMTEC), el modelo de esta es el MBW-300 y fue calibrada por la empresa OCONY que es una empresa distribuidora de servicios y productos pesaje. Para repetibilidad de la medición y obtener un valor adecuado se realizó la medición 5 veces y luego se calculó un promedio(tabla 5.2). Posterior a conocer los pesos, se realiza una lectura de los valores que se obtienen en el microcontrolador cuando se pesan las cargas conocidas e igualmente se realiza 5 veces y se obtiene el promedio(tabla 5.3). Con los pesos conocidos y su correspondiente valor en el microcontrolador se introducen a un software de análisis estadístico para obtener las curva de mejor ajuste de los datos(figura 5.9). Una vez obtenida se introduce de nuevo al microcontrolador y así este mostrará los pesos adecuadamente en kg.

5.2. Error de medición de prueba de concepto

Tabla 5.2: Medición de masas en balanza calibrada. Fuente: Elaboración propia.

	Medición 1 (±0.01) kg	Medición 2 (±0.01) kg	Medición 3 (±0.01)kg	Medición 4 (±0.01) kg	Medición 5 (±0.01) kg	Promedio (kg)
Masa A	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.640
Masa B	0.78	0.78	0.76	0.78	0.78	0.776
Masa C	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.580
Masa D	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.900
Masa E	2.68	2.68	2.70	2.68	2.68	2.684
Masa F	6.92	6.92	6.94	6.94	6.94	6.932
Masa G	11.38	11.38	11.38	11.38	11.38	11.380
Masa H	13.89	13.9	13.88	13.88	13.88	13.886

Tabla 5.3: Obtención de pares x,y para obtención de curva característica. Fuente: Elaboración propia.

Valor serial 1	Valor serial 2	Valor serial 3	Valor serial 4	Valor serial 5	Prom (x)	Masa en kg (y)
-405879	-405833	-405865	-405832	-405834	-405848.6	0
-368407	-368423	-368438	-368445	-368499	-368442.4	1.58
-342134	-342164	-342177	-342129	-343171	-342355	2.68
-240899	-240925	-240965	-240922	-240909	-240924	6.93
-134801	-134758	-134738	-134767	-134734	-134759.6	11.38
-73269	-73250	-73225	-73217	-73216	-73235.4	13.88

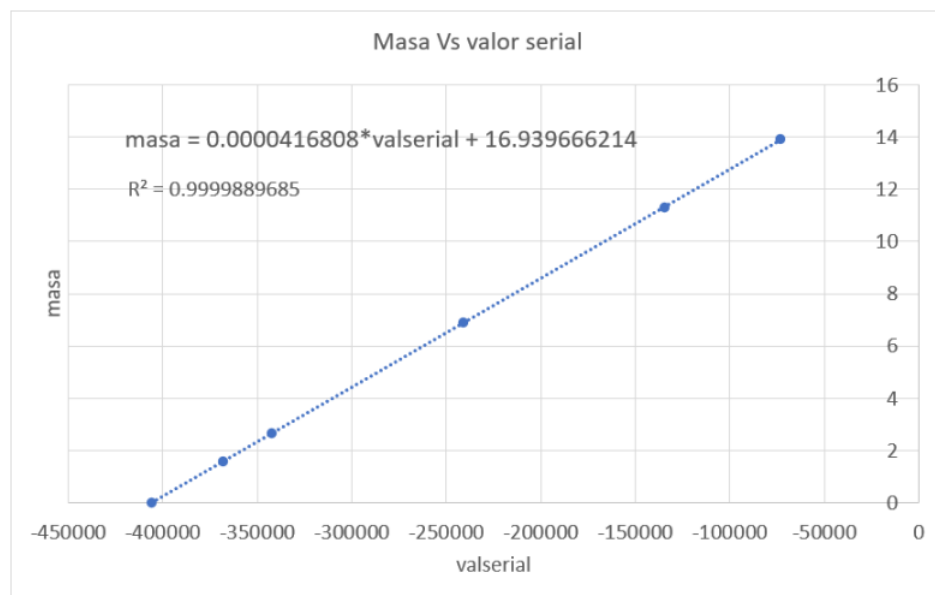


Figura 5.9: Curva característica para calibración. Fuente: Elaboración propia

5.2. Error de medición de prueba de concepto

Cada peso se midió 20 veces para las 12 cargas y sus resultados se muestran en la tabla 8.1. En la tabla 5.4 se muestra un resumen del porcentaje de error obtenido para cada masa y se observa como para todas la masas no se excede el 5 % establecido para este proyecto, por lo tanto, cumple con los requerimientos. En la figura 5.10 se muestra la comparación de cada masa con sus respectivo valor obtenido donde se puede reafirmar que en todas las mediciones el error obtenido fue muy cercano a 0 debido el valor de R^2 de la curva valor real vs valor medido tiende a 1.

Tabla 5.4: Resumen error de medición. Fuente: Elaboración propia

Masa	Cantidad de mediciones	Promedio obtenido(kg)	Val real(kg)	%Error obtenido	%Error esperado	Resultado
Masa 1	20	0.64	0.640	0.78	<5	Cumple
Masa 2	20	0.77	0.776	0.77	<5	Cumple
Masa 3	20	1.57	1.580	0.82	<5	Cumple
Masa 4	20	1.89	1.900	0.32	<5	Cumple
Masa 5	20	4.24	4.264	0.68	<5	Cumple
Masa 6	20	2.67	2.684	0.61	<5	Cumple
Masa 7	20	6.89	6.932	0.58	<5	Cumple
Masa 8	20	8.80	8.820	0.23	<5	Cumple
Masa 9	20	11.33	11.380	0.44	<5	Cumple
Masa 10	20	12.10	12.156	0.43	<5	Cumple
Masa 11	20	13.88	13.886	0.05	<5	Cumple
Masa 12	20	15.79	15.786	0.03	<5	Cumple

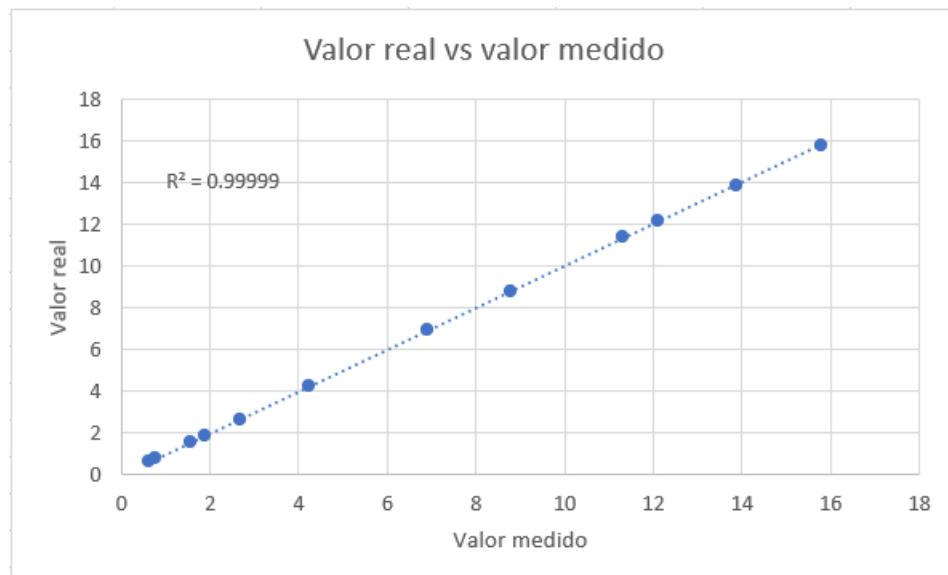


Figura 5.10: Linealidad de las mediciones en todo el rango de 0 a 15kg. Fuente: Elaboración propia

5.2. Error de medición de prueba de concepto

Sabiendo que el sistema pesa en todo el rango de medición con un error menor a 5 %, se realiza otra prueba con el fin de validar que el sistema puede pesar en diferentes lugares de la plataforma. Las mediciones se realizaron en ciclos colocando la carga en las siguientes ubicaciones:

- **SD:** Superior derecha
- **SI:** Superior Izquierda
- **II:** Inferior Izquierda
- **ID:** Inferior Derecha
- **Centro:** Centro de plataforma

Los resultados resumidos se pueden observar en la tabla 8.2 y de forma resumida en la tabla 5.5 donde se muestra que para cada ciclo de medición el porcentaje de error obtenido es menor al 5 % por lo tanto se cumple con los requerimientos del proyecto y se comprueba que sin importar la ubicación de la carga en la plataforma el sistema es fiable.

Tabla 5.5: Resumen pruebas de error probando una misma carga en diferentes lugares de la plataforma. Fuente: Elaboración propia.

	Prom (kg)	Vreal (kg)	%Error obtenido	%Error esperado	Resultado
Ciclo 1(± 0.01)	1.904	1.9	0.21	<5	Cumple
Ciclo 2(± 0.01)	1.916	1.9	0.84	<5	Cumple
Ciclo 3(± 0.01)	1.916	1.9	0.84	<5	Cumple
Ciclo 4(± 0.01)	1.900	1.9	0.00	<5	Cumple
Ciclo 5(± 0.01)	1.904	1.9	0.21	<5	Cumple
Ciclo 6(± 0.01)	1.900	1.9	0.00	<5	Cumple
Ciclo 7(± 0.01)	1.898	1.9	0.11	<5	Cumple
Ciclo 8(± 0.01)	1.904	1.9	0.21	<5	Cumple
Ciclo 9(± 0.01)	1.906	1.9	0.32	<5	Cumple
Ciclo 10(± 0.01)	1.902	1.9	0.11	<5	Cumple
Ciclo 11(± 0.01)	1.904	1.9	0.21	<5	Cumple
Ciclo 12(± 0.01)	1.906	1.9	0.32	<5	Cumple
Ciclo 13(± 0.01)	1.896	1.9	0.21	<5	Cumple
Ciclo 14(± 0.01)	1.902	1.9	0.11	<5	Cumple
Ciclo 15(± 0.01)	1.894	1.9	0.32	<5	Cumple
Ciclo 16(± 0.01)	1.900	1.9	0.00	<5	Cumple
Ciclo 17(± 0.01)	1.896	1.9	0.21	<5	Cumple
Ciclo 18(± 0.01)	1.902	1.9	0.11	<5	Cumple
Ciclo 19(± 0.01)	1.902	1.9	0.11	<5	Cumple
Ciclo 20(± 0.01)	1.900	1.9	0.00	<5	Cumple

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

Para las pruebas de almacenamiento, visualización y alertas se realizaron 5 pruebas utilizando sets de datos diferentes para generar variabilidad. Con cada set de datos se realiza el flujo desde la salida del microcontrolador hasta el notificación para prevenir que los basureros no superen los 15kg como el mostrado en la figura 5.11. Cada elemento del set está compuesto de la siguiente manera (ID de basurero, Material, Peso, Semana, Hora).

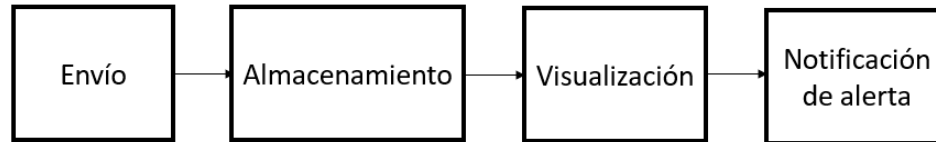


Figura 5.11: Flujo de datos. Fuente: Elaboración propia

5.3.1. Prueba de almacenamiento

Para la prueba de almacenamiento como ya se mencionó se tomaron sets de datos de 36 elementos, cada uno con diferentes valores de peso ingresado. Cada fila de las figuras (5.12-5.16) es desglosada para que cada dato sea almacenados en su respectiva columna de la base de datos como se muestra en la figura (5.17-5.21)

```
('Gb1', 'plastic', 1, 2021041, 1000)
('Gb2', 'paper', 2, 2021041, 1000)
('Gb3', 'glass', 3, 2021041, 1000)
('Gb4', 'organic', 4, 2021041, 1000)
('Gb5', 'metal', 5, 2021041, 1000)
('Gb6', 'glass', 6, 2021041, 1000)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021041, 1200)
('Gb2', 'paper', 2, 2021041, 1200)
('Gb3', 'glass', 3, 2021041, 1200)
('Gb4', 'organic', 4, 2021041, 1200)
('Gb5', 'metal', 5, 2021041, 1200)
('Gb6', 'glass', 6, 2021041, 1200)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021041, 1300)
('Gb2', 'paper', 2, 2021041, 1300)
('Gb3', 'glass', 3, 2021041, 1300)
('Gb4', 'organic', 4, 2021041, 1300)
('Gb5', 'metal', 5, 2021041, 1300)
('Gb6', 'glass', 6, 2021041, 1300)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021042, 1000)
('Gb2', 'paper', 2, 2021042, 1000)
('Gb3', 'glass', 3, 2021042, 1000)
('Gb4', 'organic', 4, 2021042, 1000)
('Gb5', 'metal', 5, 2021042, 1000)
('Gb6', 'glass', 6, 2021042, 1000)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021042, 1200)
('Gb2', 'paper', 2, 2021042, 1200)
('Gb3', 'glass', 3, 2021042, 1200)
('Gb4', 'organic', 4, 2021042, 1200)
('Gb5', 'metal', 5, 2021042, 1200)
('Gb6', 'glass', 6, 2021042, 1200)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021042, 1300)
('Gb2', 'paper', 2, 2021042, 1300)
('Gb3', 'glass', 3, 2021042, 1300)
('Gb4', 'organic', 4, 2021042, 1300)
('Gb5', 'metal', 5, 2021042, 1300)
('Gb6', 'glass', 6, 2021042, 1300)
```

Figura 5.12: Set de datos enviados prueba 1. Fuente: Elaboración propia


```
('Gb1', 'plastic', 6, 2021041, 1000)
('Gb2', 'paper', 5, 2021041, 1000)
('Gb3', 'glass', 4, 2021041, 1000)
('Gb4', 'organic', 3, 2021041, 1000)
('Gb5', 'metal', 2, 2021041, 1000)
('Gb6', 'glass', 1, 2021041, 1000)
('Gb1', 'plastic', 3, 2021041, 1200)
('Gb2', 'paper', 3, 2021041, 1200)
('Gb3', 'glass', 3, 2021041, 1200)
('Gb4', 'organic', 3, 2021041, 1200)
('Gb5', 'metal', 3, 2021041, 1200)
('Gb6', 'glass', 3, 2021041, 1200)
('Gb1', 'plastic', 6, 2021041, 1300)
('Gb2', 'paper', 5, 2021041, 1300)
('Gb3', 'glass', 4, 2021041, 1300)
('Gb4', 'organic', 3, 2021041, 1300)
('Gb5', 'metal', 2, 2021041, 1300)
('Gb6', 'glass', 1, 2021041, 1300)
('Gb1', 'plastic', 6, 2021042, 1000)
('Gb2', 'paper', 5, 2021042, 1000)
('Gb3', 'glass', 4, 2021042, 1000)
('Gb4', 'organic', 3, 2021042, 1000)
('Gb5', 'metal', 2, 2021042, 1000)
('Gb6', 'glass', 1, 2021042, 1000)
('Gb1', 'plastic', 3, 2021042, 1200)
('Gb2', 'paper', 3, 2021042, 1200)
('Gb3', 'glass', 3, 2021042, 1200)
('Gb4', 'organic', 3, 2021042, 1200)
('Gb5', 'metal', 3, 2021042, 1200)
('Gb6', 'glass', 3, 2021042, 1200)
('Gb1', 'plastic', 6, 2021042, 1300)
('Gb2', 'paper', 5, 2021042, 1300)
('Gb3', 'glass', 4, 2021042, 1300)
('Gb4', 'organic', 3, 2021042, 1300)
('Gb5', 'metal', 2, 2021042, 1300)
('Gb6', 'glass', 1, 2021042, 1300)
```

Figura 5.13: Set de datos enviados prueba 2. Fuente: Elaboración propia

```
('Gb1', 'plastic', 1, 2021041, 1000)
('Gb2', 'paper', 2, 2021041, 1000)
('Gb3', 'glass', 3, 2021041, 1000)
('Gb4', 'organic', 4, 2021041, 1000)
('Gb5', 'metal', 5, 2021041, 1000)
('Gb6', 'glass', 6, 2021041, 1000)
('Gb1', 'plastic', 5, 2021041, 1200)
('Gb2', 'paper', 4, 2021041, 1200)
('Gb3', 'glass', 3, 2021041, 1200)
('Gb4', 'organic', 2, 2021041, 1200)
('Gb5', 'metal', 1, 2021041, 1200)
('Gb6', 'glass', 2, 2021041, 1200)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021041, 1300)
('Gb2', 'paper', 3, 2021041, 1300)
('Gb3', 'glass', 5, 2021041, 1300)
('Gb4', 'organic', 5, 2021041, 1300)
('Gb5', 'metal', 3, 2021041, 1300)
('Gb6', 'glass', 1, 2021041, 1300)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021042, 1000)
('Gb2', 'paper', 2, 2021042, 1000)
('Gb3', 'glass', 3, 2021042, 1000)
('Gb4', 'organic', 4, 2021042, 1000)
('Gb5', 'metal', 5, 2021042, 1000)
('Gb6', 'glass', 6, 2021042, 1000)
('Gb1', 'plastic', 5, 2021042, 1200)
('Gb2', 'paper', 4, 2021042, 1200)
('Gb3', 'glass', 3, 2021042, 1200)
('Gb4', 'organic', 2, 2021042, 1200)
('Gb5', 'metal', 1, 2021042, 1200)
('Gb6', 'glass', 2, 2021042, 1200)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021042, 1300)
('Gb2', 'paper', 3, 2021042, 1300)
('Gb3', 'glass', 5, 2021042, 1300)
('Gb4', 'organic', 5, 2021042, 1300)
('Gb5', 'metal', 3, 2021042, 1300)
('Gb6', 'glass', 1, 2021042, 1300)
```

Figura 5.14: Set de datos enviados prueba 3. Fuente: Elaboración propia

```
('Gb1', 'plastic', 3, 2021041, 1000)
('Gb2', 'paper', 3, 2021041, 1000)
('Gb3', 'glass', 3, 2021041, 1000)
('Gb4', 'organic', 3, 2021041, 1000)
('Gb5', 'metal', 3, 2021041, 1000)
('Gb6', 'glass', 3, 2021041, 1000)
('Gb1', 'plastic', 5, 2021041, 1200)
('Gb2', 'paper', 5, 2021041, 1200)
('Gb3', 'glass', 5, 2021041, 1200)
('Gb4', 'organic', 5, 2021041, 1200)
('Gb5', 'metal', 5, 2021041, 1200)
('Gb6', 'glass', 5, 2021041, 1200)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021041, 1300)
('Gb2', 'paper', 1, 2021041, 1300)
('Gb3', 'glass', 2, 2021041, 1300)
('Gb4', 'organic', 2, 2021041, 1300)
('Gb5', 'metal', 2, 2021041, 1300)
('Gb6', 'glass', 1, 2021041, 1300)
('Gb1', 'plastic', 3, 2021042, 1000)
('Gb2', 'paper', 3, 2021042, 1000)
('Gb3', 'glass', 3, 2021042, 1000)
('Gb4', 'organic', 3, 2021042, 1000)
('Gb5', 'metal', 3, 2021042, 1000)
('Gb6', 'glass', 3, 2021042, 1000)
('Gb1', 'plastic', 5, 2021042, 1200)
('Gb2', 'paper', 5, 2021042, 1200)
('Gb3', 'glass', 5, 2021042, 1200)
('Gb4', 'organic', 5, 2021042, 1200)
('Gb5', 'metal', 5, 2021042, 1200)
('Gb6', 'glass', 5, 2021042, 1200)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021042, 1300)
('Gb2', 'paper', 1, 2021042, 1300)
('Gb3', 'glass', 2, 2021042, 1300)
('Gb4', 'organic', 2, 2021042, 1300)
('Gb5', 'metal', 2, 2021042, 1300)
('Gb6', 'glass', 1, 2021042, 1300)
```

Figura 5.15: Set de datos enviados prueba 4. Fuente: Elaboración propia

```
('Gb1', 'plastic', 4, 2021041, 1000)
('Gb2', 'paper', 4, 2021041, 1000)
('Gb3', 'glass', 4, 2021041, 1000)
('Gb4', 'organic', 4, 2021041, 1000)
('Gb5', 'metal', 4, 2021041, 1000)
('Gb6', 'glass', 4, 2021041, 1000)
('Gb1', 'plastic', 3, 2021041, 1200)
('Gb2', 'paper', 3, 2021041, 1200)
('Gb3', 'glass', 3, 2021041, 1200)
('Gb4', 'organic', 3, 2021041, 1200)
('Gb5', 'metal', 3, 2021041, 1200)
('Gb6', 'glass', 3, 2021041, 1200)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021041, 1300)
('Gb2', 'paper', 2, 2021041, 1300)
('Gb3', 'glass', 3, 2021041, 1300)
('Gb4', 'organic', 4, 2021041, 1300)
('Gb5', 'metal', 5, 2021041, 1300)
('Gb6', 'glass', 6, 2021041, 1300)
('Gb1', 'plastic', 4, 2021042, 1000)
('Gb2', 'paper', 4, 2021042, 1000)
('Gb3', 'glass', 4, 2021042, 1000)
('Gb4', 'organic', 4, 2021042, 1000)
('Gb5', 'metal', 4, 2021042, 1000)
('Gb6', 'glass', 4, 2021042, 1000)
('Gb1', 'plastic', 3, 2021042, 1200)
('Gb2', 'paper', 3, 2021042, 1200)
('Gb3', 'glass', 3, 2021042, 1200)
('Gb4', 'organic', 3, 2021042, 1200)
('Gb5', 'metal', 3, 2021042, 1200)
('Gb6', 'glass', 3, 2021042, 1200)
('Gb1', 'plastic', 1, 2021042, 1300)
('Gb2', 'paper', 2, 2021042, 1300)
('Gb3', 'glass', 3, 2021042, 1300)
('Gb4', 'organic', 4, 2021042, 1300)
('Gb5', 'metal', 5, 2021042, 1300)
('Gb6', 'glass', 6, 2021042, 1300)
```

Figura 5.16: Set de datos enviados prueba 5. Fuente: Elaboración propia

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

Garbagebin	Material	Weight	Date	Hour
Gb1	plastic	1	2021041	1000
Gb2	paper	2	2021041	1000
Gb3	glass	3	2021041	1000
Gb4	organic	4	2021041	1000
Gb5	metal	5	2021041	1000
Gb6	glass	6	2021041	1000
Gb1	plastic	1	2021041	1200
Gb2	paper	2	2021041	1200
Gb3	glass	3	2021041	1200
Gb4	organic	4	2021041	1200
Gb5	metal	5	2021041	1200
Gb6	glass	6	2021041	1200
Gb1	plastic	1	2021041	1300
Gb2	paper	2	2021041	1300
Gb3	glass	3	2021041	1300
Gb4	organic	4	2021041	1300
Gb5	metal	5	2021041	1300
Gb6	glass	6	2021041	1300
Gb1	plastic	1	2021042	1000
Gb2	paper	2	2021042	1000
Gb3	glass	3	2021042	1000
Gb4	organic	4	2021042	1000
Gb5	metal	5	2021042	1000
Gb6	glass	6	2021042	1000
Gb1	plastic	1	2021042	1200
Gb2	paper	2	2021042	1200
Gb3	glass	3	2021042	1200
Gb4	organic	4	2021042	1200
Gb5	metal	5	2021042	1200
Gb6	glass	6	2021042	1200
Gb1	plastic	1	2021042	1300
Gb2	paper	2	2021042	1300
Gb3	glass	3	2021042	1300
Gb4	organic	4	2021042	1300
Gb5	metal	5	2021042	1300
Gb6	glass	6	2021042	1300

