

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de una balanza automática en la industria logística ecuatoriana
para el pesado de encomiendas utilizando celdas de carga

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

Andrés Eduardo Paredes Ruiz

Alfredo Javier Valenzuela Bustos

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente trabajo es un compendio de éxitos y fracasos, forjado por las personas que siempre se interesaron por mi bienestar.

Por mis padres, Milton Paredes y Ketty Ruiz al tenerme la paciencia, cariño y animarme siempre que lo necesitaba. A mis hermanas por preocuparse en que me desarrolle como una persona de calidad humana.

A todos mis compañeros que he conocido en el transcurso de este largo camino. Con mención especial a Renato Jara ya que gracias a él puedo alzar la cabeza orgulloso hoy en día.

Andrés Paredes

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres, Ernestina Bustos y Javier Valenzuela por darme todos los recursos, su apoyo incondicional y los consejos que me dieron en los tiempos difíciles.

A mi abuela Laura Arévalo que en paz descansa, quien me ve desde lo alto.

A mis amigos más cercanos, Jeremy León y Jorge Hidalgo, quienes me aconsejaron y a pesar de estar ocupados buscaron el tiempo para estar presente en ocasiones tan pequeñas como el 5min pitch.

Alfredo Valenzuela

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a mis padres por siempre apoyarme en incontables noches de desvelo, y procurar que nunca me faltara nada.

Al Ing. Efraín Terán que me ayudo en uno de los momentos más difíciles de mi carrera y me permitió observar las cosas que puedo lograr si pongo esfuerzo.

A nuestro tutor el Ing. Marcelo Fajardo quien, con su amplio conocimiento, nos guio de una manera ordenada a lo largo de este proceso.

Y finalmente agradecer a todas las personas que forman la familia del “Rataverso”, quienes, en más de una ocasión, me acompañaron en esas largas sesiones de estudio.

Andrés Paredes

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a el Ing. Marcelo Fajardo por brindarnos su apoyo, consejo y tutoría a lo largo del periodo académico.

A mi familia quienes desean lo mejor para mi futuro y me apoyaron durante los momentos más difíciles para poder cumplir mis sueños

Al Ing. Efraín Terán quien a pesar de no ser nuestro tutor o profesor de la materia nos brindó de su tiempo para resolver ciertas dudas del proyecto.

A mis compañeros de la carrera con quienes comparto muchas experiencias increíbles las cuales atesorare con mucho cariño y orgullo.

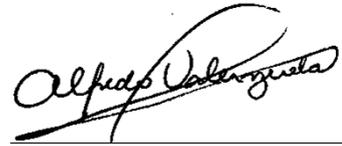
Alfredo Valenzuela

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Andrés Eduardo Paredes Ruiz y Alfredo Javier Valenzuela Bustos damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Andrés Eduardo
Paredes Ruiz



Alfredo Javier
Valenzuela Bustos

EVALUADORES

Bryan Puruncajas, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA

Marcelo Fajardo, Phd

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el Ecuador, las industrias que se dedican a la logística de encomiendas tienen un componente altamente manual sobre todo dentro del proceso de datos en la etapa inicial de recepción de la encomienda. Con el inicio de la pandemia, se incrementó la demanda para la entrega de productos a nivel nacional generando congestión en el sistema. Debido al incremento inesperado se procedió a diseñar una balanza automática con celdas de carga capaz de enviar los datos de pesado a un CPU reduciendo los tiempos de ingreso de información.

Para el diseño de la solución se tomó como base el diseño concurrente obteniendo de esta manera una alternativa ponderada en función de los criterios del cliente. El diseño mecánico de la balanza se inspira de las balanzas industriales que se encuentran en el mercado y se comprobó el soporte de las cargas máximas de 200kg a partir de Análisis de elementos finitos. Por otro lado, la programación del microcontrolador y el diseño de la PCB se realizó en conjunto utilizando los softwares de EasyEDA y STM32CubeIDE para el funcionamiento correcto del pesado y posterior envío.

Se espera que la implementación de la balanza automática tenga una reducción del 15% en los tiempos de espera, aumentar los tiempos de productividad de los operarios e incentivar a la automatización de todo el proceso logístico para el envío de encomiendas.

Palabras clave: Encomiendas, diseño, envío de datos, automatización.

ABSTRACT

In Ecuador, the industries dedicated to the logistics of parcels have a highly manual component, especially within the data process in the initial stage of receiving the package. With the pandemic's beginning, the demand for the delivery of products at the national level increased, which resulted in congestion in the system. Due to the unexpected increase, an automatic balance with load cells capable of sending the weighing data to a CPU was designed, reducing data entry times.

For the design of the solution, the concurrent design was taken as a basis, thus obtaining a weighted alternative based on the criteria of the client. The mechanical design of the scale is inspired by industrial scales found on the market, and the support of maximum loads of 200kg was verified from Finite Element Analysis. On the other hand, the microcontroller's programming and the PCB's design was carried out together using the EasyEDA and STM32CubeIDE software for the correct operation of weighing and sending data.

The implementation of the automatic scale is expected to have a 15% reduction in waiting times, increase the productivity times of the operators and encourage the automation of the entire logistics process for the shipment of parcels.

Key words: Parcels, mechatronics design, data transmission, automation.

INDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| RESUMEN..... | I |
| ABSTRACT | II |
| INDICE GENERAL | III |
| ABREVIATURAS..... | VIII |
| SIMBOLOGÍA | IX |
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| 1. INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.1 Descripción del problema..... | 2 |
| 1.2 Justificación del problema | 3 |
| 1.3 Objetivo General | 4 |
| 1.3.1 Objetivos Específicos | 4 |
| 1.4 Marco teórico..... | 4 |
| 1.4.1 Estado del arte | 4 |
| 1.4.2 Microcontrolador..... | 5 |
| 1.4.3 STM32F407 | 5 |
| 1.4.4 Celdas de carga | 6 |
| 1.4.5 Driver HX711 | 6 |
| 1.4.6 FreeRTOS | 7 |
| CAPÍTULO 2..... | 8 |
| 2. Metodología..... | 8 |
| 2.1 Requerimientos Limitadores..... | 8 |
| 2.2 Funciones y Parámetros Críticos | 8 |
| 2.2.1 Funciones Críticas | 8 |
| 2.2.2 Parámetros Críticos | 9 |
| 2.3 Despliegue de Alternativas de Solución | 9 |
| 2.4 Selección de Alternativa de Solución | 9 |

| | |
|---|----|
| 2.5 Metodología de diseño | 11 |
| 2.5.1 Diseño conceptual | 12 |
| 2.6 Parámetros de diseño mecánico | 13 |
| 2.6.1 Parámetro: Diseño | 14 |
| 2.6.2 Parámetro: Capacidad | 15 |
| 2.6.3 Parámetro: Materiales | 15 |
| 2.6.4 Parámetro: Visualización de resultados | 16 |
| 2.7. Arquitectura del sistema | 17 |
| 2.7.1 Selección Microcontrolador | 18 |
| 2.7.2 Selección de Sensores | 19 |
| 2.7.3 Programación microcontrolador | 20 |
| 2.8 Diagrama Esquemático | 21 |
| CAPÍTULO 3..... | 23 |
| 3 Resultados y Análisis | 23 |
| 3.1 Obtención del peso | 23 |
| 3.2 Incertidumbre de la balanza | 23 |
| 3.3 Diseño mecánico | 26 |
| 3.3.1 Base móvil | 28 |
| 3.3.2 Soporte vertical | 29 |
| 3.3.3 Armadura de soporte | 30 |
| 3.3.4 Pernos | 32 |
| 3.4 Diseño electrónico | 33 |
| 3.5 Programación Microcontrolador | 34 |
| 3.6 Análisis de la implementación del sistema | 34 |
| 3.7 Análisis de costos | 37 |
| CAPÍTULO 4..... | 39 |
| 4. Conclusiones Y Recomendaciones | 39 |

| | |
|---------------------------|----|
| 4.1 Conclusiones | 39 |
| 4.2 Recomendaciones | 40 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 41 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Variaciones porcentuales del índice de precios de los servicios postales (2016-2018) [1]..... | 1 |
| Figura 1.2 Discovery Board STM32F407Vgtx [5] | 6 |
| Figura 1.3 Lectura HX711 [7]..... | 6 |
| Figura 1.4 Perspectiva externa [9]..... | 7 |
| Figura 1.5 Uso del CPU para multitareas [9] | 7 |
| Figura 2.1 Proceso de diseño..... | 12 |
| Figura 2.2 Balanza industrial [11] | 13 |
| Figura 2.3 Modelo PCE-SD 300 [11] | 14 |
| Figura 2.4 Datos del acero galvanizado [13] | 16 |
| Figura 2.5 Arquitectura inicial de la balanza | 18 |
| Figura 2.6 Requerimientos de memoria y RAM..... | 18 |
| Figura 2.7 Familia del micro STM32F103 [5]..... | 19 |
| Figura 2.8 Celda de carga SEN-10245 [14]..... | 20 |
| Figura 2.9 Tareas del microcontrolador (a) .c (b) .h | 20 |
| Figura 2.10 Diagrama de Componentes..... | 22 |
| Figura 2.11 Regulador de voltaje 12-5V | 22 |
| Figura 3.1 Tabla distribución tipo T [16]..... | 26 |
| Figura 3.2. Diseño 3D de la estructura de la balanza | 27 |
| Figura 3.3 Estructura: 1. Soporte vertical, 2. Base móvil, 3. Armadura de soporte | 28 |
| Figura 3.4 Análisis de fatiga, Soporte Vertical (a) Esfuerzo de Von Mises [MPa], (b) Primer Esfuerzo Principal [MPa], (c) Desplazamiento [mm] | 30 |
| Figura 3.5 Análisis de fatiga, Armadura de Soporte. (a) Esfuerzo de Von Mises [Mpa], (b) Primer Esfuerzo Principal [Mpa], (c) Desplazamiento [mm]. | 32 |
| Figura 3.6 Ubicación de pernos..... | 32 |
| Figura 3.7 Recomendaciones y factores para perno | 33 |
| Figura 3.8 Diseño 3D de la PCB..... | 33 |
| Figura 3.9 Variables globales de la programación..... | 34 |
| Figura 3.10 Simulación del sistema actual | 35 |
| Figura 3.11 Cantidad de paquetes ingresados | 36 |
| Figura 3.12 Simulación con solución integrada | 36 |
| Figura 3.13 Resultados con solución integrada..... | 37 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1 Criterios de selección | 10 |
| Tabla 2.2 Matriz de decisión de alternativas..... | 11 |
| Tabla 2.3 Propiedades Acero | 16 |
| Tabla 3.1 Datos obtenidos para calcular escala | 23 |
| Tabla 3. 2 Mediciones obtenidas | 24 |
| Tabla 3. 3 Resultados prueba tipo A | 25 |
| Tabla 3. 4 Dimensiones de la base móvil | 28 |
| Tabla 3.5 Dimensiones del soporte vertical | 29 |
| Tabla 3.6 Dimensiones de la armadura | 31 |
| Tabla 3.7 Precios de componentes mecánico y electrónico | 37 |

ABREVIATURAS

| | |
|------------|--|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| ARCPPostal | Agencia de Regulación y Control Postal |
| USD | United States Dollar |
| RL | Requerimiento Limitador |
| FC | Funciones Criticas |
| PC | Parámetros Críticos |
| RFID | Identificación por Radiofrecuencia |
| PLC | Controlador de Lógica Programable |
| UI | Interfaz de Usuario |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| USB | Universal Serial Bus |
| Tsk | Task (Tarea) |
| Vcc | Voltaje del circuito |
| Vdd | Voltaje del dispositivo |
| GND | Tierra común |
| CLK | clock o reloj |
| Dat | Data |

SIMBOLOGÍA

| | |
|-----|---------------|
| cm | Centímetros |
| kg | Kilogramo |
| lb | Libras |
| kB | Kilobyte |
| mm | milímetro |
| MPa | Mega pascales |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCION

En el ámbito de envío de encomiendas en el Ecuador, el mercado no se encuentra en pleno desarrollo, ya que hoy en día se siguen utilizando métodos y protocolos antiguos en comparación con otros países. La Agencia de Regulación y Control Postal - ARCPPostal en su informe estadístico anual del año 2018 [1] sobre el sector postal ecuatoriano registra total de 74.6 millones de envíos postales, de los cuales el 94% pertenecen a los envíos locales y el 6% a los internacionales. Evidenciándose que el uso de servicios de mensajería aun representa un importante factor de desarrollo para el mercado ecuatoriano. En este estudio se destacaron 3 provincias de prioridad, Pichincha, Guayas y Azuay, las cuales tenían un tráfico de envíos mayor en comparación con las otras [1].

Debido a la gran cantidad de envíos realizados, el costo de los servicios postales se incrementó 1.61% como se aprecia en la Figura 1.1. Por lo que, ese año se facturó un total de USD 150,2 millones de dólares, en donde el 67% corresponde a los envíos nacionales y el 33% a los envíos internacionales.



Figura 1.1 Variaciones porcentuales del índice de precios de los servicios postales (2016-2018)[1].

El envío de encomiendas tiene un rol importante en la vida de los ecuatorianos, quienes realizan generalmente envíos de paquetes inferiores a 3 kg. Al ser un peso fácil de manipular, se puede generar un sistema semiautomático para agilizar el proceso de recepción y envío de los paquetes, con el fin de optimizar el tiempo útil de los equipos que se estén operando, aumentando la productividad del proceso de recepción y etiquetado de paquetes para su distribución y entrega. Dicho aumento de la productividad

se dará debido al aumento de encomiendas procesadas como consecuencia de la reducción de tiempo de

El cliente para este proyecto ofrece servicios de envíos de componentes electrónicos de manera local, siguiendo las normas y reglamentos de tipo de carga permitida por correo postal. El proceso de envío de componentes comienza con la requisición por parte de un cliente, posteriormente se elabora un paquete que actualmente es enviado mediante empresas de paquetería local.

En estas empresas se pudo observar que existen diferentes puntos donde es posible optimizar sus procesos. La recepción y etiquetado tienen un impacto directo sobre el tiempo total de manejo de las encomiendas dentro de la línea de producción.

El proceso de envío de encomiendas consta de múltiples etapas; el presente trabajo se centrará en el pesaje del producto. Este sistema estará compuesto por un conjunto de galgas capaces de determinar el peso del paquete, el cual se enviará a un computador capaz de establecer el costo del envío según el peso y tamaño del paquete.

1.1 Descripción del problema

En el Ecuador, las empresas de servicio logístico, las cuales principalmente se dedican al servicio de envío de encomiendas, tienen un componente altamente manual. Esto se debe a que, en las etapas de la prestación de su servicio (clasificación, dimensionado, pesado y etiquetado) existe un solo operador encargado de realizar dichas acciones. Una vez realizado el procesado de la encomienda, el mismo operador ingresa de manera manual los datos en un sistema interno, con los cuales posteriormente imprimirá una etiqueta que se colocará sobre la encomienda y de esta manera emitir un precio del servicio de envío. Considerando, una empresa brinda este servicio, recibe alrededor de 400 encomiendas diarias y un único operador se encarga de ingresar cada una de estas al sistema, se tiene como resultado tiempos de procesos sumamente largos.

Las tarifas que se utilizan en el cobro del servicio son valores estandarizados a partir del peso o el volumen de la encomienda. Para encomiendas cuyo peso sea menor a 3kg, el servicio tiene un valor base. Aproximadamente el 70% de estas encomiendas tienen un peso menor al previamente mencionado, y el resto va desde un rango desde mayores a 3kg hasta los 200 kg. Por lo que la automatización parcial del proceso permitiría disminuir los tiempos y a la vez aumentar la eficiencia y productividad de un operario al disminuir

el número de actividades que debe realizar. Del mismo modo, al poder transmitir la información de encomiendas que no sobrepasen los 200kg y que tengan una sección máxima de 60x60 cm hacia un sistema informático, el cual se encargara de almacenar y procesar dicha información obteniendo un precio para el servicio, lo que reduciría el tiempo de ingreso de las encomiendas y permitiría procesar una mayor cantidad por día aumentando la productividad del operario y del proceso.

1.2 Justificación del problema

Los sectores que implementan sistemas automatizados presentan altos niveles de productividad, aprovechando los recursos de una forma eficaz. En industrias de envío de encomiendas se tiene que seguir un protocolo, el cual va desde la medición y pesaje del paquete hasta el etiquetado de este, donde se incluyen todos los parámetros de interés. En la mayoría de las empresas a nivel nacional se opera con un sistema de medición e ingreso de datos manual, lo que conlleva mayor tiempo de espera. Esto no solo ocasiona una cola de clientes, sino que, además, reduce considerablemente el tiempo efectivo de uso de los equipos.

Actualizar los protocolos de trabajo de las industrias locales permitirá generar un impacto, incentivando a las empresas a invertir en programas o capacitaciones que impulsen nuevas tecnologías. Esto influye de manera directa en el mercado, ya que serán capaces de realizar un trabajo en mejores condiciones, lo que desembocará en nuevas plazas de trabajo para distintos sectores como son los operadores de los equipos y el personal de mantenimiento. Quienes asegurarán que no exista ningún inconveniente en los horarios de trabajos predefinidos.

Con ello se buscará ofrecer un mejor servicio utilizando los modelos de trabajo adaptados a las nuevas tecnologías. Se mejorarán los tiempos entre la realización del pedido y la confirmación de la orden, tomando como referencia paquetes menores a 3 kg, ya que estos forman el 70% de los paquetes que se envían regularmente.

Esto abrirá las puertas a que se implementen sistemas automatizados en todos los sectores que engloban a dicha línea de producción, y estas empresas podrán expandir su mercado a más sectores de interés.