Figura 5.17: Datos recibidos y almacenados en base de datos prueba 1. Fuente: Elaboración propia

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

Garbagebin	Material	Weight	Date	Hour
Gb1	plastic	6	2021041	1000
Gb2	paper	5	2021041	1000
Gb3	glass	4	2021041	1000
Gb4	organic	3	2021041	1000
Gb5	metal	2	2021041	1000
Gb6	glass	1	2021041	1000
Gb1	plastic	3	2021041	1200
Gb2	paper	3	2021041	1200
Gb3	glass	3	2021041	1200
Gb4	organic	3	2021041	1200
Gb5	metal	3	2021041	1200
Gb6	glass	3	2021041	1200
Gb1	plastic	6	2021041	1300
Gb2	paper	5	2021041	1300
Gb3	glass	4	2021041	1300
Gb4	organic	3	2021041	1300
Gb5	metal	2	2021041	1300
Gb6	glass	1	2021041	1300
Gb1	plastic	6	2021042	1000
Gb2	paper	5	2021042	1000
Gb3	glass	4	2021042	1000
Gb4	organic	3	2021042	1000
Gb5	metal	2	2021042	1000
Gb6	glass	1	2021042	1000
Gb1	plastic	3	2021042	1200
Gb2	paper	3	2021042	1200
Gb3	glass	3	2021042	1200
Gb4	organic	3	2021042	1200
Gb5	metal	3	2021042	1200
Gb6	glass	3	2021042	1200
Gb1	plastic	6	2021042	1300
Gb2	paper	5	2021042	1300
Gb3	glass	4	2021042	1300
Gb4	organic	3	2021042	1300
Gb5	metal	2	2021042	1300
Gb6	glass	1	2021042	1300

Figura 5.18: Datos recibidos y almacenados en base de datos prueba 2. Fuente: Elaboración propia

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

Garbagebin	Material	Weight	Date	Hour
Gb1	plastic	1	2021041	1000
Gb2	paper	2	2021041	1000
Gb3	glass	3	2021041	1000
Gb4	organic	4	2021041	1000
Gb5	metal	5	2021041	1000
Gb6	glass	6	2021041	1000
Gb1	plastic	5	2021041	1200
Gb2	paper	4	2021041	1200
Gb3	glass	3	2021041	1200
Gb4	organic	2	2021041	1200
Gb5	metal	1	2021041	1200
Gb6	glass	2	2021041	1200
Gb1	plastic	1	2021041	1300
Gb2	paper	3	2021041	1300
Gb3	glass	5	2021041	1300
Gb4	organic	5	2021041	1300
Gb5	metal	3	2021041	1300
Gb6	glass	1	2021041	1300
Gb1	plastic	1	2021042	1000
Gb2	paper	2	2021042	1000
Gb3	glass	3	2021042	1000
Gb4	organic	4	2021042	1000
Gb5	metal	5	2021042	1000
Gb6	glass	6	2021042	1000
Gb1	plastic	5	2021042	1200
Gb2	paper	4	2021042	1200
Gb3	glass	3	2021042	1200
Gb4	organic	2	2021042	1200
Gb5	metal	1	2021042	1200
Gb6	glass	2	2021042	1200
Gb1	plastic	1	2021042	1300
Gb2	paper	3	2021042	1300
Gb3	glass	5	2021042	1300
Gb4	organic	5	2021042	1300
Gb5	metal	3	2021042	1300
Gb6	glass	1	2021042	1300

Figura 5.19: Datos recibidos y almacenados en base de datos prueba 3. Fuente: Elaboración propia

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

Garbagebin	Material	Weight	Date	Hour
Gb1	plastic	3	2021041	1000
Gb2	paper	3	2021041	1000
Gb3	glass	3	2021041	1000
Gb4	organic	3	2021041	1000
Gb5	metal	3	2021041	1000
Gb6	glass	3	2021041	1000
Gb1	plastic	5	2021041	1200
Gb2	paper	5	2021041	1200
Gb3	glass	5	2021041	1200
Gb4	organic	5	2021041	1200
Gb5	metal	5	2021041	1200
Gb6	glass	5	2021041	1200
Gb1	plastic	1	2021041	1300
Gb2	paper	1	2021041	1300
Gb3	glass	2	2021041	1300
Gb4	organic	2	2021041	1300
Gb5	metal	2	2021041	1300
Gb6	glass	1	2021041	1300
Gb1	plastic	3	2021042	1000
Gb2	paper	3	2021042	1000
Gb3	glass	3	2021042	1000
Gb4	organic	3	2021042	1000
Gb5	metal	3	2021042	1000
Gb6	glass	3	2021042	1000
Gb1	plastic	5	2021042	1200
Gb2	paper	5	2021042	1200
Gb3	glass	5	2021042	1200
Gb4	organic	5	2021042	1200
Gb5	metal	5	2021042	1200
Gb6	glass	5	2021042	1200
Gb1	plastic	1	2021042	1300
Gb2	paper	1	2021042	1300
Gb3	glass	2	2021042	1300
Gb4	organic	2	2021042	1300
Gb5	metal	2	2021042	1300
Gb6	glass	1	2021042	1300

Figura 5.20: Datos recibidos y almacenados en base de datos prueba 4. Fuente: Elaboración propia

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

Garbagebin	Material	Weight	Date	Hour
Gb1	plastic	4	2021041	1000
Gb2	paper	4	2021041	1000
Gb3	glass	4	2021041	1000
Gb4	organic	4	2021041	1000
Gb5	metal	4	2021041	1000
Gb6	glass	4	2021041	1000
Gb1	plastic	3	2021041	1200
Gb2	paper	3	2021041	1200
Gb3	glass	3	2021041	1200
Gb4	organic	3	2021041	1200
Gb5	metal	3	2021041	1200
Gb6	glass	3	2021041	1200
Gb1	plastic	1	2021041	1300
Gb2	paper	2	2021041	1300
Gb3	glass	3	2021041	1300
Gb4	organic	4	2021041	1300
Gb5	metal	5	2021041	1300
Gb6	glass	6	2021041	1300
Gb1	plastic	4	2021042	1000
Gb2	paper	4	2021042	1000
Gb3	glass	4	2021042	1000
Gb4	organic	4	2021042	1000
Gb5	metal	4	2021042	1000
Gb6	glass	4	2021042	1000
Gb1	plastic	3	2021042	1200
Gb2	paper	3	2021042	1200
Gb3	glass	3	2021042	1200
Gb4	organic	3	2021042	1200
Gb5	metal	3	2021042	1200
Gb6	glass	3	2021042	1200
Gb1	plastic	1	2021042	1300
Gb2	paper	2	2021042	1300
Gb3	glass	3	2021042	1300
Gb4	organic	4	2021042	1300
Gb5	metal	5	2021042	1300
Gb6	glass	6	2021042	1300

Figura 5.21: Datos recibidos y almacenados en base de datos prueba 5. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.6 se observa un resumen de las pruebas de almacenamiento, en las 5 pruebas 100% de los datos fueron almacenados de manera correctamente por lo que

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

para efectos de este proyecto se cumplen los requerimientos de almacenar los datos.

Tabla 5.6: Tabla resumen pruebas de envío de datos. Fuente: Elaboración propia

# de prueba	Numero de datos enviados	Numero de datos correctos almacenados	% correctos	Resultado
Prueba 1	36	36	100 %	Cumple
Prueba 2	36	36	100 %	Cumple
Prueba 3	36	36	100 %	Cumple
Prueba 4	36	36	100 %	Cumple
Prueba 5	36	36	100 %	Cumple

Luego de haber realizado las pruebas de almacenamiento se validó la repetibilidad enviando los datos de la prueba 1 varias veces (figura 5.12 y 5.17). Esto realizando una rutina de envío y borrado de la información para cada una de ellas. Los resultados se pueden observar en la tabla 5.7 donde se obtuvo que 100 % de las pruebas son correctas y por tanto cumplen con los requerimientos del sistema de almacenar información varias veces bajo las mismas condiciones.

Tabla 5.7: Tabla resumen pruebas de envío de datos repetibilidad. Fuente: Elaboración propia

# de prueba	Numero de datos enviados	Numero de datos correctos almacenados	% correctos	Resultado
Prueba 1.1	36	36	100 %	Cumple
Prueba 1.2	36	36	100 %	Cumple
Prueba 1.3	36	36	100 %	Cumple
Prueba 1.4	36	36	100 %	Cumple
Prueba 1.5	36	36	100 %	Cumple

5.3.2. Prueba de conexión entre almacenamiento y visualización

Como se ha mencionado los sets de datos se mantienen y por tanto al realizar la conexión entre el sistema de almacenamiento y el sistema de visualización los datos sin procesar deben ser los mismos que se tienen en la base de datos. Lo anterior se puede corroborar en las figuras (5.22-5.26). Posteriormente, los datos son procesados

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

para mostrar un resumen y una alerta visual de prevención como se muestra en las figuras (5.27-5.36)

Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(€)	Date	Hour	WW
Gb1	plastic	1	100	2021041	1000	202104
Gb2	paper	2	40	2021041	1000	202104
Gb3	glass	3	210	2021041	1000	202104
Gb4	organic	4	0	2021041	1000	202104
Gb5	metal	5	4000	2021041	1000	202104
Gb6	glass	6	420	2021041	1000	202104
Gb1	plastic	1	100	2021041	1200	202104
Gb2	paper	2	40	2021041	1200	202104
Gb3	glass	3	210	2021041	1200	202104
Gb4	organic	4	0	2021041	1200	202104
Gb5	metal	5	4000	2021041	1200	202104
Gb6	glass	6	420	2021041	1200	202104
Gb1	plastic	1	100	2021041	1300	202104
Gb2	paper	2	40	2021041	1300	202104
Gb3	glass	3	210	2021041	1300	202104
Gb4	organic	4	0	2021041	1300	202104
Gb5	metal	5	4000	2021041	1300	202104
Gb6	glass	6	420	2021041	1300	202104
Gb1	plastic	1	100	2021042	1000	202104
Gb2	paper	2	40	2021042	1000	202104
Gb3	glass	3	210	2021042	1000	202104
Gb4	organic	4	0	2021042	1000	202104
Gb5	metal	5	4000	2021042	1000	202104
Gb6	glass	6	420	2021042	1000	202104
Gb1	plastic	1	100	2021042	1200	202104
Gb2	paper	2	40	2021042	1200	202104
Gb3	glass	3	210	2021042	1200	202104
Gb4	organic	4	0	2021042	1200	202104
Gb5	metal	5	4000	2021042	1200	202104
Gb6	glass	6	420	2021042	1200	202104
Gb1	plastic	1	100	2021042	1300	202104
Gb2	paper	2	40	2021042	1300	202104
Gb3	glass	3	210	2021042	1300	202104
Gb4	organic	4	0	2021042	1300	202104
Gb5	metal	5	4000	2021042	1300	202104
Gb6	glass	6	420	2021042	1300	202104

Figura 5.22: Datos recibidos en sistema de análisis de datos prueba 1. Fuente: Elaboración propia

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(€)	Date	Hour	WW
Gb1	plastic	6	600	2021041	1000	202104
Gb2	paper	5	100	2021041	1000	202104
Gb3	glass	4	280	2021041	1000	202104
Gb4	organic	3	0	2021041	1000	202104
Gb5	metal	2	1600	2021041	1000	202104
Gb6	glass	1	70	2021041	1000	202104
Gb1	plastic	3	300	2021041	1200	202104
Gb2	paper	3	60	2021041	1200	202104
Gb3	glass	3	210	2021041	1200	202104
Gb4	organic	3	0	2021041	1200	202104
Gb5	metal	3	2400	2021041	1200	202104
Gb6	glass	3	210	2021041	1200	202104
Gb1	plastic	6	600	2021041	1300	202104
Gb2	paper	5	100	2021041	1300	202104
Gb3	glass	4	280	2021041	1300	202104
Gb4	organic	3	0	2021041	1300	202104
Gb5	metal	2	1600	2021041	1300	202104
Gb6	glass	1	70	2021041	1300	202104
Gb1	plastic	6	600	2021042	1000	202104
Gb2	paper	5	100	2021042	1000	202104
Gb3	glass	4	280	2021042	1000	202104
Gb4	organic	3	0	2021042	1000	202104
Gb5	metal	2	1600	2021042	1000	202104
Gb6	glass	1	70	2021042	1000	202104
Gb1	plastic	3	300	2021042	1200	202104
Gb2	paper	3	60	2021042	1200	202104
Gb3	glass	3	210	2021042	1200	202104
Gb4	organic	3	0	2021042	1200	202104
Gb5	metal	3	2400	2021042	1200	202104
Gb6	glass	3	210	2021042	1200	202104
Gb1	plastic	6	600	2021042	1300	202104
Gb2	paper	5	100	2021042	1300	202104
Gb3	glass	4	280	2021042	1300	202104
Gb4	organic	3	0	2021042	1300	202104
Gb5	metal	2	1600	2021042	1300	202104
Gb6	glass	1	70	2021042	1300	202104

Figura 5.23: Datos recibidos en sistema de análisis de datos prueba 2. Fuente: Elaboración propia

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(\$)	Date	Hour	WW
Gb1	plastic	1	100	2021041	1000	202104
Gb2	paper	2	40	2021041	1000	202104
Gb3	glass	3	210	2021041	1000	202104
Gb4	organic	4	0	2021041	1000	202104
Gb5	metal	5	4000	2021041	1000	202104
Gb6	glass	6	420	2021041	1000	202104
Gb1	plastic	5	500	2021041	1200	202104
Gb2	paper	4	80	2021041	1200	202104
Gb3	glass	3	210	2021041	1200	202104
Gb4	organic	2	0	2021041	1200	202104
Gb5	metal	1	800	2021041	1200	202104
Gb6	glass	2	140	2021041	1200	202104
Gb1	plastic	1	100	2021041	1300	202104
Gb2	paper	3	60	2021041	1300	202104
Gb3	glass	5	350	2021041	1300	202104
Gb4	organic	5	0	2021041	1300	202104
Gb5	metal	3	2400	2021041	1300	202104
Gb6	glass	1	70	2021041	1300	202104
Gb1	plastic	1	100	2021042	1000	202104
Gb2	paper	2	40	2021042	1000	202104
Gb3	glass	3	210	2021042	1000	202104
Gb4	organic	4	0	2021042	1000	202104
Gb5	metal	5	4000	2021042	1000	202104
Gb6	glass	6	420	2021042	1000	202104
Gb1	plastic	5	500	2021042	1200	202104
Gb2	paper	4	80	2021042	1200	202104
Gb3	glass	3	210	2021042	1200	202104
Gb4	organic	2	0	2021042	1200	202104
Gb5	metal	1	800	2021042	1200	202104
Gb6	glass	2	140	2021042	1200	202104
Gb1	plastic	1	100	2021042	1300	202104
Gb2	paper	3	60	2021042	1300	202104
Gb3	glass	5	350	2021042	1300	202104
Gb4	organic	5	0	2021042	1300	202104
Gb5	metal	3	2400	2021042	1300	202104
Gb6	glass	1	70	2021042	1300	202104

Figura 5.24: Datos recibidos en sistema de análisis de datos prueba 3. Fuente: Elaboración propia

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(\$)	Date	Hour	WW
Gb1	plastic	3	300	2021041	1000	202104
Gb2	paper	3	60	2021041	1000	202104
Gb3	glass	3	210	2021041	1000	202104
Gb4	organic	3	0	2021041	1000	202104
Gb5	metal	3	2400	2021041	1000	202104
Gb6	glass	3	210	2021041	1000	202104
Gb1	plastic	5	500	2021041	1200	202104
Gb2	paper	5	100	2021041	1200	202104
Gb3	glass	5	350	2021041	1200	202104
Gb4	organic	5	0	2021041	1200	202104
Gb5	metal	5	4000	2021041	1200	202104
Gb6	glass	5	350	2021041	1200	202104
Gb1	plastic	1	100	2021041	1300	202104
Gb2	paper	1	20	2021041	1300	202104
Gb3	glass	2	140	2021041	1300	202104
Gb4	organic	2	0	2021041	1300	202104
Gb5	metal	2	1600	2021041	1300	202104
Gb6	glass	1	70	2021041	1300	202104
Gb1	plastic	3	300	2021042	1000	202104
Gb2	paper	3	60	2021042	1000	202104
Gb3	glass	3	210	2021042	1000	202104
Gb4	organic	3	0	2021042	1000	202104
Gb5	metal	3	2400	2021042	1000	202104
Gb6	glass	3	210	2021042	1000	202104
Gb1	plastic	5	500	2021042	1200	202104
Gb2	paper	5	100	2021042	1200	202104
Gb3	glass	5	350	2021042	1200	202104
Gb4	organic	5	0	2021042	1200	202104
Gb5	metal	5	4000	2021042	1200	202104
Gb6	glass	5	350	2021042	1200	202104
Gb1	plastic	1	100	2021042	1300	202104
Gb2	paper	1	20	2021042	1300	202104
Gb3	glass	2	140	2021042	1300	202104
Gb4	organic	2	0	2021042	1300	202104
Gb5	metal	2	1600	2021042	1300	202104
Gb6	glass	1	70	2021042	1300	202104

Figura 5.25: Datos recibidos en sistema de análisis de datos prueba 4. Fuente: Elaboración propia

5.3. Prueba de almacenamiento, visualización y alertas

Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(€)	Date	Hour	WW
Gb1	plastic	4	400	2021041	1000	202104
Gb2	paper	4	80	2021041	1000	202104
Gb3	glass	4	280	2021041	1000	202104
Gb4	organic	4	0	2021041	1000	202104
Gb5	metal	4	3200	2021041	1000	202104
Gb6	glass	4	280	2021041	1000	202104
Gb1	plastic	3	300	2021041	1200	202104
Gb2	paper	3	60	2021041	1200	202104
Gb3	glass	3	210	2021041	1200	202104
Gb4	organic	3	0	2021041	1200	202104
Gb5	metal	3	2400	2021041	1200	202104
Gb6	glass	3	210	2021041	1200	202104
Gb1	plastic	1	100	2021041	1300	202104
Gb2	paper	2	40	2021041	1300	202104
Gb3	glass	3	210	2021041	1300	202104
Gb4	organic	4	0	2021041	1300	202104
Gb5	metal	5	4000	2021041	1300	202104
Gb6	glass	6	420	2021041	1300	202104
Gb1	plastic	4	400	2021042	1000	202104
Gb2	paper	4	80	2021042	1000	202104
Gb3	glass	4	280	2021042	1000	202104
Gb4	organic	4	0	2021042	1000	202104
Gb5	metal	4	3200	2021042	1000	202104
Gb6	glass	4	280	2021042	1000	202104
Gb1	plastic	3	300	2021042	1200	202104
Gb2	paper	3	60	2021042	1200	202104
Gb3	glass	3	210	2021042	1200	202104
Gb4	organic	3	0	2021042	1200	202104
Gb5	metal	3	2400	2021042	1200	202104
Gb6	glass	3	210	2021042	1200	202104
Gb1	plastic	1	100	2021042	1300	202104
Gb2	paper	2	40	2021042	1300	202104
Gb3	glass	3	210	2021042	1300	202104
Gb4	organic	4	0	2021042	1300	202104
Gb5	metal	5	4000	2021042	1300	202104
Gb6	glass	6	420	2021042	1300	202104

Figura 5.26: Datos recibidos en sistema de análisis de datos prueba 5. Fuente: Elaboración propia

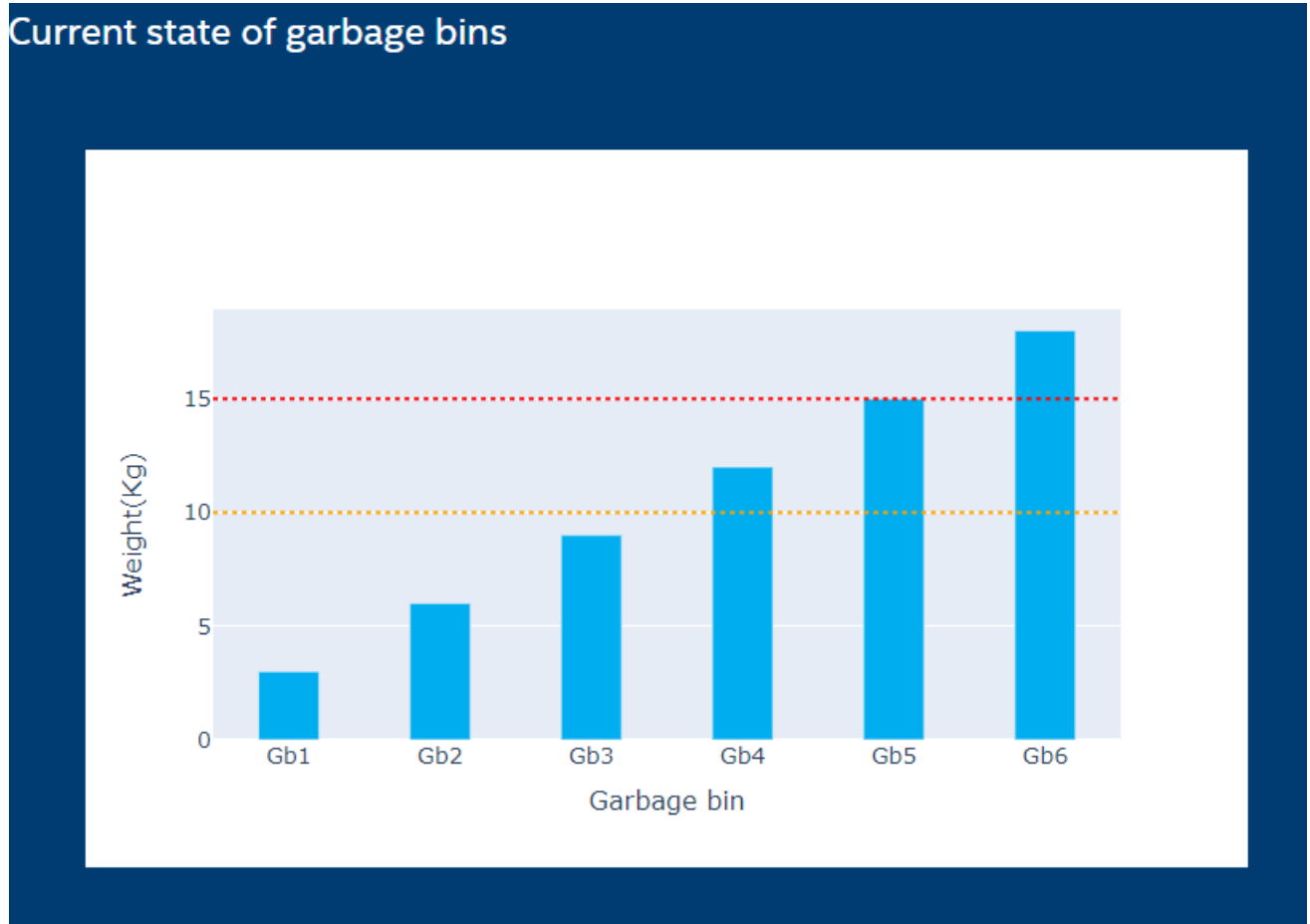


Figura 5.27: Resumen estado actual de todos los recipientes prueba 1. Fuente: Elaboración propia