1.3 Objetivo General

Diseñar una balanza automática para el pesado de encomiendas utilizando celdas de carga.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Diseñar y validar el componente electrónico para la balanza automática.
- Diseñar el componente mecánico de la balanza automática.
- Programar el microcontrolador para la obtención de peso y posterior envío a PC.
- Generar diagramas eléctricos y electrónicos del sistema.
- Diseño e implementación de PCB
- Mejorar los tiempos de obtención de peso y los tiempos de cola.

1.4 Marco teórico

En esta sección se encontrará conceptos, componentes y software que se utilizará en la elaboración de la balanza automática. De esta manera se puede comprender grosso modo el funcionamiento del sistema y su implementación.

1.4.1 Estado del arte

La empresa Dibal tiene a la venta un sistema que consta de una etiquetadora manual de la serie LP-5000. La etiquetadora tiene la función de poder conectarse hasta con dos plataformas de pesaje de 16 células cada una. Una vez realizado el pesado en las plataformas este valor es enviado a la etiquetadora, se muestra la información en una UI a través de un monitor integrado, en donde el operador puede observar los datos de pesado, precio y es capaz de interactuar e ingresar datos como la tara, la fecha de emisión, fecha de caducidad, lote, entre otros datos.

Posterior al llenado de los datos se puede realizar la impresión de la etiqueta y colocarla sobre el objeto para luego ser trasladado a las otras etapas del proceso. Cabe recalcar que esta etiquetadora y la plataforma de pesado están pensadas para entornos industriales [2].

En el trabajo de titulación “Diseño e implementación de un sistema de pesaje con acceso a base de datos con tecnología RFID y reportaría por medio de una red local” se puso como meta principal el mejorar el tiempo de ingreso de productos con el fin de evitar pérdidas de información. Para ello se utilizó sistemas amigables con el operador, es

decir, que hacían uso de un PLC delta y un HMI. El sistema se lo controlaba por medio de un Arduino UNO, con un lector RFID anexo [3].

Se realizaron múltiples pruebas que generaran los inconvenientes más comunes en estos sistemas, los cuales se registraron y estudiaron para la generación de la solución. Gracias a esta información el sistema de pesaje se diseñó en función de las necesidades, disminuyendo los tiempos de ingreso de nuevo producto y registro. Evidenciando que los sistemas semi autónomos generan un impacto de una magnitud considerable sobre los tiempos de producción.

1.4.2 Microcontrolador

Dispositivo electrónico programable capaz de realizar instrucciones lógicas utilizando lenguaje ensamblador. Un microcontrolador contiene diferentes microcomponentes entre estos podemos encontrar: el microprocesador el cual es el cerebro del dispositivo, memoria flash, reloj principal, puertos de entrada y salida. La memoria flash es una memoria programable la cual almacenara las instrucciones que se requieran. Los puertos de entrada y salida permiten la comunicación del procesador con sensores o actuadores [4].

1.4.3 STM32F407

El STM32F407 es un microcontrolador de 32 bits de la familia de STMicroelectronics (Figura 1.2) el cual es utilizado usualmente en aplicaciones médicas, industriales o donde sea necesario un alto nivel de rendimiento [5].

Para esta aplicación se necesita realizar varias acciones de manera casi simultánea para obtener y transmitir el pesado de las encomiendas de manera eficiente por lo que es el microcontrolador óptimo con el cual inicializar el proceso diseño debido a las altas especificaciones que tiene. La selección del microprocesador se la realizara posteriormente según los parámetros necesarios del programa.



Figura 1.2 Discovery Board STM32F407Vgtx [5]

1.4.4 Celdas de carga

Las celdas de cargas son transductores los cuales, al interactuar con una fuerza la transforman a un valor de variación de voltaje en función a la deflexión que se genera en una galga extensiométrica.

De esta manera se tiene que para un voltaje de entrada existe un voltaje de salida en un circuito de puente de Wheatstone que varía de manera proporcional a la carga [6].

1.4.5 Driver HX711

El driver HX711 es un amplificador de señal programable de 24 bits diseñado por AVIA SEMICONDUCTORS. El driver consta 4 pines: Vdd, GND, CLK y Dat, el pin CLK o clock será el encargado de decirle al microcontrolador cuando debe de leer el dato del pin DAT al cambiar de estado de apagado a encendido. La ganancia estará dada por los pulsos que son enviados al microcontrolador luego de la lectura del dato. Si es un solo pulso la ganancia es 128, si son dos pulsos es 32 y si son 3 pulsos es 64 (Figura 1.3) [7].

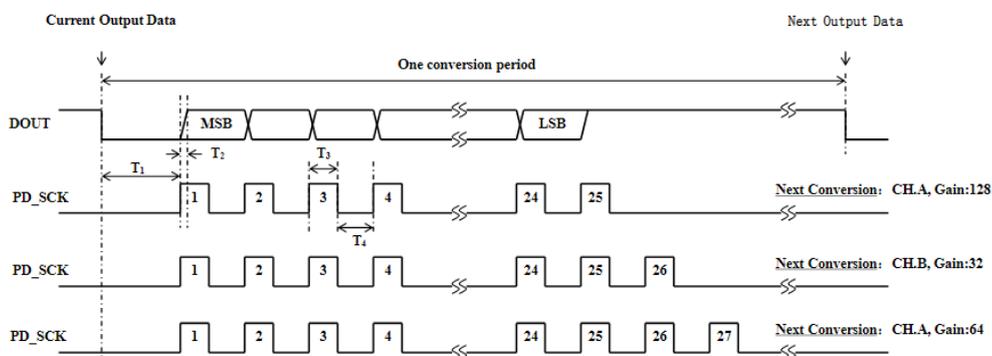


Figura 1.3 Lectura HX711 [7]

1.4.6 FreeRTOS

Para la elaboración de este proyecto, debido a que se debe de realizar varias tareas de manera simultánea se utilizara la herramienta de FreeRTOS que es un sistema operativo en tiempo real que tiene como ventajas el uso de colas, temporizadores y de multitareas.