Summary table			
Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(€)
Gb1	plastic	3	300
Gb2	paper	6	120
Gb3	glass	9	630
Gb4	organic	12	0
Gb5	metal	15	12000
Gb6	glass	18	1260

Figura 5.28: Tabla resumen del estado actual de los recipientes con el valor monetario de la cantidad para la prueba 1. Fuente: Elaboración propia

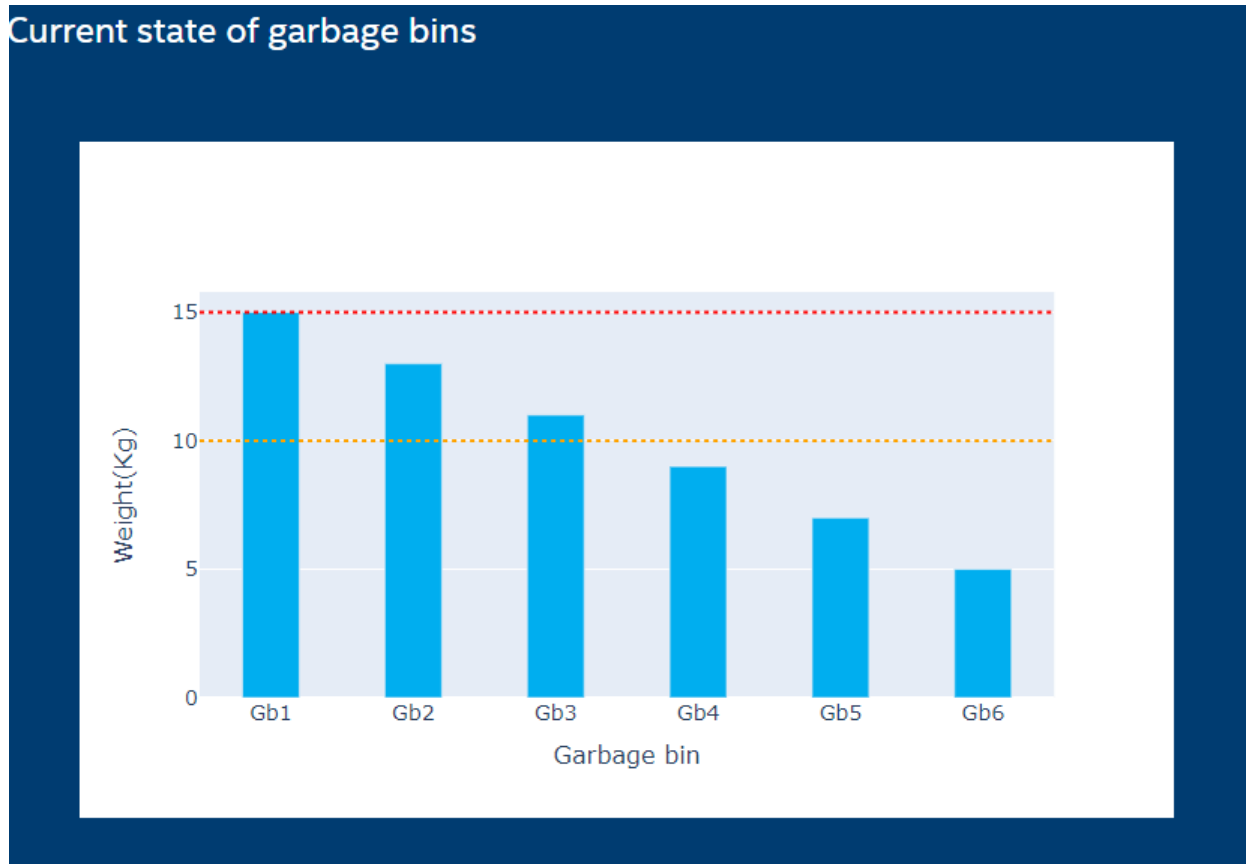


Figura 5.29: Resumen estado actual de todos los recipientes prueba 2. Fuente: Elaboración propia

Summary table			
Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(\$)
Gb1	plastic	15	1500
Gb2	paper	13	260
Gb3	glass	11	770
Gb4	organic	9	0
Gb5	metal	7	5600
Gb6	glass	5	350

Figura 5.30: Tabla resumen del estado actual de los recipientes con el valor monetario de la cantidad para la prueba 2. Fuente: Elaboración propia

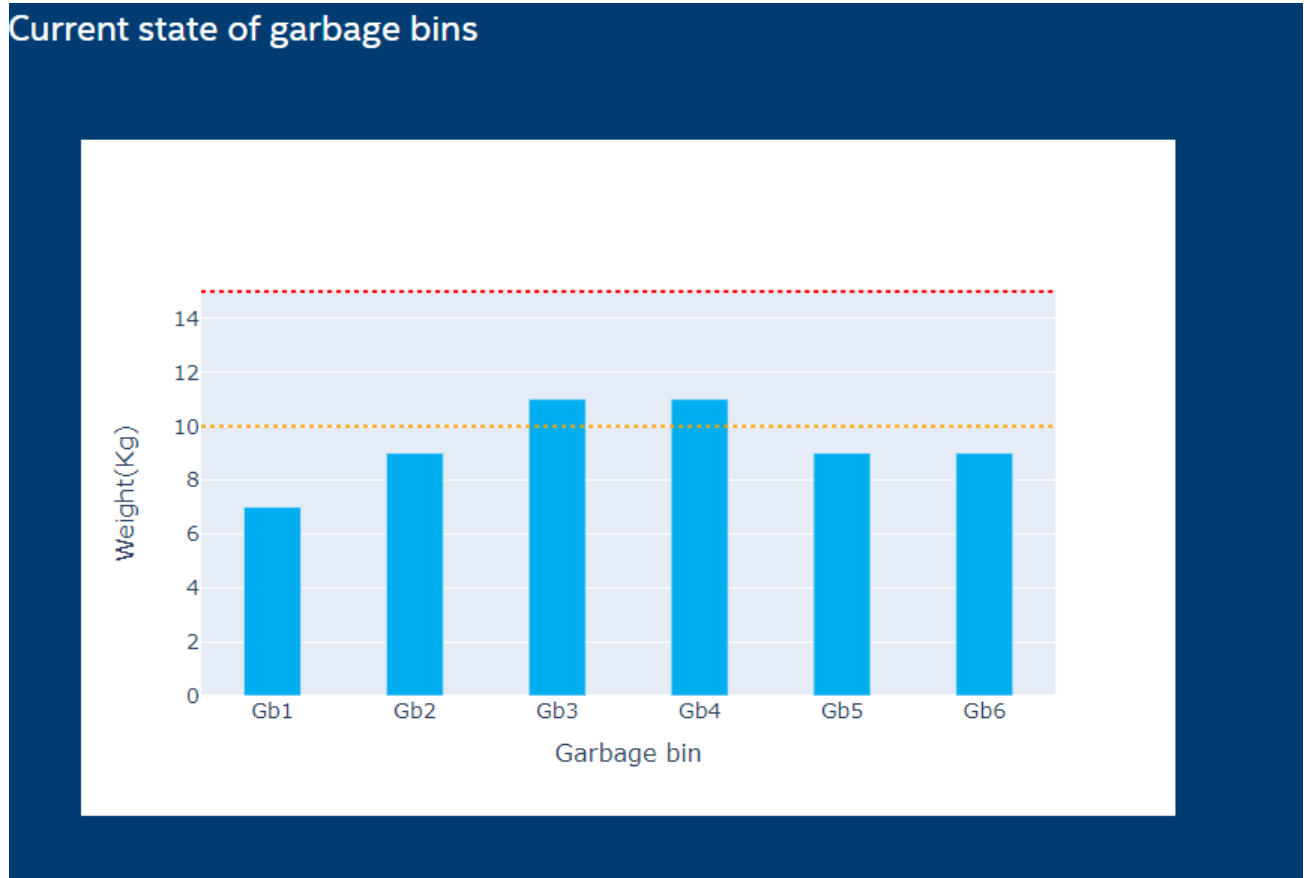


Figura 5.31: Resumen estado actual de todos los recipientes prueba 3. Fuente: Elaboración propia

Summary table			
Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(€)
Gb1	plastic	7	700
Gb2	paper	9	180
Gb3	glass	11	770
Gb4	organic	11	0
Gb5	metal	9	7200
Gb6	glass	9	630

Figura 5.32: Tabla resumen del estado actual de los recipientes con el valor monetario de la cantidad para la prueba 3. Fuente: Elaboración propia

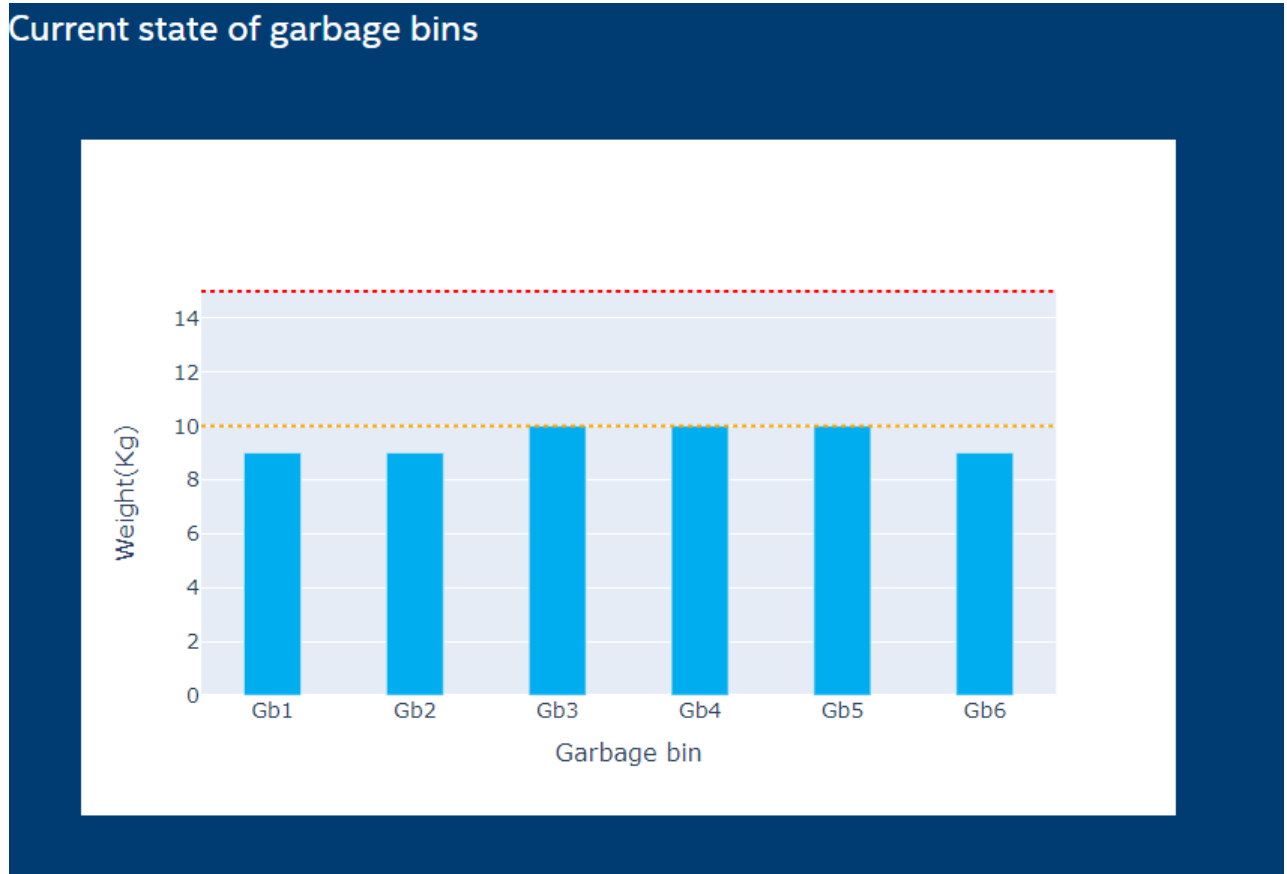


Figura 5.33: Resumen estado actual de todos los recipientes prueba 4. Fuente: Elaboración propia

Summary table			
Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(\$)
Gb1	plastic	9	900
Gb2	paper	9	180
Gb3	glass	10	700
Gb4	organic	10	0
Gb5	metal	10	8000
Gb6	glass	9	630

Figura 5.34: Tabla resumen del estado actual de los recipientes con el valor monetario de la cantidad para la prueba 4. Fuente: Elaboración propia

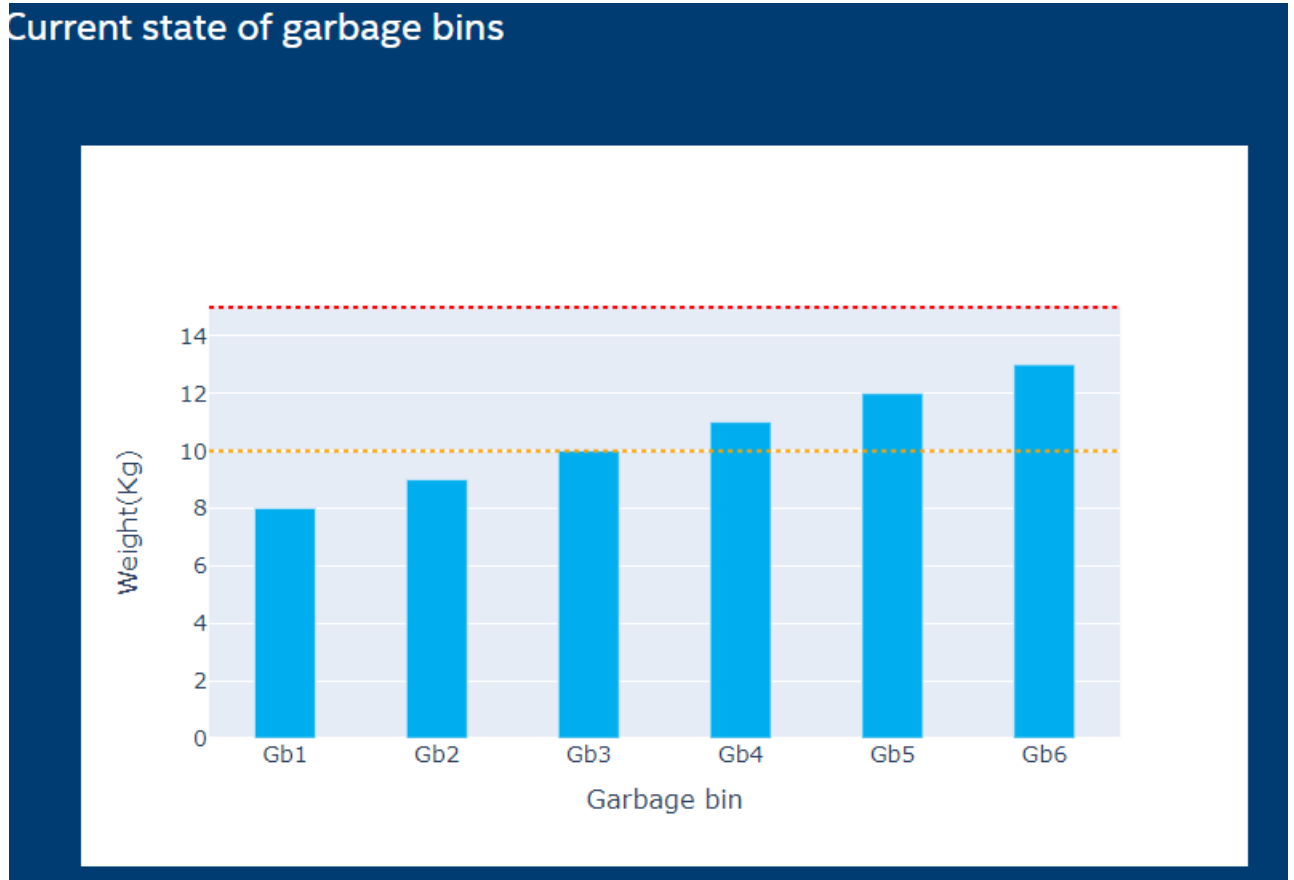


Figura 5.35: Resumen estado actual de todos los recipientes prueba 5. Fuente: Elaboración propia

Summary table			
Garbagebin	Material	Weight(Kg)	Value(€)
Gb1	plastic	8	800
Gb2	paper	9	180
Gb3	glass	10	700
Gb4	organic	11	0
Gb5	metal	12	9600
Gb6	glass	13	910

Figura 5.36: Tabla resumen del estado actual de los recipientes con el valor monetario de la cantidad para la prueba 5. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.8 se observa que los valores de masa y sus respectivos valores monetarios

fueron 100 % correctos en todas las pruebas. Una vez realizadas las pruebas desde envío, almacenamiento y visualización se comprueba que el sistema funciona y muestra los datos de manera adecuada y se cumple con las métricas 2,3,4,5 de la tabla 3.4.

Tabla 5.8: Tabla resumen pruebas de visualización y análisis de datos. Fuente: Elaboración propia

#Prueba	% de datos correctos de valor monetario	% de datos correctos de masa	Resultado
Prueba 1	100	100	Cumple
Prueba 2	100	100	Cumple
Prueba 3	100	100	Cumple
Prueba 4	100	100	Cumple
Prueba 5	100	100	Cumple

5.3.3. Prueba de alerta de correo electrónico

Luego de tener una visualización correcta, se realizan las pruebas para las alertas de recolección esto con el fin de evitar que se sobrepase el nivel máximo permitido. Como se ha mencionado la propuesta de diseño el correo se envía cada 3 horas a las personas encargadas de recolectar los residuos. El correo debe indicar cuales recipientes sobrepasan los 10kg para tener una estrategia proactiva y no provocar lesiones al personal. Los resultados para cada prueba se pueden observar en la figura (5.37-5.41).

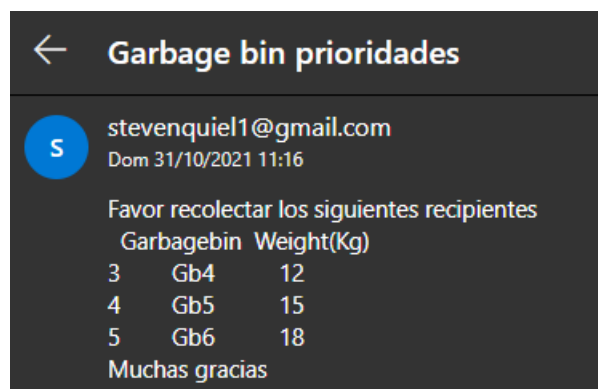


Figura 5.37: Correo de alerta para recolección en la prueba 1. Fuente: Elaboración propia

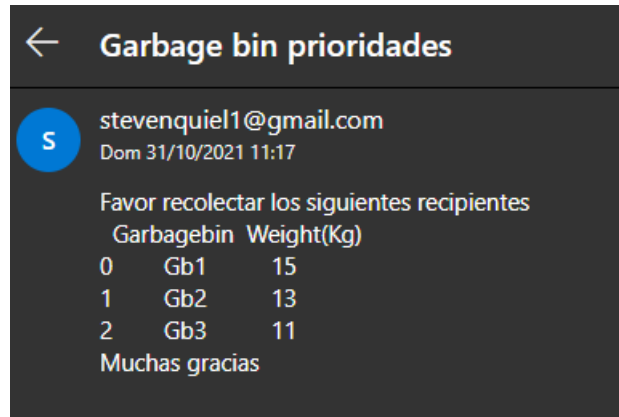


Figura 5.38: Correo de alerta para recolección en la prueba 2. Fuente: Elaboración propia

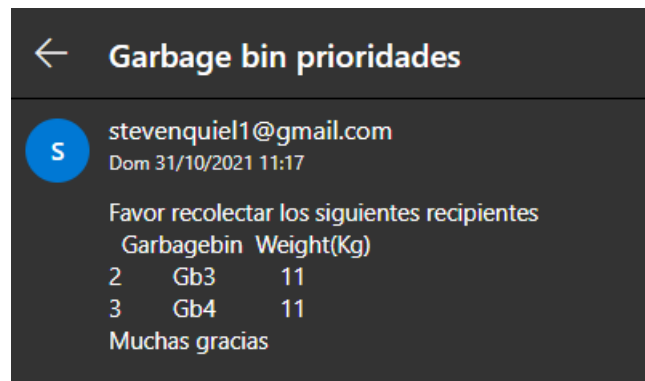


Figura 5.39: Correo de alerta para recolección en la prueba 3. Fuente: Elaboración propia

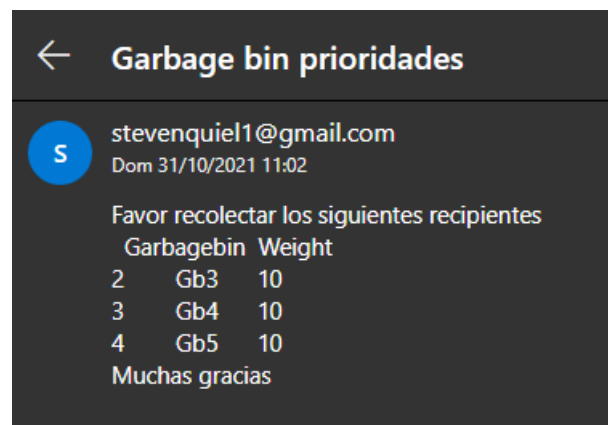


Figura 5.40: Correo de alerta para recolección en la prueba 4. Fuente: Elaboración propia

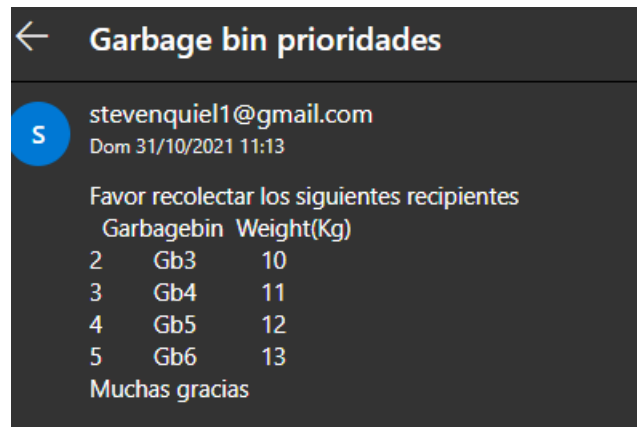


Figura 5.41: Correo de alerta para recolección en la prueba 5. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.9 se muestra un resumen de los resultados donde se obtiene que 100 % de las alertas de recolección son correctas y por lo tanto la cantidad total de material que posee cada basurero es correcta para todas las pruebas. Con lo anterior se cumple con las métricas 4 y 10 de la tabla 3.4.