De esta manera se alivia la carga al procesador reduciendo la cantidad de recursos que utiliza. Generalmente para poder realizar cada una de las tareas se tienen bucles while y se ingresa a cada uno de estos de manera secuencial, se llaman a las distintas variables estáticas creando una complejidad muy grande lo que puede hacer que falle el programa dando errores de compilación FreeRTOS permite el uso de multitareas preventivo en donde se reparte los tiempos de uso del CPU del procesador dependiendo de la prioridad de cada una de las tareas [8].

De manera externa parecería que existen n número de bucles while dependiendo de la cantidad de tareas que se necesitan, todos trabajando simultáneamente dentro del main como se aprecia en la Figura 1.4.

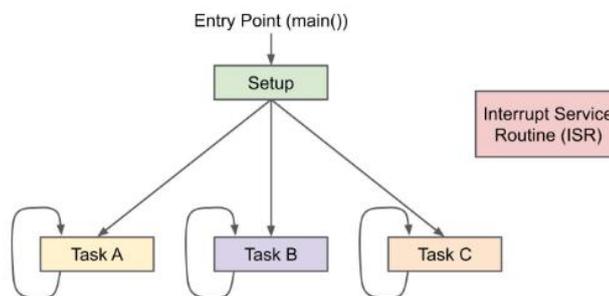


Figura 1.4 Perspectiva externa [9]

Sin embargo, las tareas no se manejan de manera simultánea sino más bien como se indicó anteriormente dependerán de la prioridad que se le da a cada una de estas y son realizadas por el microprocesador como se muestra en la Figura 1.5

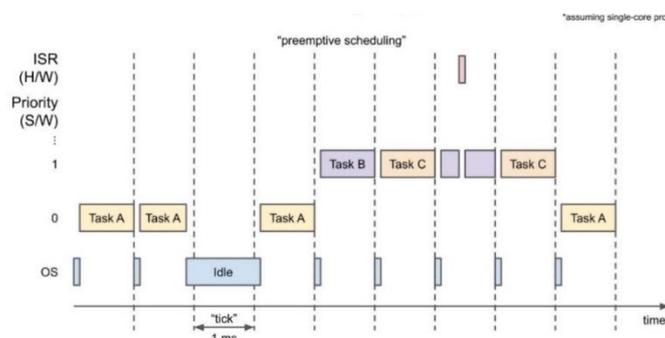


Figura 1.5 Uso del CPU para multitareas [9]

CAPÍTULO 2

2. Metodología

En este capítulo se describe el proceso utilizado para poder realizar el diseño de la balanza automática. Durante la propuesta del diseño se consideró 3 alternativas basadas en los requerimientos limadores, funciones, parámetros críticos y deseos del cliente. De esta manera se procedió a realizar una matriz de criterios ponderados para la selección de la alternativa óptima. Y posteriormente el diseño de esta.

2.1 Requerimientos Limitadores

Los requerimientos limitadores son aquellas especificaciones o deseos que limitan el diseño de materialización, sean estas prestaciones exigidas como: velocidades, pesos, tiempos de ejecución; dimensiones, exigencias ergonómicas, entre otras [10].

A continuación, se enlistarán los requerimientos limitadores obtenidos luego de la reunión inicial con el cliente. Cabe recalcar que el orden no es por importancia sino por cómo fueron saliendo a lo largo de la reunión antes mencionada.

RL1) Ser capaz de pesar encomiendas entre 0-200kg.

RL2) La sección de la balanza debe permitir encomiendas con una sección de 60x60 cm.

RL3) Envío del peso por USB.

RL4) Debe de ser lo más económica posible para el comercio de esta.

RL5) Microcontrolador de preferencia de la familia STM.

2.2 Funciones y Parámetros Críticos

Las funciones y parámetros críticos son aquellas variables o condiciones tanto cualitativas como cuantitativas basándose en el funcionamiento del diseño y en torno a cuáles se desarrollarán las diferentes alternativas de solución [10].

2.2.1 Funciones Críticas

FC1) Tiempo de envío de datos.

FC2) Obtención de datos (kg, lb).

FC3) Modo para mostrar datos.

2.2.2 Parámetros Críticos

PC1) Dimensiones de la balanza.

PC2) Peso máximo aplicable.

PC3) Cadencia de clasificación.

PC4) Dimensión máxima de la sección de las encomiendas.

2.3 Despliegue de Alternativas de Solución

A lo largo del proceso inicial de la propuesta se consideraron las siguientes alternativas

Alternativa 1: Diseño e implementación de una balanza automática utilizando un Arduino como microcontrolador, identificación por medio de RFID, monitoreo y control del sistema utilizando PLC.

Alternativa 2: Diseño e implementación de una balanza automática industrial utilizando celdas de carga y microcontrolador STM32 con envío de datos por medio de USB y muestra del mismo por pantalla LCD.

Alternativa 3: Diseño e implementación de una balanza automática con comunicación por bluetooth, uso de UI e impresión de etiqueta.

2.4 Selección de Alternativa de Solución

Para la selección de la alternativa se realizó una matriz de criterios ponderados. Dicha matriz permite obtener la alternativa que más se apega a las necesidades del cliente y cumple con los requerimientos establecidos, dando a cada criterio un valor en función de la importancia de cada uno.

A continuación, se detallarán los criterios con los que se evaluarán cada una de las alternativas:

- **Mantenimiento:** Aquí se tomará en cuenta el ciclo de trabajo que tendrán los elementos que formaran parte del sistema, y cada cuando se deberá revisar el circuito de control para asegurar un funcionamiento óptimo.

- **Capacidad de Mejoras:** Se evalúa si el sistema permite añadir funcionalidades tanto en hardware como en software sin alterar las funciones principales de trabajo.
- **Controlabilidad:** Se analiza el nivel de dificultad que se tendría si se necesitaran aplicar mejoras en las funciones principales.
- **Manejabilidad:** Si su diseño mecánico permite una manipulación sencilla a los operarios.
- **Costo:** Se estudia el precio de los componentes principales y su accesibilidad en el país.