Tabla 5.9: Tabla resumen pruebas de alertas de recolección. Fuente: Elaboración propia

# de prueba	Alerta esperada	Alerta obtenida	Resultado
Prueba 1	Gb4, Gb5, Gb6	Gb4, Gb5, Gb6	Cumple
Prueba 2	Gb1, Gb2, Gb3	Gb1, Gb2, Gb3	Cumple
Prueba 3	Gb3, Gb4	Gb3, Gb4	Cumple
Prueba 4	Gb3, Gb3, Gb5	Gb3, Gb3, Gb5	Cumple
Prueba 5	Gb3, Gb4, Gb5, Gb6	Gb3, Gb4, Gb5, Gb6	Cumple
Porcentaje de alertas correctas			100 %

5.4. Tarar volver a 0

Para las pruebas de tarado se colocó un peso de 1.9kg que es un estimado de lo que puede pesar un recipiente de plástico de 30cmx30cmx70cm. Luego de tener el peso en la balanza se taró para que se ajustara a 0 y posteriormente se colocaba la carga a medir. Esto se realiza 5 veces para 6 cargas a lo largo del rango de 0 a 15kg para generar repetibilidad de la medición como se muestra en la tabla 5.10. Para las 6 pruebas se

5.5. Validación predicción de cantidad de material

midió el porcentaje de error de medición, el porcentaje más alto fue de 1.56 % para una carga de 0.64kg como se muestra en la tabla 5.11, lo que afirma que el error luego de tarar se mantiene por debajo del 5 % establecido para este proyecto. Por lo tanto se comprueba que la calibración, medición y tarado son correctas cumpliendo con la métrica 1.3 y 12 de establecidas en la etapa de metodología que se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 5.10: Resultados luego de tarar la balanza con un peso inicial de 1,9kg. Fuente: Elaboración propia

Med1(kg) (± 0.01)	Med2(kg) (± 0.01)	Med3(kg) (± 0.01)	Med4(kg) (± 0.01)	Med5(kg) (± 0.01)	Promedio	Valor masa real	% Error
0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.64	1.5625
0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.776	0.773196
1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.58	0.632911
2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.684	0.149031
6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.932	0.317369
11.34	11.34	11.35	11.34	11.33	11.34	11.38	0.351494

Tabla 5.11: Resultados luego de tarar la balanza con un peso inicial de 1,9kg. Fuente: Elaboración propia

# de Prueba	% Error	%Error esperado	Resultado
Prueba 1	1.56	<5	Cumple
Prueba 2	0.77	<5	Cumple
Prueba 3	0.63	<5	Cumple
Prueba 4	0.15	<5	Cumple
Prueba 5	0.32	<5	Cumple
Prueba 6	0.35	<5	Cumple

5.5. Validación predicción de cantidad de material

Para comprobar que los datos que se recolectan contribuyen en el mejoramiento de las estrategias de recolección se realizó un algoritmo de predicción. El problema que se presenta es predecir la cantidad de material a futuro con la ayuda de datos recolectados en el tiempo, existen diferentes tipos de algoritmos que permiten predecir valores a partir de una serie de tiempo, los dos principales tipos son:

- **Tradicional:** Entre estos se encuentran ARIMA(Auto Regressive Integrated Moving Average), SARIMA(Seasonal) los cuales son algoritmos estadísticos donde se obtiene una ecuación a partir de datos pasados y esta se puede utilizar para predecir datos futuros. Para obtener un modelo confiable con estos métodos se debe tener un conocimiento técnico de estadística alto.
- **Machine learning:** Los algoritmos de machine learning son más modernos que los de tipo tradicional y dependen de un set de datos representativos del problema. Los datos pueden ser mensuales, diarios, por hora e incluso por minuto. Este tipo de dato algoritmo está reemplazando los algoritmos tradicionales porque es más fácil de configurar y obtener un modelo fiable sin tener un conocimiento experto en estadística. Los más conocidos son RRN (Recurrent neural network) y LSTM (Long short-term memory) para predecir series de datos en el tiempo, para efectos de la validación se utilizará LSTM.

El lenguaje en el que se desarrolla esta validación es Python ya que permite mayor integración con el sistema de visualización a futuro y además, se cuenta con múltiples bibliotecas que ayudan en el proceso de implementación del algoritmo como pandas, keras y sklearn. El tipo de modelo que se utilizó es un modelo secuencial en el que se tiene una entrada que corresponde a un subconjunto de la serie de datos(time step), una capa oculta LSTM de 4 neuronas con función de activación establecida por la arquitectura y una capa de salida de 1 neurona con función de activación RELU, esta última es muy usada en el diseño de redes neuronales ya que evita el desvanecimiento de gradientes por ser una función lineal y poseer una elevada pendiente por lo tanto es difícil que los valores tiendan a 0. En cuanto a otros parámetros de la red se pueden observar en la tabla 5.12, estos fueron seleccionados basados en la experiencia personal en el desarrollo de problemas similares y teniendo en cuenta que el dataset utilizado es pequeño. Adam es uno de los optimizadores más robustos utilizados, este posee una tasa de aprendizaje adaptativa, integra un momentum adaptativo, el momentum

es una constante que considera los gradientes pasados y define que tanta importancia tienen estos en el gradiente actual. Lo anterior es una herramienta que le permite salir de mínimos locales al aumentar el momentum.

Tabla 5.12: Parámetros de red utilizada. Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor
Optimizador	Adam
Función de error	Mean square error
Función de activación	ReLU
Número de capas ocultas	1
Número de neuronas capa oculta	4
Épocas	20
Tamaño de lote	1

El data set utilizado corresponde a 144 datos de peso recolectados por basurero en el día como se muestra en la figura 5.42. De este se tomó un 67% para entrenamiento y un 33% para validación. Estos valores de pesos se encuentra en el rango de pesos que recolectaría un recipiente por día que va desde los 10kg hasta los 60kg como se muestra en la figura 5.43.

Day	Weight
1	11.2
2	11.8
3	13.2
4	12.9
5	12.1
6	13.5
7	14.8
8	14.8
9	13.6
10	11.9
11	10.4
12	11.8
13	11.5
14	12.6
15	14.1
16	13.5
17	12.5

Figura 5.42: Ejemplo primeras líneas de dataset de peso en kg. Fuente: Elaboración propia

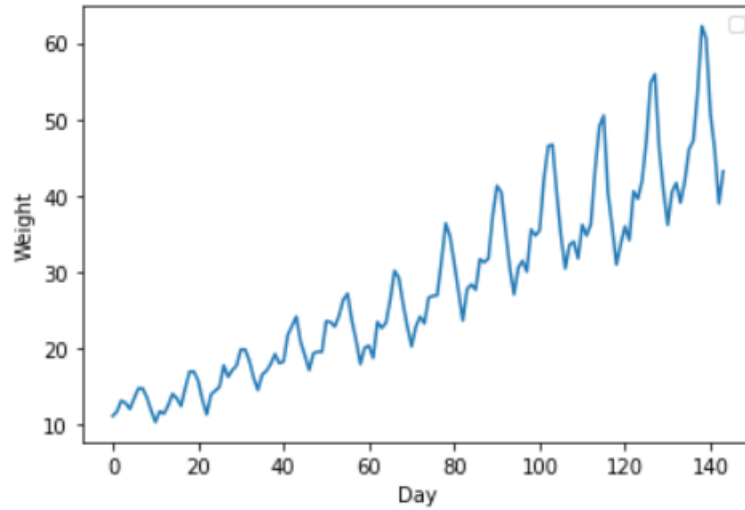


Figura 5.43: Gráfico de peso en kg vs día. Fuente: Elaboración propia

El algoritmo se probó para diferentes cantidades de épocas para comprobar si con 20 se es la cantidad adecuada de décadas. El algoritmo se ejecutó 5 veces para cada cantidad de épocas obteniendo el error promedio que se muestra en la tabla 5.13. Se puede observar que entre 50 y 100 épocas no hay cambio en el error, lo anterior se resalta aún más en las figuras (5.44-5.45) donde luego de 30 épocas el algoritmo llega a una estabilización del error por lo anterior se decide utilizar 50 épocas de manera conservativa para asegurar que encuentre la mejor combinación de pesos de la red.

Tabla 5.13: Error para diferentes épocas. Fuente: Elaboración propia

Épocas	RMSE training	RMSE Val
20	2.79	6.14
50	2.31	5.02
100	2.4	5.07

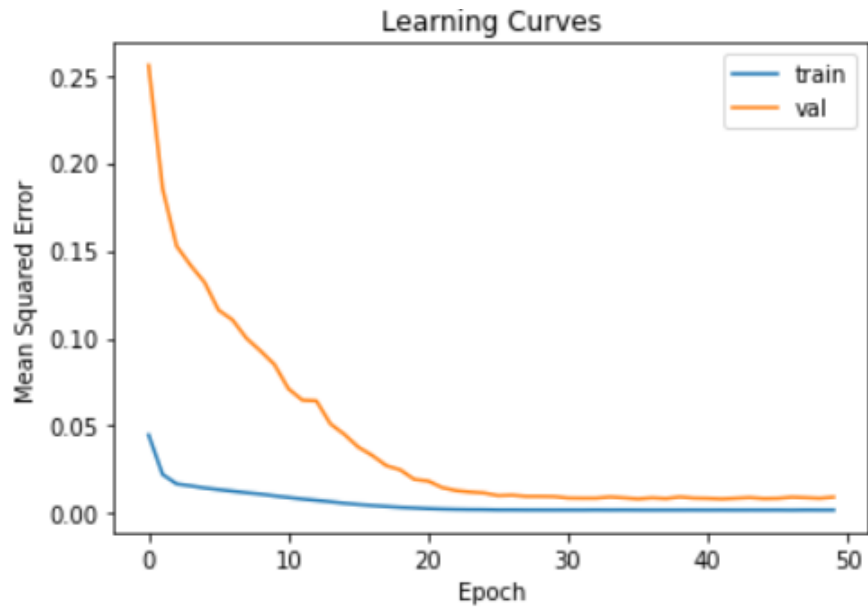


Figura 5.44: Gráfico error 50 épocas. Fuente: Elaboración propia

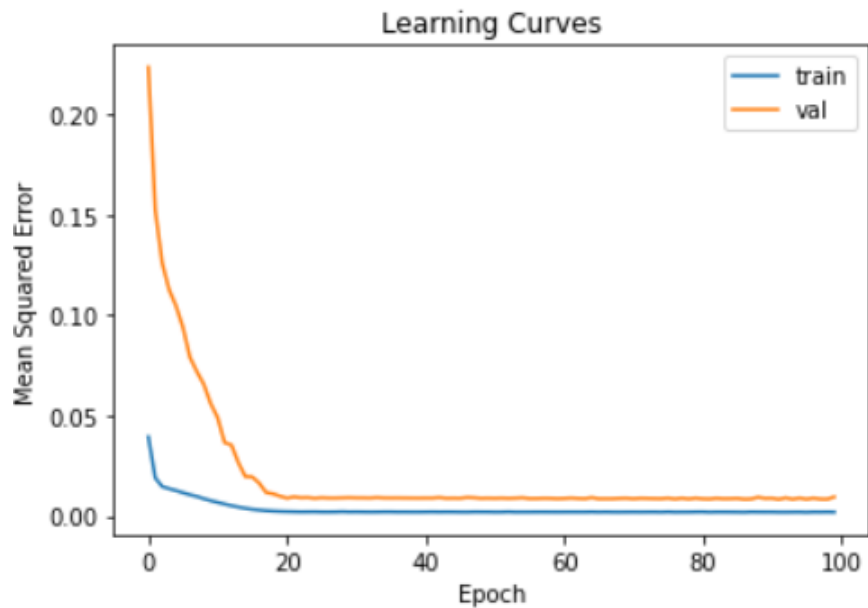


Figura 5.45: Gráfico error 100 épocas. Fuente: Elaboración propia

Los resultados para el dataset utilizado se pueden observar en la figura 5.46 donde se observa que el algoritmo realiza una predicción tanto para los datos de entrenamiento como de validación que son los más importantes. Podemos ver que el modelo tiene un error promedio de aproximadamente de 5kg en la tabla 5.13 con 50 épocas para el

5.5. Validación predicción de cantidad de material

conjunto de validación, lo cual es una buena aproximación para predecir la cantidad de material y mejorar las estrategia de recolección. Cabe resaltar, que esta es una primera iteración para comprobar que los datos recolectados son funcionales para un algoritmo de predicción que permita a los encargados definir mejores estrategias anticipadamente en cuanto a periodos y recursos. Por lo tanto, queda demostrado que se puede predecir la cantidad de material de los basureros a partir de una serie de datos con un algoritmo básico. Conforme aumente las variables y cantidad de datos se pueden utilizar algoritmos más robustos y precisos para la predicción y así optimizar las rutas de recolección.

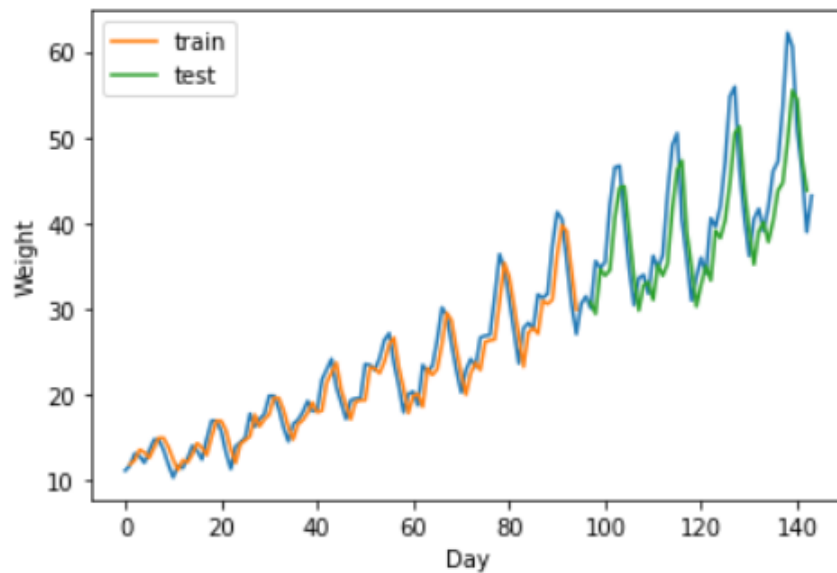


Figura 5.46: Gráfico de peso en kg vs día con datos de validación y entrenamiento.
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 6: Análisis económico

Para realizar el análisis económico primeramente se calculó la inversión del proyecto. Esta se divide en tres tipos de gastos: materiales, diseño e imprevistos de diseño. En la tabla 6.1 se muestra cada uno de los materiales y su correspondiente precio en dólares. En cuanto a imprevistos se toma un 10% en caso de que se deba comprar un material nuevamente. También se incluye los gastos de salario por el diseño, estos corresponden a 20 horas semanales durante 16 semanas, para efectos del cálculo se toma el salario base indicado por el Ministerio de Trabajo de Costa Rica que es aproximadamente \$4.46 la hora.

Tabla 6.1: Desglose de costos del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Parte	Cantidad	Precio Unidad	Precio Total
Boton acero inoxidable 12mm	1	\$3.95	\$3.95
Arduino uno	1	\$20.00	\$20.00
Fuente de alimentación	1	\$10.00	\$4.95
Acrílico	1	\$30.00	\$30.00
Impresión 3d	1	\$15.00	\$15.00
Celdas de carga	4	\$6.95	\$27.80
Amplificador con ADC	1	\$11.95	\$11.95
Tornillos M3	8	\$2.00	\$2.00
Perilla	1	\$0.65	\$0.65
Potenciómetro	1	\$1.10	\$1.10
LCD 16x2	1	\$7.20	\$7.20
ESP 8266 Wifi	1	\$5.95	\$5.95
Subtotal Materiales	-	-	\$130.55
Imprevistos	10 %	\$13.06	\$13.06
Subtotal Imprevistos	-	-	\$13.06
Tiempo de Diseño	320	\$4.46	\$1,427.91
Subtotal Diseño	-	-	\$1,427.91
Total	-	-	\$1,571.52

Según la tabla 6.1 el costo de los materiales cumple con el presupuesto de valor ideal planteado, que es \$300. Esto indica que la empresa puede realizar el proyecto, sin embargo se realiza un análisis más profundo para obtener las ganancias a largo plazo con indicador como el VAN, ROI y TIR.

Primero se analiza la mejora del sistema con el ingeniero encargado de establecer las rondas y periodos de recolección. Para el sistema la cantidad mínima para que un basurero sea recolectado es 10 kg, actualmente se revisa uno a uno los basureros. La cantidad de rondas que se realizan a diario son 6, por lo tanto, el sistema a su capacidad máxima recolecta 60 kg y mensualmente esto sería 1800 kg para un basurero multiplicado por 60 basureros sería 108000. En promedio mensualmente se recolecta 25000 kg por basurero. El porcentaje de la capacidad máxima utilizada es 23.14 % ($25 \times 100 / 108$) por ello hay un 76.85 % de oportunidad de mejora en la estrategia de recolección. Para ser conservadores se tomará el 60 % de un salario de una persona

de limpieza como reinversión en otras actividades no relacionadas a la recolección de residuos, el salario según el Ministerio de Trabajo para el personal limpieza corresponde a \$512 mensuales, para un tipo de cambio del dolar de 625 colones por cada dolar. Cabe resaltar que esta ganancia es cuando el sistema está implementado en los 60 basureros de la empresa. El 60 % de \$512 corresponde a \$307 mensuales y \$3686 anuales de ahorro por reinversión.

Tabla 6.2: Análisis de mejora de recolección. Fuente: Elaboración propia

Análisis de mejora	
Cantidad mínima para recolectar 1b(kg)	10
Cantidad máxima en 6 rondas 1b(kg)	60
Mensual 1 basurero(kg)	1800
Total 60 basureros (kg)	108000
Total actual por basurero en promedio al mes(kg)	25000
Capacidad utilizada %	23.14
Capacidad mejora %	76.85

Para implementar el sistema en 60 basureros la inversión inicial sería de \$10044 con un costo anual de mantenimiento de 783\$ relacionado a reemplazo de elementos. En la figura 6.1 se observa los cálculos realizados de costos para obtener el valor actual neto. El estudio se realizó a 5 años y con una tasa de descuento del 15 %, debido que así el estándar de proyección de la empresa.

ROI (Basado en valor actual neto, \$)		2021	2022	2023	2024	2025	2026	Total	VA
Beneficios	Tipo de Ahorro	\$0	\$3,686	\$3,870	\$4,064	\$4,267	\$4,480	\$20,367	\$13,471
Horas ahorradas para reinversión	Horas	\$0	\$3,686	\$3,870	\$4,064	\$4,267	\$4,480	\$20,367	\$13,471
Item 2								\$0	\$0
Costo del Proyecto	Tipo de Inversión	\$10,044	\$783	\$783	\$783	\$783	\$783	\$13,961	\$12,670
Inversión inicial y Mantenimiento Anual	Capital Inicial	\$7,833	\$783	\$783	\$783	\$783	\$783	\$11,750	\$10,459
Imprevistos	Capital Inicial	\$783						\$783	\$783
Costo de Tiempo de Diseño	Horas Trabajadas	\$1,428						\$1,428	\$1,428
IMPUESTOS		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Cambio de capital de trabajo								\$0	\$0
Flujo de Caja Neto		(\$10,044)	\$2,903	\$3,087	\$3,281	\$3,484	\$3,697	\$6,407	\$801
Flujo de Caja Neto Descontado		(\$10,044)	\$2,524	\$2,334	\$2,157	\$1,992	\$1,838		\$801
Valor Actual Neto (\$)		\$801							

Figura 6.1: Estudio económico por 5 periodos para el cálculo de retorno y valor actual neto. Fuente: Elaboración propia

La tabla 6.3 muestra el beneficio y el costo total de implementar el sistema con un retorno total de \$6407. El VAN es positivo por lo tanto es viable realizar el proyecto y el TIR es de 18.2% de la inversión inicial. Por lo anterior se concluye que a 5 años el proyecto es viable y generará ganancias en el proceso de recolección de residuos.

Tabla 6.3: Indicadores y cálculo de retorno total sobre la inversión. Fuente: Elaboración Propia

Beneficio Total	\$20,367
Costo Total	\$13,961
Retorno Total	\$6,407
VAN (Después de impuestos)	\$801
TIR	18.2 %
ROI	45.9 %
Recuperación de Inversión (Años)	4

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

- Se estableció un estudio de sistemas similares a los deseados que permitió definir los principales requerimientos de la propuesta como se muestra en la tabla 2.1 y realizar el proceso de calibración del sistema de medición de masa que se muestra en la tabla 5.3
- Se diseñó un sistema que permite medir cargas ingresadas a un basurero de reciclaje en un rango de 0 a 15kg con un porcentaje de error menor al 5 % comparado con pesos medidos en una balanza calibrada, y además el sistema retorna a 0 y mide adecuadamente luego de tararse en 100 % de las pruebas realizadas, los planos de este diseño se muestran en el Anexo 9.
- Se diseñó un sistema de envío, almacenamiento y visualización de los datos de cantidad de material mostrando 100 % de los valores de masa correctamente comparado con el valor almacenado y 100 % de los valores monetarios correctamente comparado con el cálculo manual.
- Se validó el sistema de medición, almacenamiento y visualización a través de una prueba de concepto funcional, simulaciones mecánicas y de código de programa-

ción, las cuales cumplieron con 100 % de las pruebas diseñadas como se muestra en las tablas 5.1, tabla (5.4-5.9) y tabla 5.11.

- Se comprobó que el sistema de medición de masa cumple con un factor de seguridad mayor a 2.5 y además cumple con los requerimientos de error menor a 5 % al ubicar la carga en diferentes lugares de la plataforma de medición.
- Se diseñó un sistema que permite dar trazabilidad de la cantidad de material recolectada por contenedor que contribuye al mejoramiento de las estrategias de recolección de residuos.

7.2. Recomendaciones

- En caso de cambiar el tamaño del recipiente que se vaya a pesar, se puede aumentar o disminuir las dimensiones de la plataforma, siempre y cuando se mantenga la simetría entre las celdas de carga para que haya una mejor distribución del peso.
- Si se desea utilizar el sistema para pesar líquidos peligrosos y se cuenta con el presupuesto se debe cambiar las estructuras de medición a materiales metálicos que no se vean afectados en caso de derrame.
- Se recomienda utilizar los datos almacenados para la implementación de algoritmos de aprendizaje robustos que ayuden a la predicción y optimización de rutas.

Referencias bibliográficas

- [1] Intel Corporation, "Intel in Costa Rica", Intel.la, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/corporate-responsibility/intel-in-costa-rica.html>. [Último acceso: Mayo 2021].
- [2] Intel corporation, "La visión de Intel para el futuro de la tecnología", Intel.la, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/company-overview/company-overview.html>. [Último acceso: Mayo 2021].
- [3] Intel, «Intel and the Environment,» 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.intel.com/content/www/us/en/environment/intel-and-the-environment.html>. [Último acceso: Mayo 2021].
- [4] Consejo de Seguridad ocupacional MTSS, DECRETO N 11074-TSS, 31 Julio 2018.[En línea]. Disponible en: https://www.cso.go.cr/legislacion/decretos_normativa_reglamentaria/Decreto%20N%C2%B0%2011074%20TSS%20sobre%20Levantamiento%20de%20Pesos.pdf. [Último acceso: Septiembre 2021].
- [5] Solubiz, «Smart IoT Scale,» SoluBiz, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.solubiz.co.kr/official.php/home/info/2383>. [Último acceso: Agosto 2021].

- [6] M. intec, «Balanza industrial Signum®», directindustry, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/minebea-intec/product-193552-1942653.html>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [7] E. G. Moreno, Automatización de procesos industriales, Valencia : Universitat Politècnica de Valencia , 1999
- [8] E. Mandado, Autómatas Programables y Sistemas de automatización, Barcelona: MARCOCOMBO, 2009.
- [9] R. E. Arrieta, "Tutorial básico para la programación de PLC," 2003. [En línea]. Disponible en: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0024806.pdf>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [10] R. A. FREEDMAN, Física universitaria volumen 1, Mexico: Pearson Education, 2009.
- [11] I. Mecafenix, "Tiposde balanzas" 12 Marzo 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/medicion/balanza/>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [12] R. M. Schoonover, "A look at the electronic analytical balance," ACS Publications, vol. A, p. 973, 1982.
- [13] ispisa, "LPX / M-LPXR pesaje de insumos industriales," 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.ispisa.com.ar/detalle.php?a=lpx-/-m-lpxr&t=22&d=60>. [Último acceso: 16 Agosto 2021].
- [14] S. AL-MUTLAQ, "Getting Started with Load Cells," sparkfun, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-load-cells>. [Último acceso: Agosto 2021].

- [15] L. Prielipp, "WHAT IS A LOAD CELL?," RealPars, 26 Agosto 2019. [En línea]. Disponible en: <https://realpars.com/load-cell/>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [16] R. Nakka, "Experimental Rocketry Site," 16 Agosto 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.nakkarocketry.net/hydlc.html>.
- [17] P. I. Urgiles and Q. M. Luis Miguel , "Aplicación de galgas extensiométricas en el laboratorio de mecánica de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a carga," Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Junio 2010. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4482/1/UPS-CT001920.pdf>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [18] UNE, «Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP),» UNE-EN , 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060015>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [19] I. society, «LA INTERNET DE LAS COSAS,» Internet society, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [20] Oracle, «¿Qué es una base de datos?,» Oracle, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [21] R. Marín, «Los gestores de bases de datos más usados en la actualidad.,» Inesem, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/informatica-y-tics/los-gestores-de-bases-de-datos-mas-usados/>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [22] M. Coltel, «Dataviz: ¿Qué herramienta de visualización de datos elegir?,» Wildcode, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.wildcodeschool.com/es->

- ES/blog/dataviz-herramienta-de-visualizacion-de-datos. [Último acceso: Agosto 2021].
- [23] Atlas Tecnológico, «La ‘revolución’ de la limpieza llega a Madrid: sensores para una gestión más eficaz,» Atlas Tecnológico, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://atlastecnologico.com/proyecto-destacado/la-revolucion-de-la-limpieza-llega-a-madrid-sensores-para-una-gestion-mas-eficaz/>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [24] S. Murugaanandam, V. Ganapathy and R. Balaji, ".Efficient IOT Based Smart Bin for Clean Environment,"2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), 2018, pp. 0715-0720, doi: 10.1109/ICCSP.2018.8524230.
- [25] M. L. S. SEAN, «SMART RECYCLE AND REWARD BIN,» UTAR, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.utar.edu.my/94/1/EE-2011-0807421-1.pdf>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [26] M. H. Abd Wahab, A. A. Kadir, M. R. Tomari and M. H. Jabbar, "Smart Recycle Bin: A Conceptual Approach of Smart Waste Management with Integrated Web Based System,"2014 International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS), 2014, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICITCS.2014.7021812.
- [27] J. M. U. Aguila, H. S. Dimayuga, K. O. F. Pineda and G. V. Magwili, "Development of Smart Waste Bin with Integrated Volume and Weight Sensor,"2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/HNICEM48295.2019.9072885.

- [28] A. Premgi, F. Martins and D. Domingos, "An infrared-based sensor to measure the filling level of a waste bin,"2019 International Conference in Engineering Applications (ICEA), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/CEAP.2019.8883303.
- [29] N. Baras, D. Ziouzos, M. Dasygenis and C. Tsanaktsidis, "A cloud based smart recycling bin for in-house waste classification,"2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICECCE49384.2020.9179349.
- [30] D. D. Vu and G. Kaddoum, "A waste city management system for smart cities applications,"2017 Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO), 2017, pp. 225-229, doi: 10.1109/RTUWO.2017.8228538.
- [31] A. S. Wijaya, Z. Zainuddin and M. Niswar, "Design a smart waste bin for smart waste management,"2017 5th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA), 2017, pp. 62-66, doi: 10.1109/ICA.2017.8068414.
- [32] M. C. Xenya, E. D'souza, K. D. Woelorm, R. Nii Adjei-Laryea and E. Baah-Nyarkoh, "A Proposed IoT Based Smart Waste Bin Management System with An Optimized Route: A Case Study of Ghana,"2020 Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICTAS47918.2020.234005.
- [33] H. Poddar, R. Paul, S. Mukherjee and B. Bhattacharyya, "Design of smart bin for smarter cities,"2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/IPACT.2017.8245162.
- [34] A. A. Khan, A. A. Sajib, F. Shetu, S. Bari, M. S. R. Zishan and K. Shikder, "Smart Waste Management System for Bangladesh,"2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST), 2021, pp. 659-663, doi: 10.1109/ICREST51555.2021.9331159.

- [35] S. Murugaanandam, V. Ganapathy and R. Balaji, "Efficient IOT Based Smart Bin for Clean Environment," 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), 2018, pp. 0715-0720, doi: 10.1109/ICCSP.2018.8524230.
- [36] K. Ulrich and S. Eppinger, Diseño y desarrollo de productos. México, D.F.: McGraw-Hill Educación, 2013.
- [37] Sparkfun, «Load Cell - 10kg, Straight Bar,» Sparkfun, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.sparkfun.com/products/13329?_ga=2.83818260.321030390.1630466282-1493086892.1623856856. [Último acceso: Agosto 2021].
- [38] Sparkfun, «Load Sensor - 50kg (Generic),» Sparkfun, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/products/10245>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [39] Sparkfun, «Load Cell - 200kg, S-Type (TAS501),» Sparkfun, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/products/14282>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [40] Sparkfun, «Load Cell - 50kg, Disc (TAS606),» Sparkfun, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.sparkfun.com/products/13331?_ga=2.83818260.321030390.1630466282-1493086892.1623856856 [Último acceso: Agosto 2021].
- [41] ARDUINO TEAM, «A 3D-printed scale for your kitchen counter,» ARDUINO TEAM, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://blog.arduino.cc/2019/09/25/a-3d-printed-scale-for-your-kitchen-counter/>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [42] Amazon, «Taylor Precision 7506 Báscula Digital,» Amazon, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.amazon.com/Precision-7506-B%C3%A1scula-Capacidad-templado-temperatura/dp/B0000E2PEI/ref=sr_1_1_sspa?keywords=taylor-Precision-Product&qid=1636046058&sr=

- 8-1-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEzOFFDMjVPSzNGOFdNJimVuY3J5cHR1Z
- [Último acceso: Agosto 2021].
- [43] F. Beer, R. Johnston, J. DeWolf and D. Mazurek, *Mecánica de materiales*, 5th ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2009.
- [44] Towards data science, «10 Compelling Reasons to Learn Python for Data Science,» Towards data science, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://towardsdatascience.com/10-compelling-reasons-to-learn-python-for-data-science-fa31160321cb>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [45] PYNative, Python MySQL Database Connection Explained with Examples.[En línea]. Disponible en: <https://pynative.com/python-mysql-databaseconnection/>. [Último acceso: Agosto 2021]
- [46] microjpm, «12mm 12V Green LED Metal Push Button,» microjpm, 2021. [En línea]. Available: <https://www.microjpm.com/products/ad57907/>. [Último acceso: Octubre 2021].
- [47] Crcibernetica, «Wall Adapter Power Supply - 9V 1A,» Crcibernetica, 2021. [En línea]. Available: <https://www.crcibernetica.com/wall-adapter-power-supply-9v-1a/>. [Último acceso: Octubre 2021]
- [48] Crcibernetica, «Wall Adapter Power Supply - 9V 650mA,» Crcibernetica, 2021. [En línea]. Available: <https://www.crcibernetica.com/wall-adapter-power-supply-9v-650ma/>. [Último acceso: Octubre 2021].
- [49] Crcibernetica, «12V 2A Power Supply Adapter,» Crcibernetica, 2021. [En línea]. Available: <https://www.crcibernetica.com/12v-2a-power-supply-adapter/>. [Último acceso: Octubre 2021].

Capítulo 8: Anexos

8.1. Pruebas de error de medición

Tabla 8.1: Pruebas de error de medición. Fuente: Elaboración propia

	Masa 1 (± 0.01)	Masa 2 (± 0.01)	Masa 3 (± 0.01)	Masa 4 (± 0.01)	Masa 5 (± 0.01)	Masa 6 (± 0.01)	Masa 7 (± 0.01)	Masa 8 (± 0.01)	Masa 9 (± 0.01)	Masa 10 (± 0.01)	Masa 11 (± 0.01)	Masa 12 (± 0.01)
Med 1	0.65	0.77	1.57	1.90	4.23	2.67	6.90	8.80	11.38	12.10	13.89	15.79
Med 2	0.65	0.77	1.57	1.89	4.23	2.66	6.90	8.80	11.31	12.10	13.87	15.79
Med 3	0.65	0.77	1.57	1.90	4.23	2.68	6.89	8.80	11.31	12.11	13.87	15.79
Med 4	0.65	0.77	1.57	1.89	4.23	2.67	6.89	8.80	11.31	12.10	13.87	15.79
Med 5	0.65	0.77	1.57	1.89	4.24	2.67	6.89	8.80	11.33	12.10	13.87	15.79
Med 6	0.63	0.77	1.57	1.90	4.24	2.67	6.89	8.80	11.33	12.10	13.88	15.79
Med 7	0.63	0.77	1.57	1.89	4.24	2.66	6.89	8.80	11.33	12.10	13.88	15.79
Med 8	0.63	0.77	1.57	1.90	4.23	2.66	6.90	8.80	11.33	12.11	13.88	15.79
Med 9	0.63	0.77	1.57	1.90	4.23	2.67	6.89	8.80	11.33	12.11	13.88	15.79
Med 10	0.63	0.77	1.57	1.89	4.24	2.67	6.89	8.80	11.33	12.11	13.88	15.79
Med 11	0.63	0.77	1.57	1.90	4.23	2.67	6.89	8.80	11.33	12.10	13.88	15.79
Med 12	0.63	0.77	1.57	1.89	4.24	2.67	6.89	8.80	11.33	12.10	13.88	15.79
Med 13	0.63	0.77	1.57	1.90	4.24	2.66	6.89	8.80	11.33	12.10	13.88	15.79
Med 14	0.63	0.77	1.57	1.89	4.23	2.67	6.89	8.80	11.33	12.10	13.88	15.79
Med 15	0.63	0.77	1.56	1.89	4.23	2.66	6.89	8.80	11.33	12.10	13.88	15.79
Med 16	0.63	0.77	1.56	1.90	4.24	2.67	6.89	8.80	11.33	12.10	13.88	15.79
Med 17	0.63	0.77	1.56	1.89	4.23	2.67	6.89	8.80	11.33	12.10	13.88	15.79
Med 18	0.63	0.77	1.56	1.89	4.24	2.67	6.89	8.80	11.33	12.11	13.88	15.79
Med 19	0.63	0.77	1.56	1.89	4.24	2.66	6.89	8.80	11.33	12.11	13.88	15.79
Med 20	0.63	0.77	1.56	1.89	4.24	2.67	6.89	8.80	11.33	12.11	13.88	15.79
Prom	0.635	0.770	1.567	1.894	4.235	2.668	6.892	8.800	11.330	12.104	13.879	15.790
Vreal	0.64	0.776	1.58	1.9	4.264	2.684	6.932	8.82	11.38	12.156	13.886	15.786
%Error	0.78	0.77	0.82	0.32	0.68	0.61	0.58	0.23	0.44	0.43	0.05	0.03
Des.stdr	0.0089	0	0.0047	0.0050	0.0051	0.0055	0.0037	0	0.0139	0.0049	0.0049	0

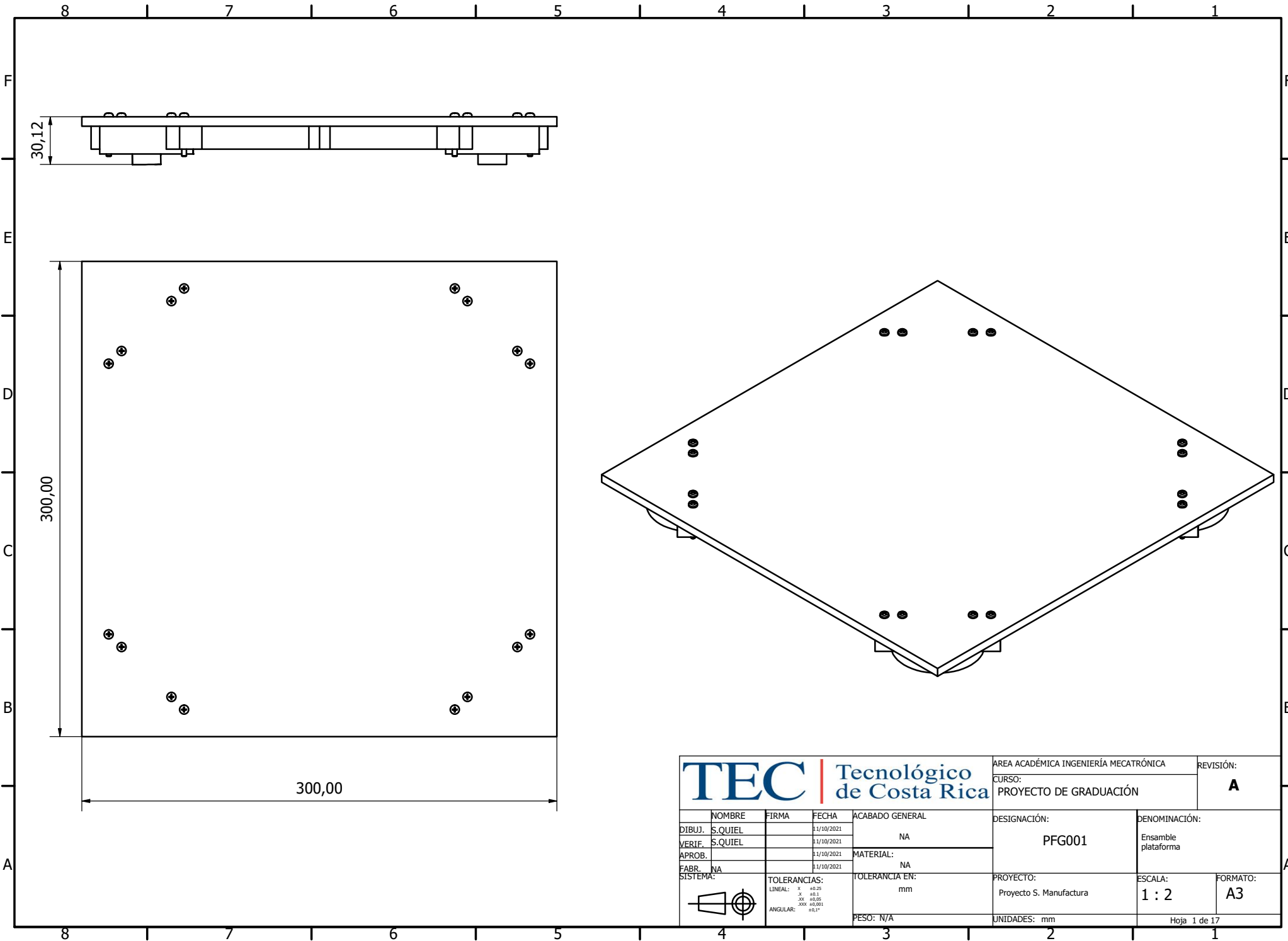
8.1. Pruebas de error de medición

Tabla 8.2: Pruebas de error probando una misma carga en diferentes lugares de la plataforma. Fuente: Elaboración propia.

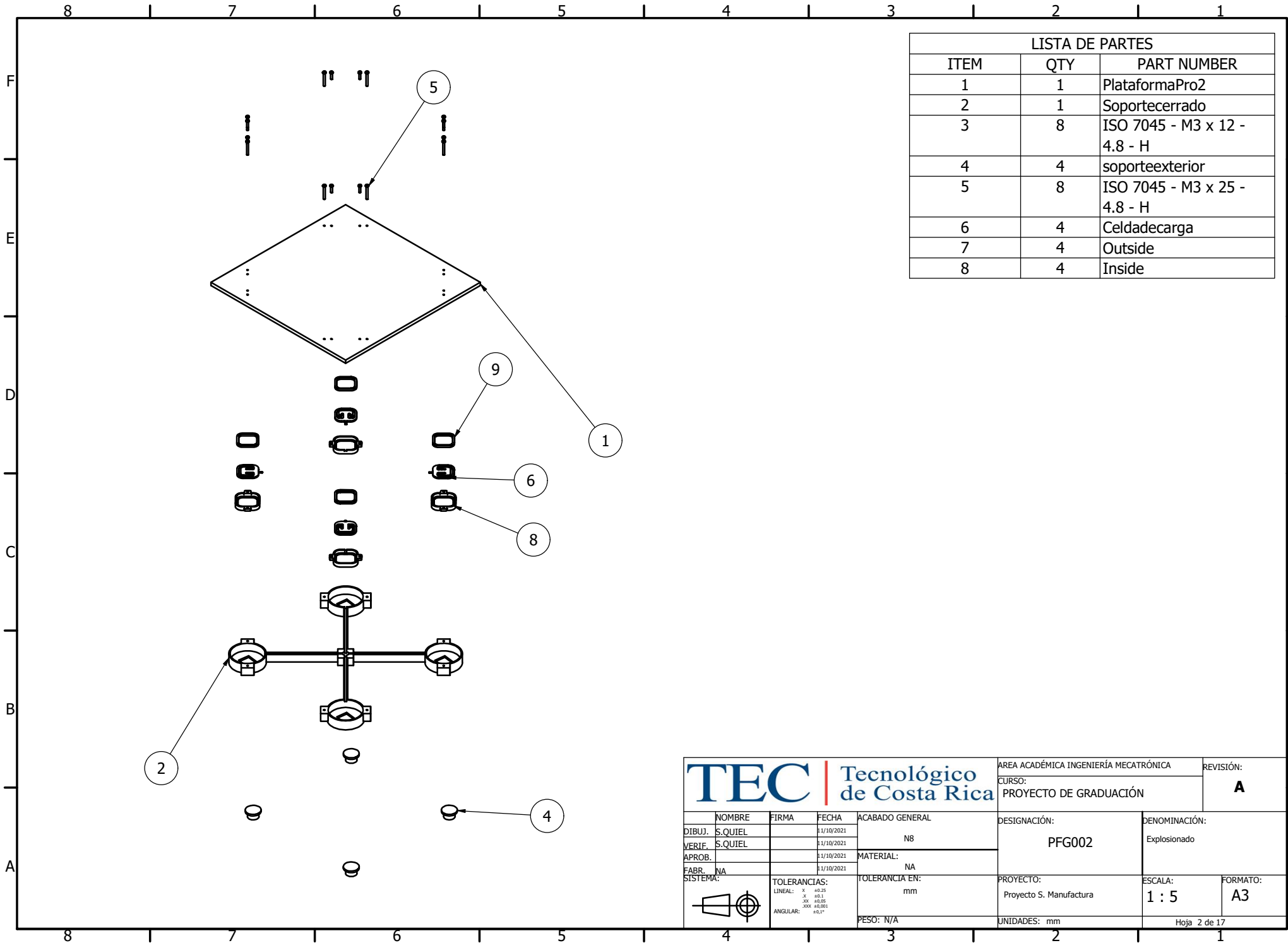
	SI (kg)	SD (kg)	II (kg)	ID (kg)	Centro (kg)	Prom (kg)	Vreal (kg)	%Error	Des.stdr
Ciclo 1(± 0.01)	1.91	1.91	1.89	1.91	1.90	1.904	1.9	0.21	0.0089
Ciclo 2(± 0.01)	1.92	1.93	1.90	1.92	1.91	1.916	1.9	0.84	0.0114
Ciclo 3(± 0.01)	1.93	1.93	1.92	1.89	1.91	1.916	1.9	0.84	0.0167
Ciclo 4(± 0.01)	1.91	1.91	1.89	1.90	1.89	1.900	1.9	0.00	0.0100
Ciclo 5(± 0.01)	1.91	1.91	1.89	1.91	1.90	1.904	1.9	0.21	0.0089
Ciclo 6(± 0.01)	1.92	1.91	1.88	1.90	1.89	1.900	1.9	0.00	0.0158
Ciclo 7(± 0.01)	1.90	1.91	1.88	1.90	1.90	1.898	1.9	0.11	0.0110
Ciclo 8(± 0.01)	1.91	1.91	1.89	1.91	1.90	1.904	1.9	0.21	0.0089
Ciclo 9(± 0.01)	1.91	1.92	1.89	1.92	1.89	1.906	1.9	0.32	0.0152
Ciclo 10(± 0.01)	1.91	1.91	1.89	1.90	1.90	1.902	1.9	0.11	0.0084
Ciclo 11(± 0.01)	1.92	1.91	1.89	1.90	1.90	1.904	1.9	0.21	0.0114
Ciclo 12(± 0.01)	1.93	1.92	1.89	1.90	1.89	1.906	1.9	0.32	0.0182
Ciclo 13(± 0.01)	1.91	1.91	1.88	1.89	1.89	1.896	1.9	0.21	0.0134
Ciclo 14(± 0.01)	1.91	1.92	1.89	1.90	1.89	1.902	1.9	0.11	0.0130
Ciclo 15(± 0.01)	1.90	1.91	1.88	1.89	1.89	1.894	1.9	0.32	0.0114
Ciclo 16(± 0.01)	1.91	1.92	1.88	1.90	1.89	1.900	1.9	0.00	0.0158
Ciclo 17(± 0.01)	1.90	1.91	1.88	1.90	1.89	1.896	1.9	0.21	0.0114
Ciclo 18(± 0.01)	1.91	1.92	1.89	1.90	1.89	1.902	1.9	0.11	0.0130
Ciclo 19(± 0.01)	1.91	1.92	1.89	1.90	1.89	1.902	1.9	0.11	0.0130
Ciclo 20(± 0.01)	1.90	1.92	1.89	1.90	1.89	1.900	1.9	0.00	0.0122

Capítulo 9: Anexo 2

9.1. Planos de diseño

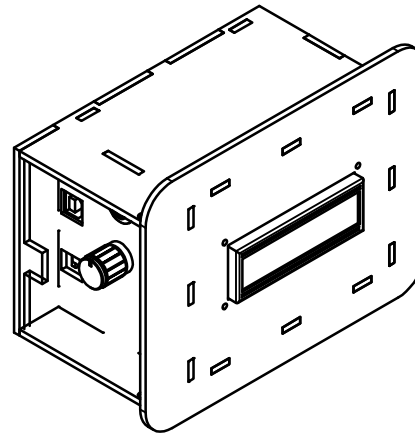
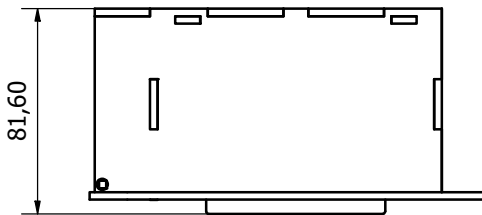
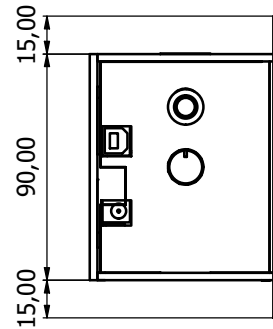
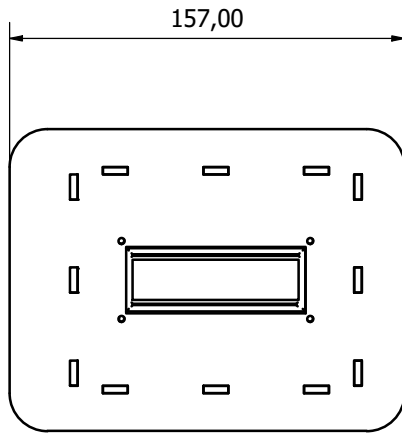