Tabla 2. 1 Criterios de selección

[Elaboración propia]

| Criterios de Selección | | | |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| Peso | Criterio | Rango de Importancia | % de Decisión |
| 1 | Mantenimiento | 5 | 10 |
| 1,4 | Capacidad de Mejoras | 4 | 13 |
| 2,2 | Controlabilidad | 3 | 22 |
| 2,5 | Manejabilidad | 2 | 25 |
| 3 | Costo | 1 | 30 |
| 10,1 | TOTAL | | 100 |

Todas las características previamente mostradas, fueron analizadas bajo los parámetros de trabajo que presentan las industrias de envío de encomiendas. Basándonos en las limitantes que presentan a la hora de adquirir nuevos equipos que faciliten las tareas rutinarias. A continuación, se hace el contraste con las alternativas de solución:

Tabla 2.2 Matriz de decisión de alternativas

[Elaboración propia]

| Criterios | | | | | | Resultados | | |
|----------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------------|-------|------------------|------------------|-----------|
| Pesos | 1 | 1.4 | 2.2 | 2.5 | 3 | | | |
| Opciones | Mantenimiento | Capacidad de mejoras | Controlabilidad | Manejabilidad | Costo | Puntaje sin peso | Puntaje con peso | Prioridad |
| Alternativa 1 | 2 | 2 | 8 | 7 | 2 | 21 | 45.9 | 3 |
| Alternativa 2 | 7 | 8 | 9 | 7 | 8 | 39 | 79.5 | 1 |
| Alternativa 3 | 4 | 7 | 7 | 6 | 5 | 29 | 59.2 | 2 |

Como se puede apreciar en la Tabla 2.2, se concluye que la opción más adecuada es la segunda ya que en cuanto a controlabilidad y capacidad de mejoras es la que mejor se adapta. Otro factor importante es el costo, el cual nos permitirá plantear diferentes diseños sin afectar el presupuesto inicial.

2.5 Metodología de diseño

Durante el proceso de diseño es muy común realizar un diagrama de flujo que permita observar las diferentes áreas de trabajo y los pasos que se van a realizar en cada una de estas. Esto permite comprender con mayor facilidad las diferentes etapas y subetapas de diseño mediante un método gráfico. En la Figura 2.1 se ilustra las diferentes etapas y subetapas que se realizaron para el proceso de diseño de la alternativa previamente seleccionada.

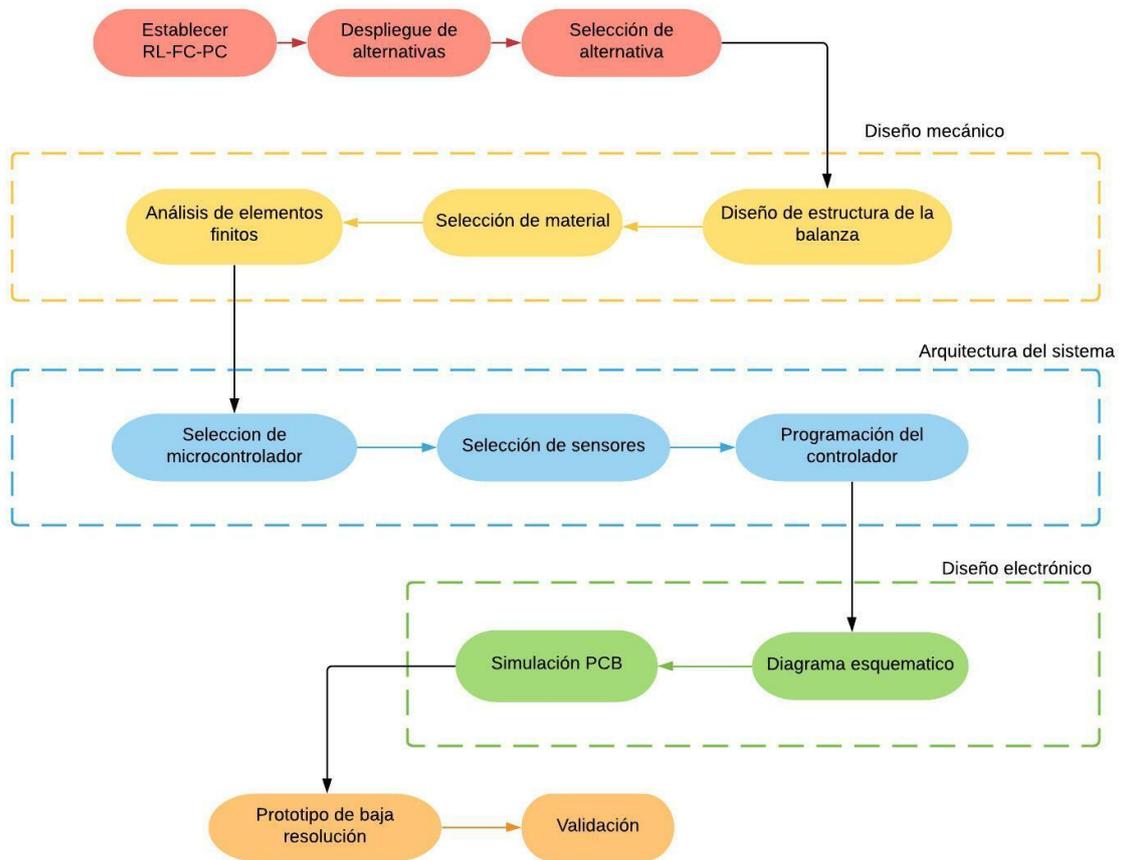


Figura 2.1 Proceso de diseño

[Elaboración propia]

2.5.1 Diseño conceptual

Tomando en cuenta el diseño de las balanzas que son usadas al nivel industrial, se planteó una estructura similar a la Figura 2.2. Gracias a este modelo que se usara como base, nos permitirá identificar características y patrones que sean de vital importancia a la hora de realizar el diseño.