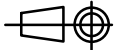
 Tecnológico de Costa Rica				AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN		REVISIÓN: A
NOMBRE: DIBUJ.: S. QUIEL VERIF.: S. QUIEL APROB.: FABR.: NA SISTEMA:	FIRMA: 	FECHA: 1/10/2021 1/10/2021 1/10/2021 1/10/2021	ACABADO GENERAL: NA	MATERIAL: NA	DESIGNACIÓN: PFG001	DENOMINACIÓN: Ensamble plataforma
TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0,25 X ±0,1 ∞ ±0,05 ∞∞ ±0,001 ANGULAR: ±0,1°			TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO: Proyecto S. Manufactura	ESCALA: 1 : 2	FORMATO: A3
			PESO: N/A	UNIDADES: mm	Hoja 1 de 17	

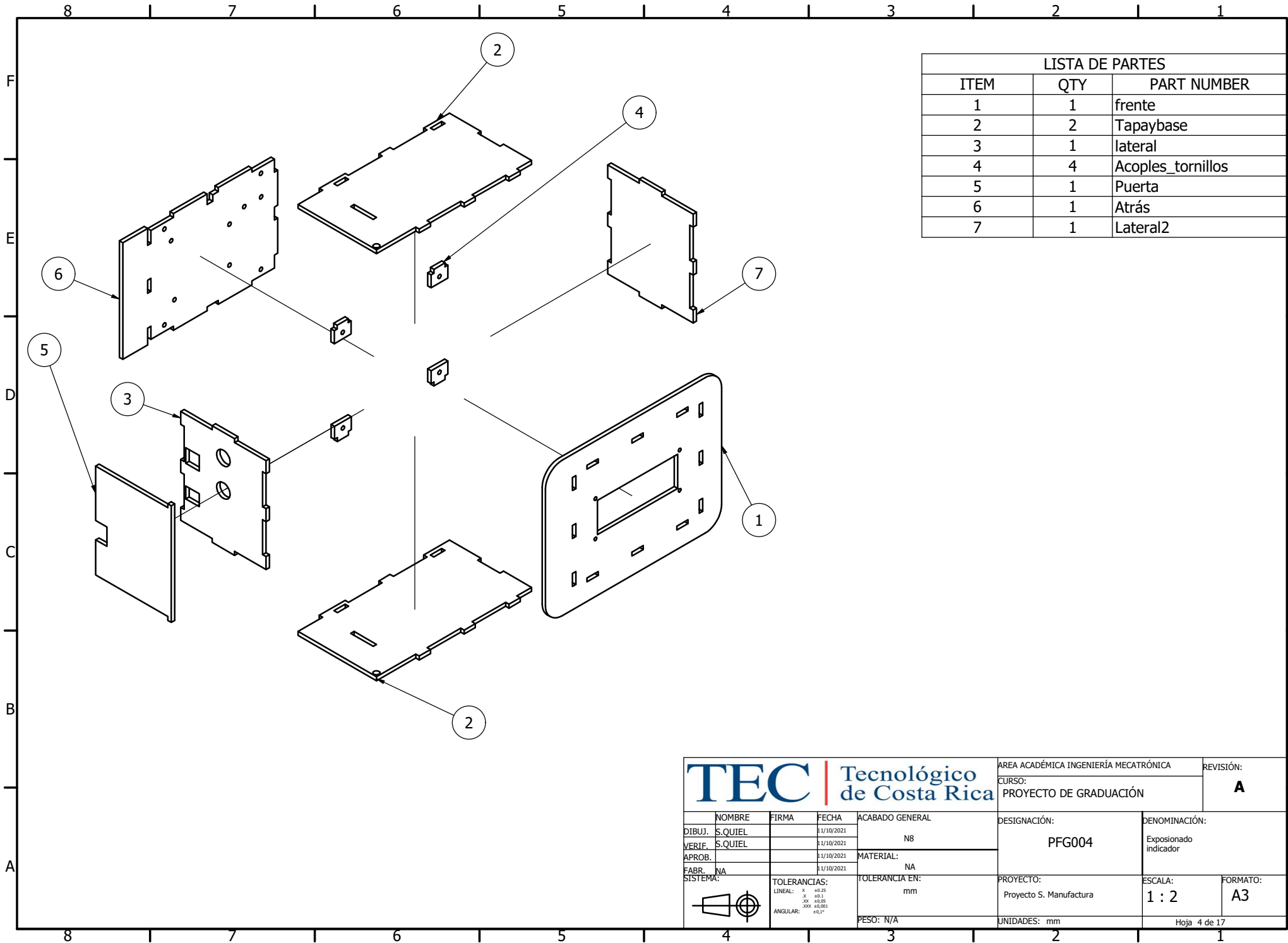


LISTA DE PARTES		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	PlataformaPro2
2	1	Soportecerrado
3	8	ISO 7045 - M3 x 12 - 4.8 - H
4	4	soporteexterior
5	8	ISO 7045 - M3 x 25 - 4.8 - H
6	4	Celdadecarga
7	4	Outside
8	4	Inside

 Tecnológico de Costa Rica			AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN		REVISIÓN: A
NOMBRE: DIBUJ.: S. QUIEL VERIF.: S. QUIEL APROB.: FABR.: NA SISTEMA:	FIRMA: FECHA: 11/10/2021	ACABADO GENERAL: N8	DESIGNACIÓN: PFG002	DENOMINACIÓN: Explosionado	
 TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 X ±0.1 X ±0.05 X ±0.025 ANGULAR: ±0.1°	TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO: Proyecto S. Manufactura	ESCALA: 1 : 5	FORMATO: A3	
PESO: N/A			UNIDADES: mm	Hoja 2 de 17	

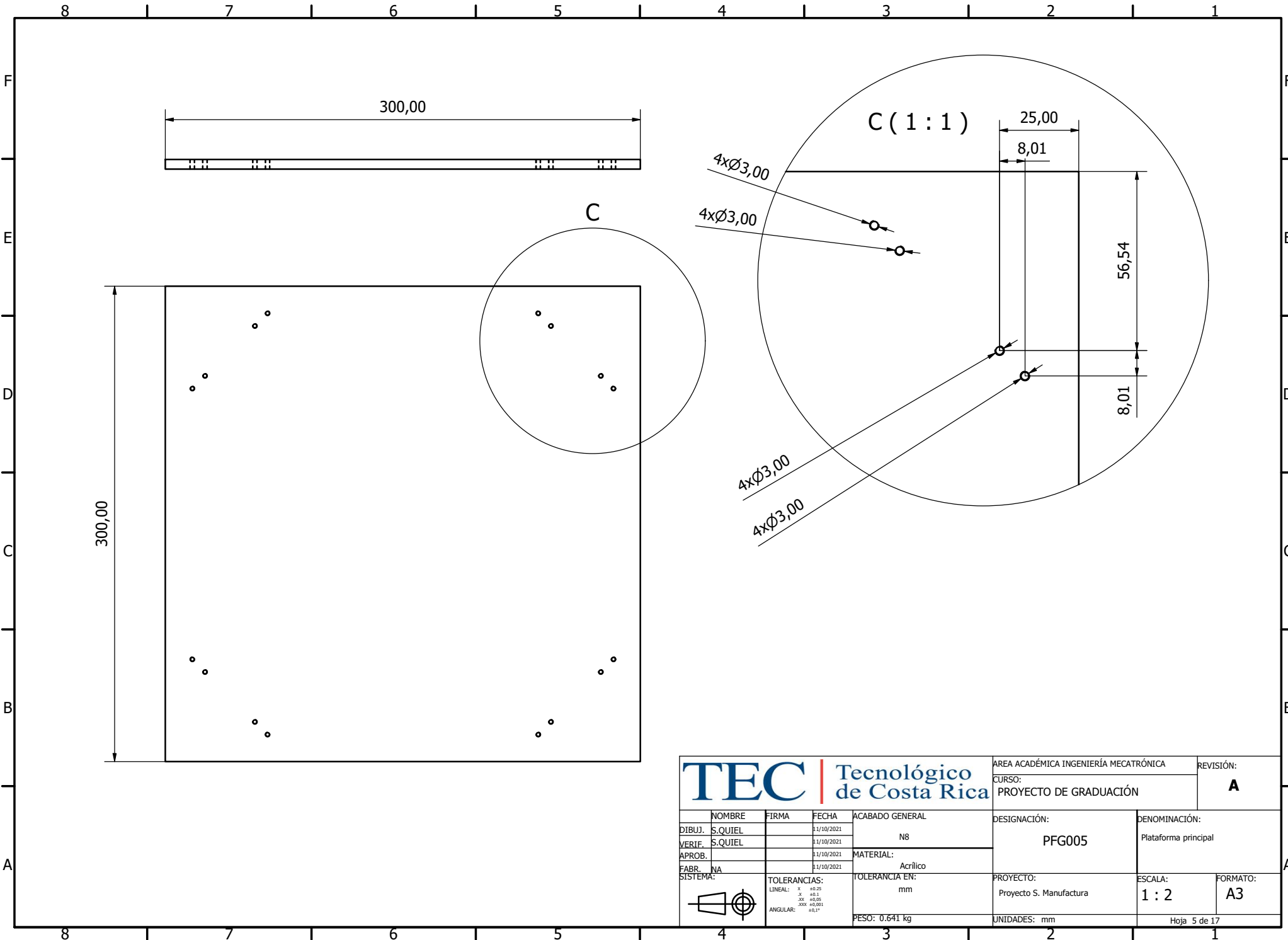


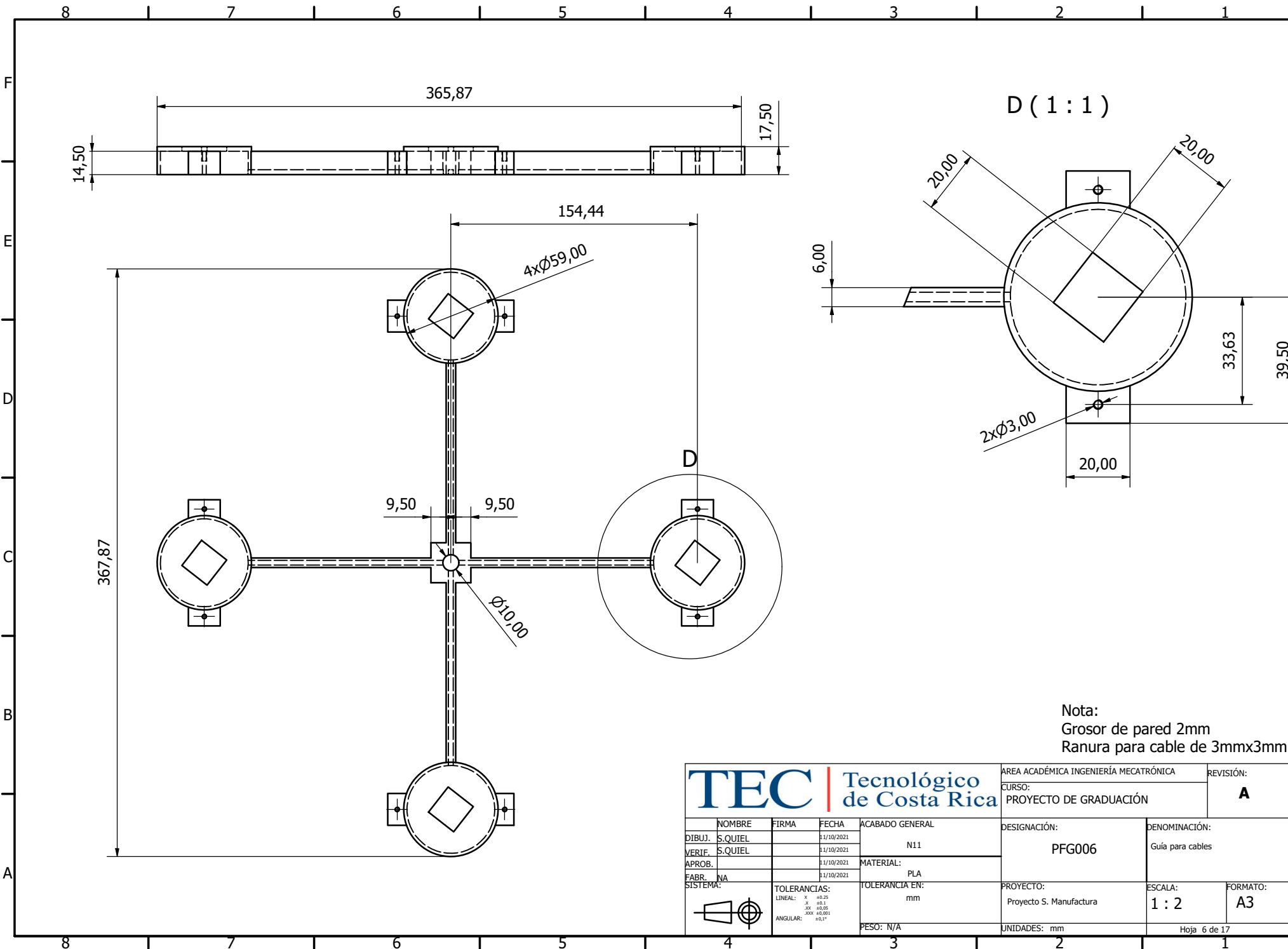
 Tecnológico de Costa Rica				AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN		REVISIÓN: A
NOMBRE: DIBUJ.: S.QUIEL VERIF.: S.QUIEL APROB.: FABR.: NA SISTEMA:	FIRMA: 	FECHA: 1/10/2021 1/10/2021 1/10/2021 1/10/2021	ACABADO GENERAL: NA	DESIGNACIÓN: PFG003	DENOMINACIÓN: Ensamble indicador	
TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0,25 X ±0,1 ∞ ±0,05 ∞∞ ±0,001 ANGULAR: ±0,1°			TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO: Proyecto S. Manufactura	ESCALA: 1 : 2	FORMATO: A3
			PESO: N/A	UNIDADES: mm	Hoja 3 de 17	



LISTA DE PARTES		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	frente
2	2	Tapaybase
3	1	lateral
4	4	Acoples_tornillos
5	1	Puerta
6	1	Atrás
7	1	Lateral2

TEC Tecnológico de Costa Rica				AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
				CURSO:		A
				PROYECTO DE GRADUACIÓN		
NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL	DESIGNACIÓN:	DENOMINACIÓN:	
DIBUJ. S. QUIEL		11/10/2021	N8	PFG004	Exposicionado	
VERIF. S. QUIEL		11/10/2021			Indicador	
APROB.		11/10/2021	MATERIAL:	PROYECTO:		
FABR. NA		11/10/2021	NA	Proyecto S. Manufactura		
SISTEMA:	TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:	UNIDADES: mm	ESCALA:	FORMATO:
	LINEAL: X ±0.25 Y ±0.1 Z ±0.05 XXX ±0.001 ANGULAR: ±0.1°		mm		1 : 2	A3
			PESO: N/A	Hoja 4 de 17		

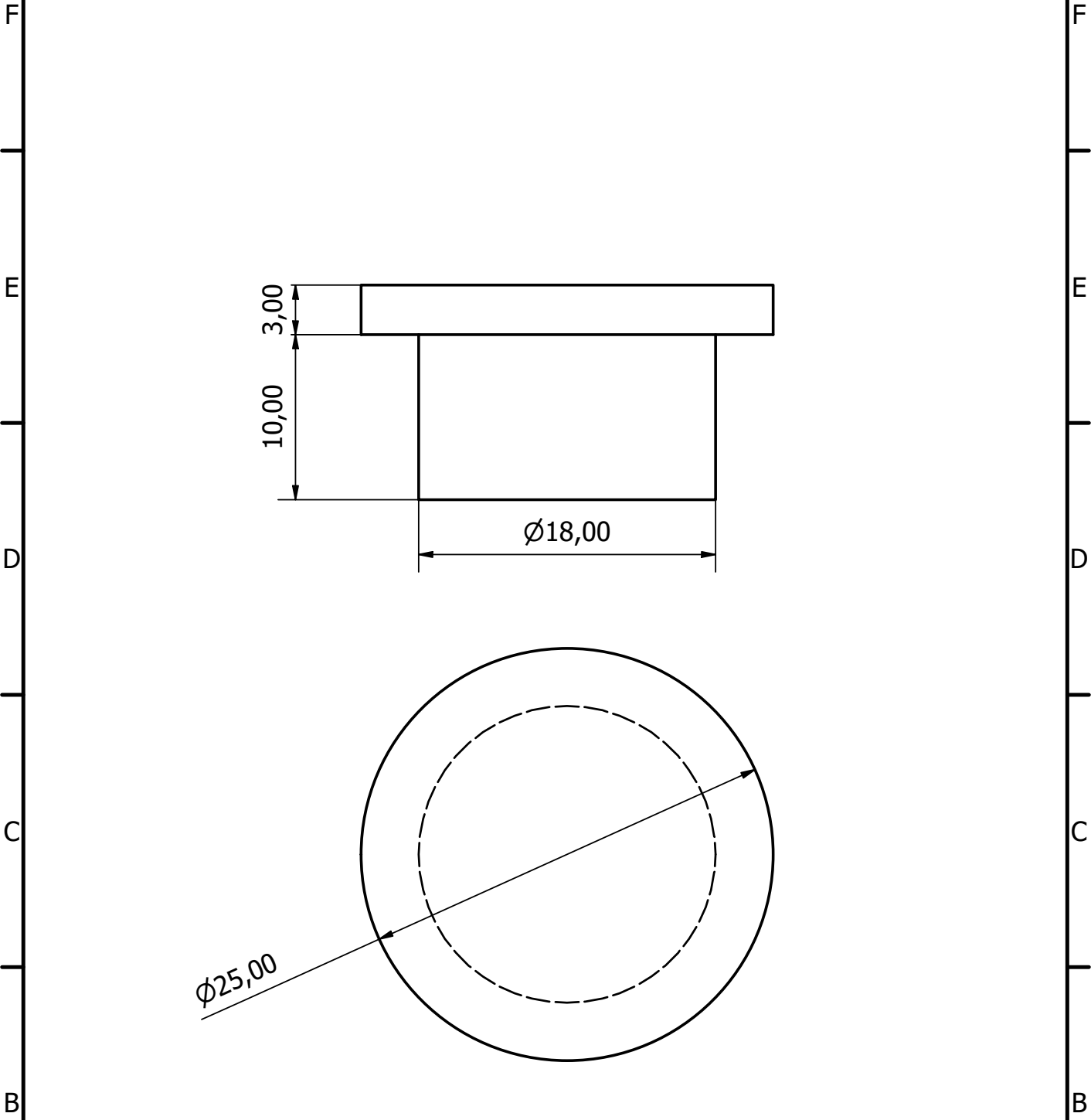


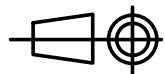


Nota:
 Grosor de pared 2mm
 Ranura para cable de 3mmx3mm

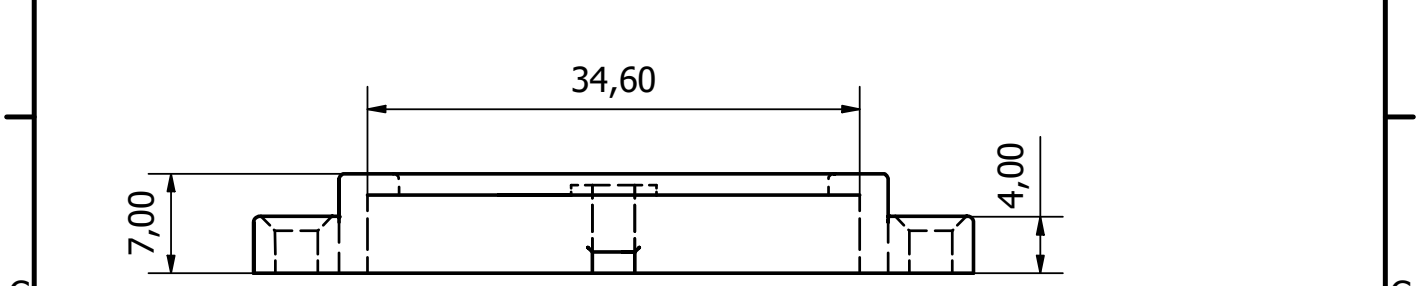
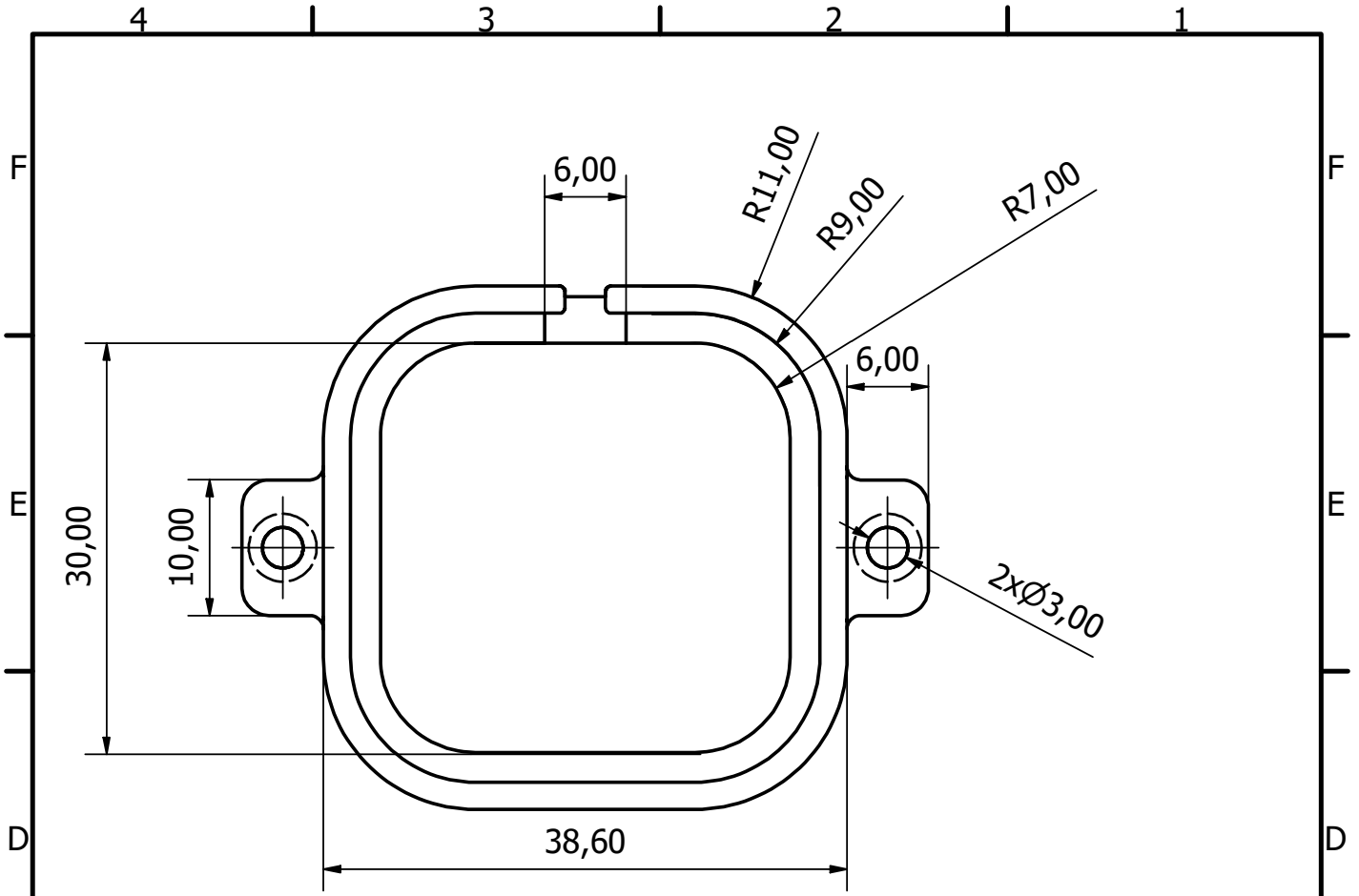
 Tecnológico de Costa Rica				AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN		REVISIÓN: A
NOMBRE: DIBUJ.: S. QUIEL VERIF.: S. QUIEL APROB.: FABR.: NA SISTEMA:	FIRMA: 	FECHA: 1/10/2021 1/10/2021 1/10/2021 1/10/2021	ACABADO GENERAL: N11	DESIGNACIÓN: PFG006	DENOMINACIÓN: Guía para cables	
TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0,25 .X ±0,1 .XX ±0,05 .XXX ±0,025 ANGULAR: ±0,1°			TOLERANCIA EN: mm	PROYECTO: Proyecto S. Manufactura	ESCALA: 1 : 2	FORMATO: A3
			PESO: N/A	UNIDADES: mm	Hoja 6 de 17	

4 | 3 | 2 | 1



TEC Tecnológico de Costa Rica				AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
				CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN		A	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		ACABADO GENERAL	
DIBUJ. S.QUIEL				11/10/2021		N11	
VERIF. S.QUIEL				11/10/2021		DESIGNACIÓN:	
APROB.				11/10/2021		PFG007	
FABR. NA				11/10/2021		DENOMINACIÓN:	
SISTEMA:		TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:		PROYECTO:	
		LINEAL: X ±0,25 .X ±0,1 .XX ±0,05 .XXX ±0,001 ANGULAR: ±0,1°		mm		Escala: 3 : 1	
PESO: N/A				UNIDADES: mm		FORMATO: A4	
						Hoja 7 de 17	

4 | 3 | 2 | 1



TEC | Tecnológico de Costa Rica

AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

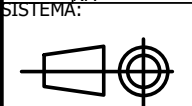
CURSO:
PROYECTO DE GRADUACIÓN

A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL
DIBUJ.	S.QUIEL		11/10/2021	N11
VERIF.	S.QUIEL		11/10/2021	
APROB.			11/10/2021	MATERIAL: PLA
FABR.	NA		11/10/2021	

DESIGNACIÓN:
PFG008

DENOMINACIÓN:
Acople celdas de carga



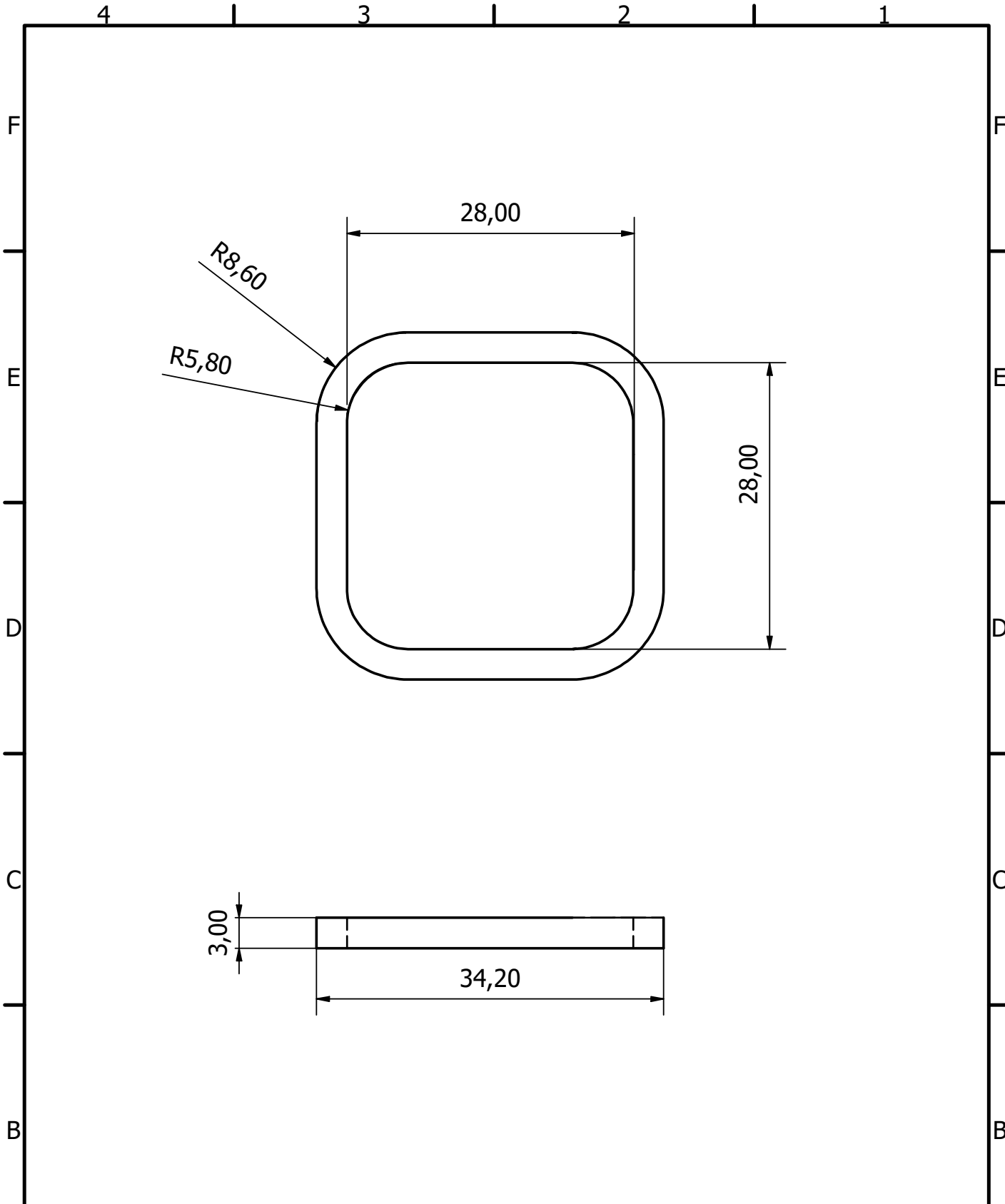
TOLERANCIAS:
LINEAL: X ±0,25
.X ±0,1
.XX ±0,05
.XXX ±0,001
ANGULAR: ±0,1°

TOLERANCIA EN:
mm
PESO: 0.000 kg

PROYECTO:
Proyecto S. Manufactura
UNIDADES: mm

ESCALA:
2 : 1

FORMATO:
A4
Hoja 8 de 17



TEC | Tecnológico de Costa Rica

AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

CURSO:
PROYECTO DE GRADUACIÓN

A

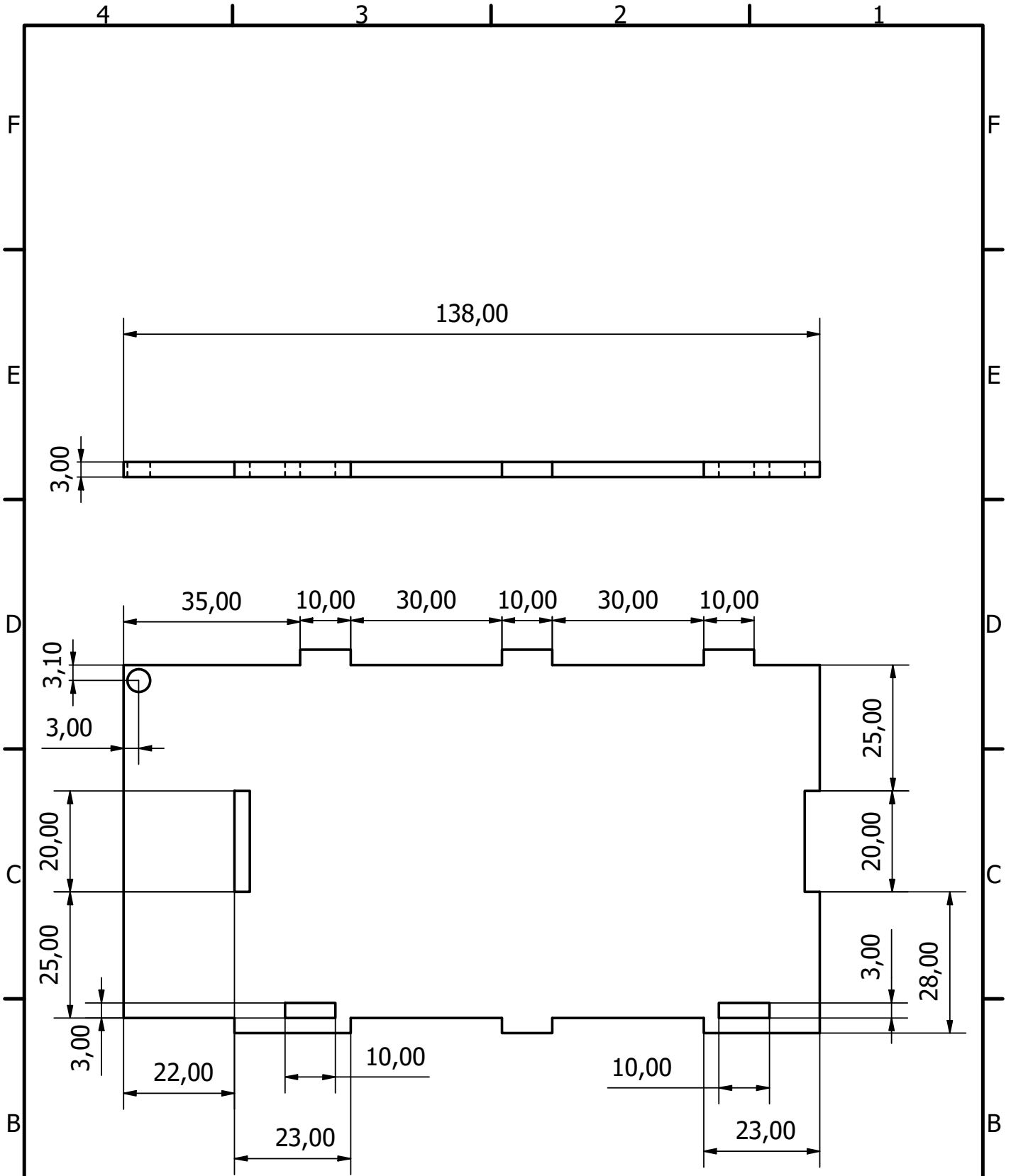
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL	DESIGNACIÓN:	DENOMINACIÓN:	
DIBUJ.	S.QUIEL		11/10/2021	N11	PFG009	Soporte acople de celda	
VERIF.	S.QUIEL		11/10/2021				
APROB.			11/10/2021	MATERIAL:	PROYECTO: Proyecto S. Manufactura	ESCALA: 2 : 1	FORMATO: A4
FABR.	NA		11/10/2021	PLA			
SISTEMA:	TOLERANCIAS:			TOLERANCIA EN:	UNIDADES: mm	Hoja 9 de 17	
	LINEAL: X ±0,25 .X ±0,1 .XX ±0,05 .XXX ±0,001 ANGULAR: ±0,1°			mm			
				PESO: N/A			

4

3

2

1



TEC | Tecnológico de Costa Rica

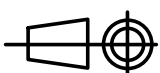
AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

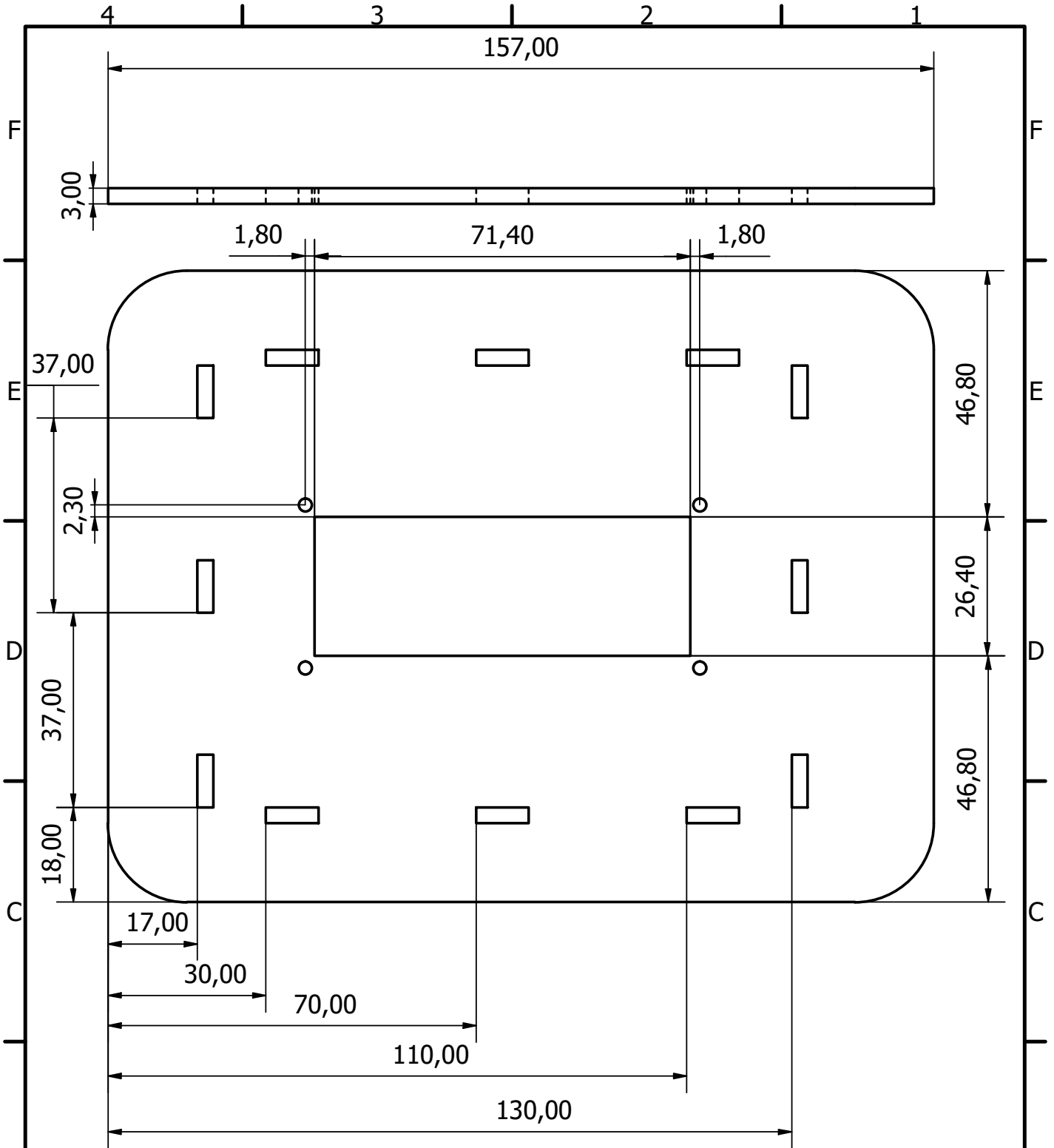
REVISIÓN:

CURSO:
PROYECTO DE GRADUACIÓN

A

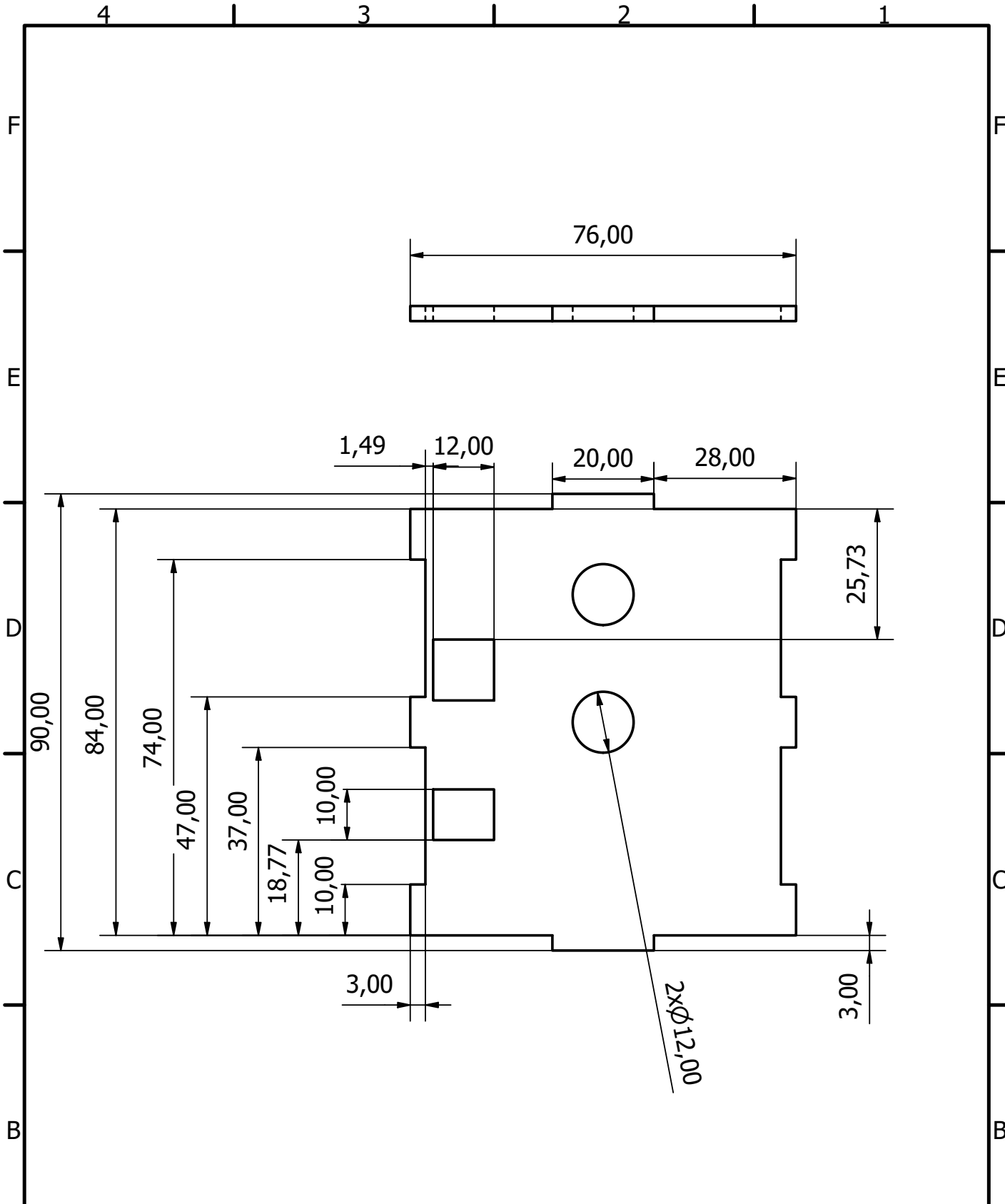
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL	DESIGNACIÓN:	DENOMINACIÓN:	
DIBUJ.	S. QUIEL		11/10/2021	N8	PFG0010	Base y superior de indicador	
VERIF.	S. QUIEL		11/10/2021				
APROB.			11/10/2021	MATERIAL:	PROYECTO:	ESCALA:	FORMATO:
FABR.	NA		11/10/2021	Acrílico			
SISTEMA:	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.001 ANGULAR: ±0.1°			TOLERANCIA EN:	PROYECTO:	ESCALA:	FORMATO:
				mm	UNIDADES: mm	Hoja 10 de 17	
	PESO: N/A						





Todos los rectángulos 10mmx3mm
 Agujeros 3mm pasantes

TEC Tecnológico de Costa Rica				AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
				CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN		A	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		ACABADO GENERAL	
DIBUJ. S. QUIEL				11/10/2021		N8	
VERIF. S. QUIEL				11/10/2021		MATERIAL:	
APROB.				11/10/2021		Acrílico	
FABR. NA				11/10/2021		TOLERANCIA EN:	
SISTEMA:		TOLERANCIAS:		mm		PROYECTO:	
		LINEAL: X ±0,25 .X ±0,1 .XX ±0,05 .XXX ±0,001 ANGULAR: ±0,1°		PESO: N/A		UNIDADES: mm	
						PROYECTO: Proyecto S. Manufactura	
						ESCALA: 1 : 1	
						FORMATO: A4	
						Hoja 11 de 17	



TEC | Tecnológico de Costa Rica

AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

CURSO:
PROYECTO DE GRADUACIÓN

A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL
DIBUJ.	S.QUIEL		11/10/2021	N8
VERIF.	S.QUIEL		11/10/2021	
APROB.			11/10/2021	MATERIAL: Acrílico
FABR.	NA		11/10/2021	