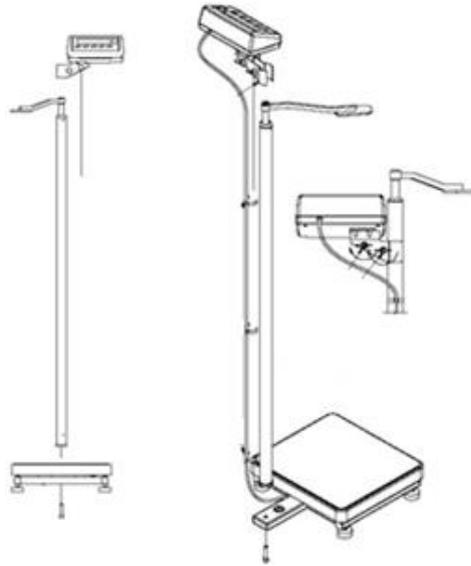


Figura 2.2 Balanza industrial [11]

2.6 Parámetros de diseño mecánico

Para realizar este análisis se seguirán los criterios de balanzas industriales proporcionadas por “Precisur” la cual es una empresa que se encarga en desarrollar dispositivos con propósitos similares a nuestro trabajo [11]. Las características se detallarán a continuación:

- **Diseño:** la forma y estructura que deberá tener la balanza no solamente se registrará por las cargas que tiene que soportar, si no que se debe respetar el espacio de trabajo de las demás estaciones, es decir que el diseño no interfiera con las demás actividades que se puedan ejercer en esa línea.
- **Capacidad:** Los rangos de trabajo fueron especificados al inicio del trabajo, por lo que se usaron los mismos para esta sección, es decir, el sistema deberá ser capaz medir cargas que van desde los 3kg hasta los 200kg.
- **Materiales:** Aun cuando en el mercado exista una amplia ventana de materiales, no implican que todos sean capaces de soportar el tipo de carga y la forma en que se aplican sobre una superficie, además que no debe ser tan pesado para facilitar su manipulación.
- **Visualización de resultados:** Se deberá de elegir el tipo de elemento que nos permitirá observar el cambio en las diferentes mediciones que se realizaran.

2.6.1 Parámetro: Diseño

Para la realización del diseño se tomó como referencia los modelos de balanzas industriales que se puede encontrar en el mercado. Entre las diferentes opciones se escogerá como base el modelo "PCE-SD 300" el cual cumplirá con las dimensiones y funcionalidades.



Figura 2.3 Modelo PCE-SD 300 [11]

Como nuestro mercado tiene un diferente enfoque al que este modelo está diseñado se tomaran en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La superficie en la que se colocaran los paquetes deberá tener un valor promedio, con respecto a los paquetes más enviados y se sumara un 15% a esas dimensiones con el fin de tener un sistema estable.
2. El soporte vertical tendrá un perfil cuadrado con el fin de aumentar su resistencia a la flexión y tener un espacio más adecuado para la distribución de cables al sistema de control.
3. La base superior contendrá solo un elemento de visualización, con el fin de tener un correcto espaciado entre sus elementos.

4. Los soportes de la base deben tener un sistema regulable para poder asegurar la nivelación.

2.6.2 Parámetro: Capacidad

Para realizar el tipo de análisis de capacidad se usó la guía “Resistencia de materiales” [12] con la cual se deberán cumplir las siguientes hipótesis:

1. Si el material que se utilizara presentara continuidad en toda su estructura, es decir, se mantendrá un mismo perfil para toda la extensión de la superficie de dicho elemento.
2. Si se requiera realizar acciones sobre algún elemento, se evitará afectar la homogeneidad de dicha piza.
3. Se deberá considerar si la isotropía en el material no será un factor importante en los puntos de soporte.
4. Cuando se coloquen todos los elementos se deberá evitar generar grandes cargas sobre los soportes. Con el fin de disminuir los esfuerzos en la estructura.
5. Se tomará un sistema de fuerzas como una superposición de este.
6. Las deformaciones que se generen al momento de colocar carga no afectaran la forma inicial de este.
7. Se debe analizar que los esfuerzos producidos generan una deformación la cual será directamente proporcional a que tan intenso sea el esfuerzo aplicado.

Con estas ideas planteadas, se debe considerar que las fuerzas internas que se presenten en la estructura sean capaces de equilibrar las fuerzas externas evitando deformación en la armadura [12]. Análogicamente, si se retiran las cargas, las deformaciones que se generen (de carácter elástico) deberán de regresar a su estado inicial.

2.6.3 Parámetro: Materiales

Aquí se tomarán 2 opciones tanto como para las bases, y para los soportes. La primera es el acero, la cual según el tipo de grado presenta diferente tipo de características mecánicas:

Tabla 2.3 Propiedades Acero [13]

| Grado | Resistencia a la tensión [psi] | Resistencia a la fluencia [psi] | Porcentaje de elongación | Porcentaje de reducción de área | Dureza Brinell |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------|
| AISI 1008 Laminado en caliente | 44000 | 24500 | 30 | 55 | 86 |
| AISI 1008 estirado en frío | 49000 | 41500 | 20 | 45 | 95 |
| AISI 1018 Laminado en caliente | 58000 | 32000 | 25 | 50 | 116 |
| AISI 1018 Estirado en frío | 64000 | 54000 | 15 | 40 | 126 |

La segunda opción es el acero galvanizado que presentaran diferentes características según su calidad estructural. Los datos se encuentran en la Figura 2.4

| Calidad Comercial CS* | | Fluencia YP Mínima | Resistencia Máxima-Minima | Elongación Mínima |
|-----------------------|--|--------------------|---------------------------|-------------------|
| | | MPa | MPa | % |
| | | 205/380 | ---- | ≥ 20 |

| Calidad Estructural SS | GRADO | Fluencia YP Mínima | Resistencia Máxima-Minima | Elongación Mínima |
|------------------------|-------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| | | MPa | MPa | % |
| | 33 | 230 | 310 | 20 |
| 37 | 255 | 360 | 18 | |
| 40 | 275 | 380 | 16 | |
| 50 | 340 | 450 | 12 | |

Figura 2.4 Datos del acero galvanizado [13]

2.6.4 Parámetro: Visualización de resultados

En esta sección se analizó la forma en la que el usuario podía interactuar con el sistema, es decir, que sea capaz de conocer a tiempo real la carga que contiene el paquete a ser pesado. Para ello se trabajaron en 2 posibles opciones:

1. Una pantalla led que proporcione información del peso y otros valores de interés, el número de encomiendas (en un pedido de varios paquetes) fecha, horas y referencias de destino.
2. Una interfaz en un computador la cual permita tener una experiencia más interactiva. En la cual, el usuario pueda detallar todos los parámetros de envíos y preferencias al tratar con el paquete para que posteriormente se imprima y se coloque sobre el paquete junto con un código QR el cual permita realizar la identificación de una manera inmediata.