DESIGNACIÓN:
PFG0012

DENOMINACIÓN:
Lateral 1

	TOLERANCIAS:	TOLERANCIA EN:
	LINEAL: X ±0,25 .X ±0,1 .XX ±0,05 .XXX ±0,001	mm
	ANGULAR: ±0,1°	
	PESO: N/A	

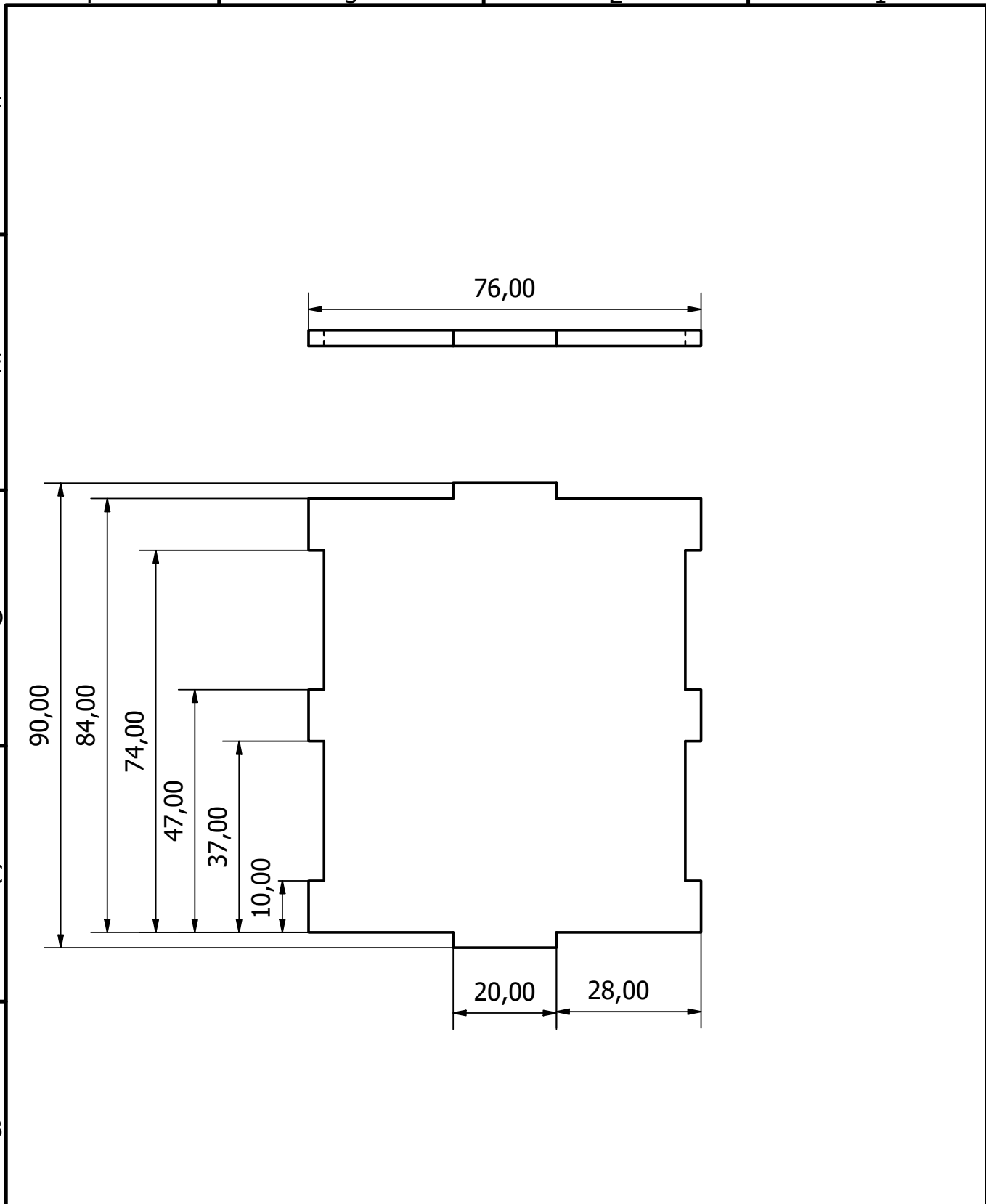
PROYECTO:
Proyecto S. Manufactura

ESCALA:
1 : 1

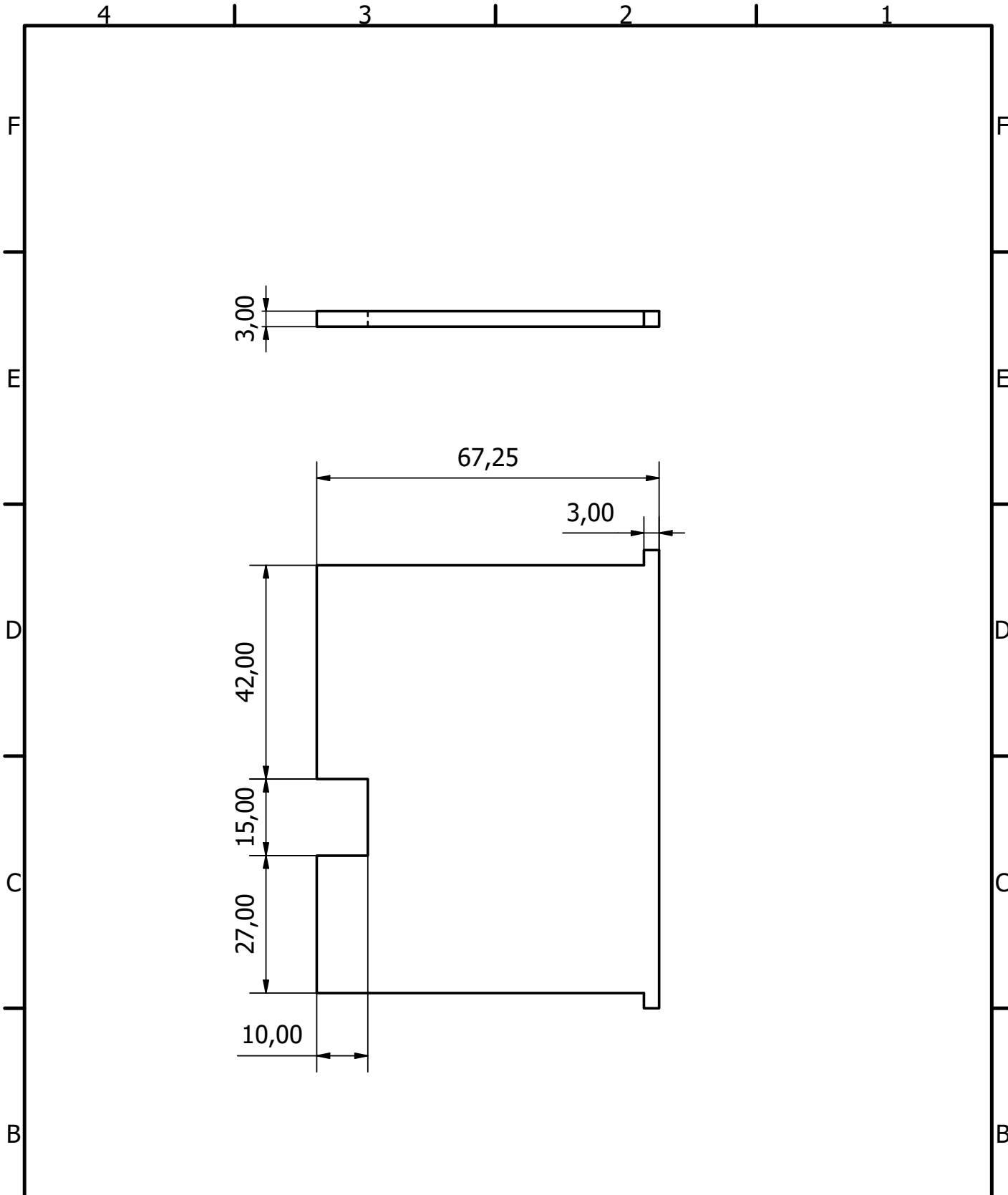
FORMATO:
A4

UNIDADES: mm

Hoja 12 de 17



 Tecnológico de Costa Rica		AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:			
		CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN		A			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL	DESIGNACIÓN:	DENOMINACIÓN:	
DIBUJ.	S.QUIEL		11/10/2021	N8	PFG0013	Lateral 2	
VERIF.	S.QUIEL		11/10/2021				
APROB.			11/10/2021	MATERIAL:			
FABR.	NA		11/10/2021	Acrílico			
SISTEMA:	TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:		PROYECTO:	ESCALA:	FORMATO:
	LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.001 ANGULAR: ±0.1°		mm		Proyecto S. Manufactura	1 : 1	A4
	PESO: N/A		UNIDADES: mm		Hoja 13 de 17		



TEC | Tecnológico de Costa Rica

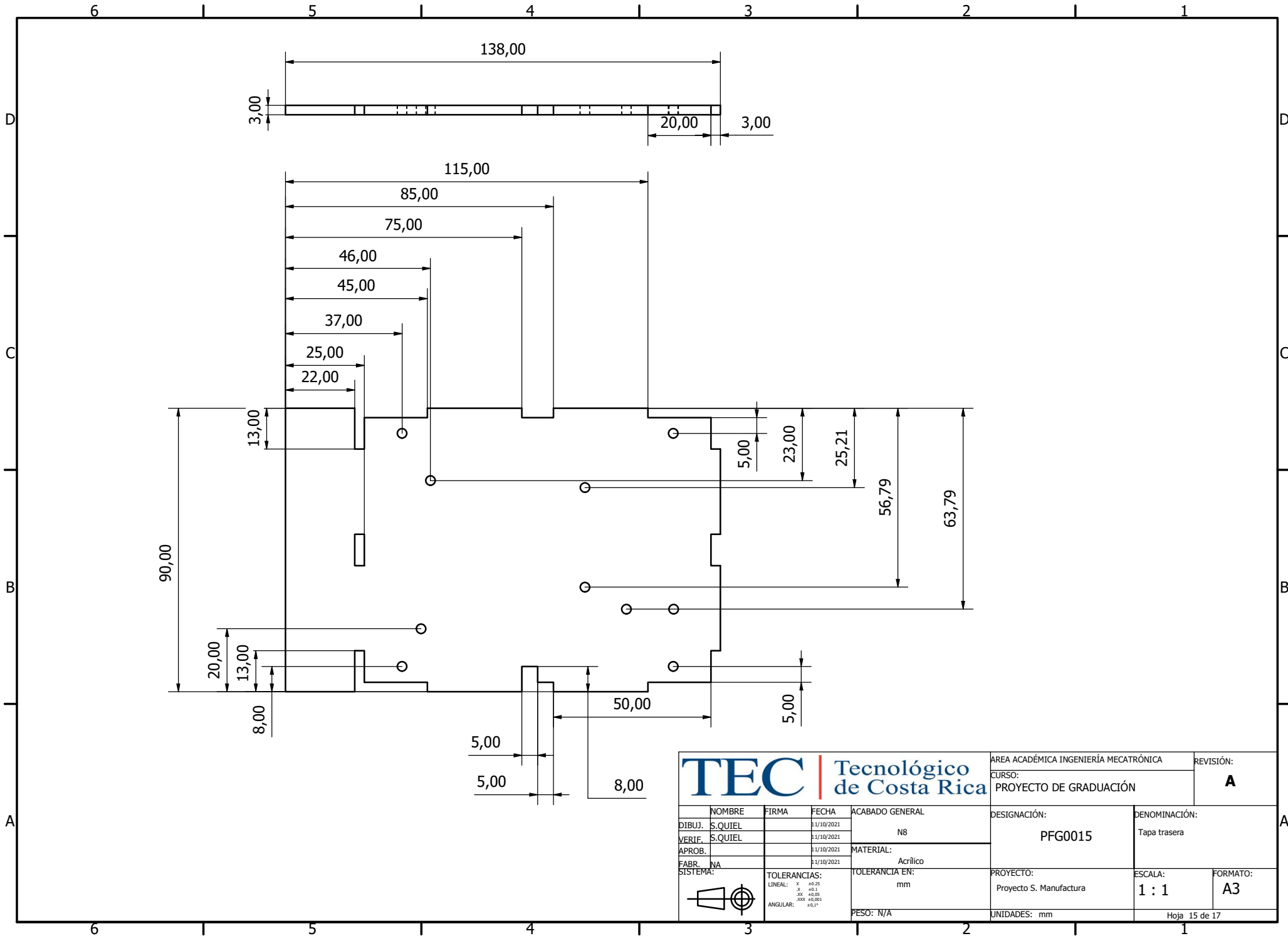
AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA
CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN

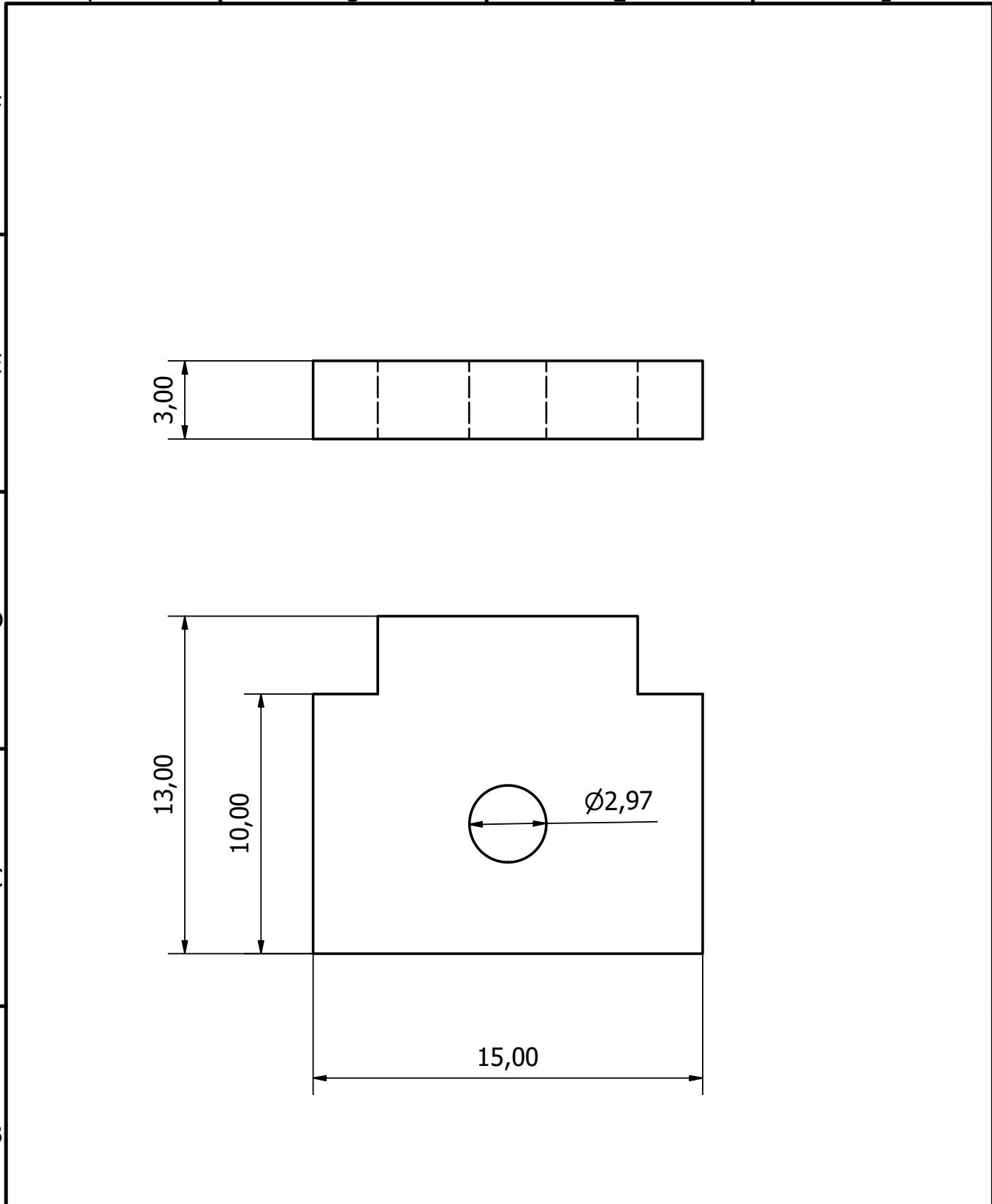
REVISIÓN:
A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL	DESIGNACIÓN:	DENOMINACIÓN:
DIBUJ.	S.QUIEL		11/10/2021	N8	PFG0014	Puerta
VERIF.	S.QUIEL		11/10/2021			
APROB.			11/10/2021	MATERIAL:		
FABR.	NA		11/10/2021	Acrílico		
SISTEMA:	TOLERANCIAS:			TOLERANCIA EN:	PROYECTO:	ESCALA:
	LINEAL: X ±0,25 .X ±0,1 .XX ±0,05 .XXX ±0,001 ANGULAR: ±0,1°			mm	Proyecto S. Manufactura	1 : 1
	PESO: N/A			UNIDADES: mm		FORMATO: A4
						Hoja 14 de 17

A

A



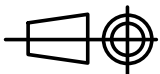


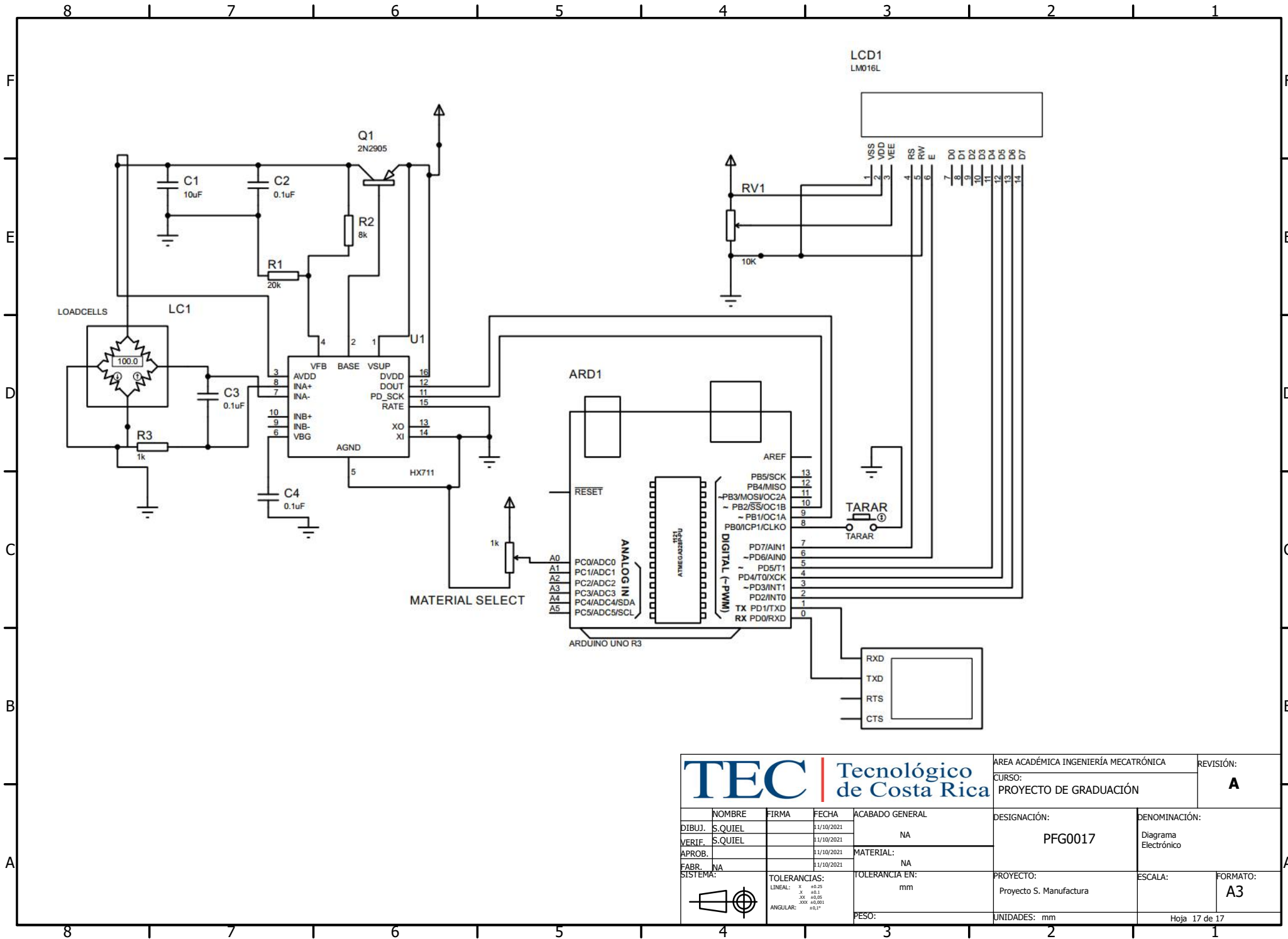
TEC | Tecnológico de Costa Rica

AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA
CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN

REVISIÓN:
A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL	DESIGNACIÓN:	DENOMINACIÓN:	
DIBUJ.	S.QUIEL		11/10/2021	N8	PFG0016	Acople tornillos	
VERIF.	S.QUIEL		11/10/2021				
APROB.			11/10/2021	MATERIAL:	PROYECTO:	ESCALA:	FORMATO:
FABR.	NA		11/10/2021	Acrílico			
SISTEMA:	TOLERANCIAS:			TOLERANCIA EN:	UNIDADES:	Hoja 16 de 17	
	LINEAL: X ±0,25 .X ±0,1 .XX ±0,05 .XXX ±0,001 ANGULAR: ±0,1°			mm	mm		
	PESO: N/A						





TEC Tecnológico de Costa Rica		AREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
		CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN		A
NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL	DESIGNACIÓN:
DIBUJ. S. QUIEL		1/10/2021	NA	PFG0017
VERIF. S. QUIEL		1/10/2021	MATERIAL:	DENOMINACIÓN:
APROB.		1/10/2021	NA	Diagrama Electrónico
FABR. NA		1/10/2021	TOLERANCIA EN:	PROYECTO:
SISTEMA:			mm	Proyecto S. Manufactura
TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:		ESCALA:
LINEAL: X ±0,25 X ±0,1 X ±0,05 XXX ±0,001		mm		FORMATO:
ANGULAR: ±0,1°		PESO:		A3
		UNIDADES: mm		Hoja 17 de 17

Capítulo 10: Algoritmo de validación

10.1. Predicción de cantidad de material

```
1 # importa paquetes necesarios
2 import numpy
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 from pandas import read_csv
5 import math
6 from keras.models import Sequential
7 from keras.layers import Dense
8 from keras.layers import LSTM
9 from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
10 from sklearn.metrics import mean_squared_error
11 import pandas
12 import matplotlib.pyplot as plt
13 import pandas as pd
14 from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
15 # Convierte valores de dataframe a entradas del modelo
16 def create_dataset(dataset, look_back=1):
17     dataX, dataY = [], []
18     for i in range(len(dataset)-look_back-1):
19         a = dataset[i:(i+look_back), 0]
20         dataX.append(a)
21         dataY.append(dataset[i + look_back, 0])
22     return numpy.array(dataX), numpy.array(dataY)
```

```
23 # carga el dataset
24 df=pd.read_csv('pesos.csv')
25 df1=df.reset_index()['Weight2']
26 # normaliza el dataset
27 scaler=MinMaxScaler(feature_range=(0,1))
28 df1=scaler.fit_transform(np.array(df1).reshape(-1,1))
29 dataset=df1
30 # Divide en datos de entranmiento y de prueba
31 train_size = int(len(dataset) * 0.67)
32 test_size = len(dataset) - train_size
33 train, test = dataset[0:train_size,:], dataset[train_size:len(dataset),:]
34 # Toma arreglos como time step
35 look_back = 3
36 trainX, trainY = create_dataset(train, look_back)
37 testX, testY = create_dataset(test, look_back)
38 # Tranforma a formato [muestras, time steps, numero de mietras]
39 trainX = numpy.reshape(trainX, (trainX.shape[0], 1, trainX.shape[1]))
40 testX = numpy.reshape(testX, (testX.shape[0], 1, testX.shape[1]))
41 # Crea y entrena la red LSTM
42 model = Sequential()
43 model.add(LSTM(4, input_shape=(1, look_back)))
44 model.add(Dense(1))
45 model.compile(loss='mean_squared_error', optimizer='adam', metrics=["
    accuracy"])
46 resultado=model.fit(trainX, trainY, validation_data=(testX, testY), epochs
    =100, batch_size=1, verbose=2)
47 # Realiza predcciones
48 trainPredict = model.predict(trainX)
49 testPredict = model.predict(testX)
50 # Invierte escalamiento de predicciones
51 trainPredict = scaler.inverse_transform(trainPredict)
52 trainY = scaler.inverse_transform([trainY])
53 testPredict = scaler.inverse_transform(testPredict)
```



```
54 testY = scaler.inverse_transform([testY])
55 # Calcula el RMSE
56 trainScore = math.sqrt(mean_squared_error(trainY[0], trainPredict[:,0]))
57 print('Train Score: %.2f RMSE' %(trainScore))
58 testScore = math.sqrt(mean_squared_error(testY[0], testPredict[:,0]))
59 print('Test Score: %.2f RMSE' %(testScore))
60 # Plot datos de entrenamiento
61 trainPredictPlot = numpy.empty_like(dataset)
62 trainPredictPlot[:, :] = numpy.nan
63 trainPredictPlot[look_back:len(trainPredict)+look_back, :] = trainPredict
64 # Plot datos de prediccion
65 testPredictPlot = numpy.empty_like(dataset)
66 testPredictPlot[:, :] = numpy.nan
67 testPredictPlot[len(trainPredict)+(look_back*2)+1:len(dataset)-1, :] =
    testPredict
68 # plot linea base y predicciones
69 plt.plot(scaler.inverse_transform(dataset))
70 plt.plot(trainPredictPlot)
71 plt.plot(testPredictPlot)
72 plt.show()
```