2.7. Arquitectura del sistema

Para esta sección fue necesario primero plantearse que componentes se iban a utilizar y de qué manera se realizaría el control de estos. De esta manera realizar una arquitectura del sistema permite de grosso modo conocer ciertos elementos como sensores, microcontroladores que pueden ser utilizados y cuya selección se realizara posteriormente observando los requerimientos del proyecto

En la Figura 2.5 se puede observar la arquitectura para el pesado de las encomiendas y posterior envío del mismo. Inicialmente se tiene un puente de Wheatstone realizado por 4 celdas de carga todas conectadas a un driver HX711. La lectura del peso es obtenida por un microcontrolador STM32 y enviado a una PC por medio de USB. Para poder realizar las tareas de manera paralela se implementa el uso de freeRTOS y la programación total del microcontrolador se lo realizara con el IDE del mismo microcontrolador (STM32 CubeIDE) utilizando como lenguaje de programación C.

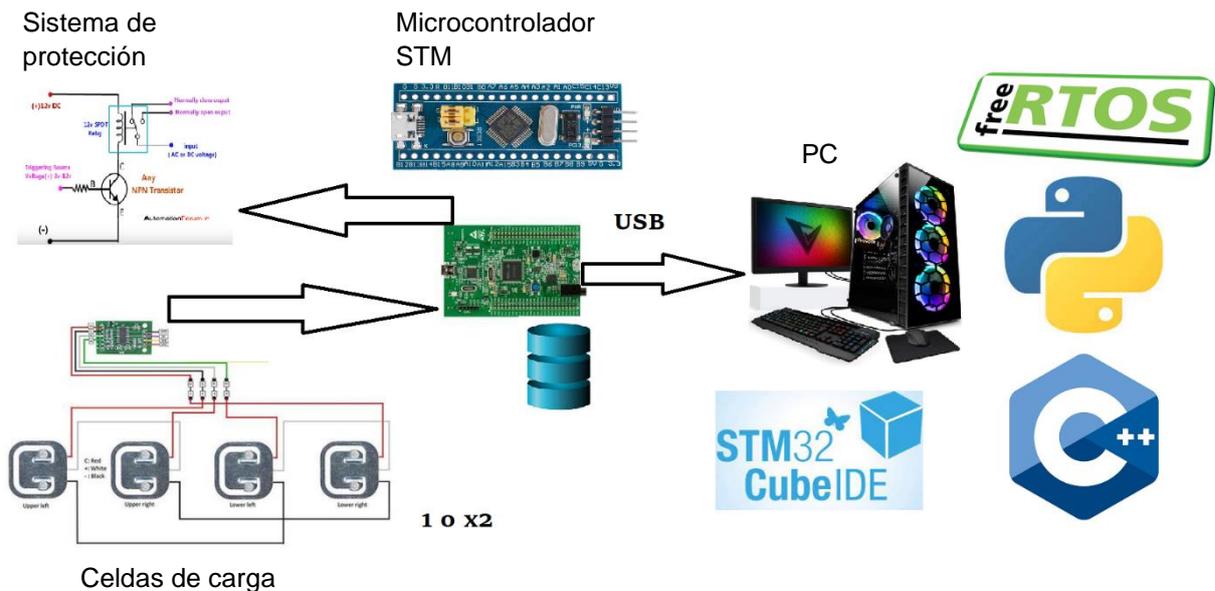


Figura 2.5 Arquitectura inicial de la balanza

[Elaboración propia]

2.7.1 Selección Microcontrolador

Para la selección del microcontrolador primero se procedió a realizar la programación del sistema utilizado el STM32F407 Discovery Board. Se optó por eso debido a que para la selección del microcontrolador es necesario conocer:

- El espacio de memoria que se utiliza
- La memoria RAM necesaria para realizar las diferentes tareas
- La frecuencia a la que trabaja el reloj del microcontrolador

Estos tres parámetros se los puede obtener a través del IDE que se utilizó para la programación, una vez que la codificación esta funcional.

prototipo.elf - /prototipo/Debug - Dec 18, 2021, 4:34:22 PM

| Region | Start address | End address | Size | Free | Used | Usage (%) |
|--------|---------------|-------------|---------|-----------|----------|-----------|
| CCMRAM | 0x10000000 | 0x10010000 | 64 KB | 64 KB | 0 B | 0.00% |
| RAM | 0x20000000 | 0x20020000 | 128 KB | 108.27 KB | 19.73 KB | 5.42% |
| FLASH | 0x08000000 | 0x08100000 | 1024 KB | 995.46 KB | 28.54 KB | 2.79% |

Figura 2.6 Requerimientos de memoria y RAM

[Elaboración propia]

Como se puede observar en la Figura 2.6 se está utilizando un total de 19.73 kb de memoria RAM y de almacenamiento 28.54 kb. En la figura también se puede observar que estos valores corresponden al 15.42% y 2.79 % respectivamente de la capacidad que tiene el microcontrolador de la Discovery Board por lo que se podría bajar de categoría.

Una de las ventajas de los microcontroladores STM es que dentro de las distintas familias existen varios microcontroladores que pertenecen a la misma familia, pero varían ciertos parámetros como son el número de pines, la memoria flash y la memoria RAM como se muestran a continuación.

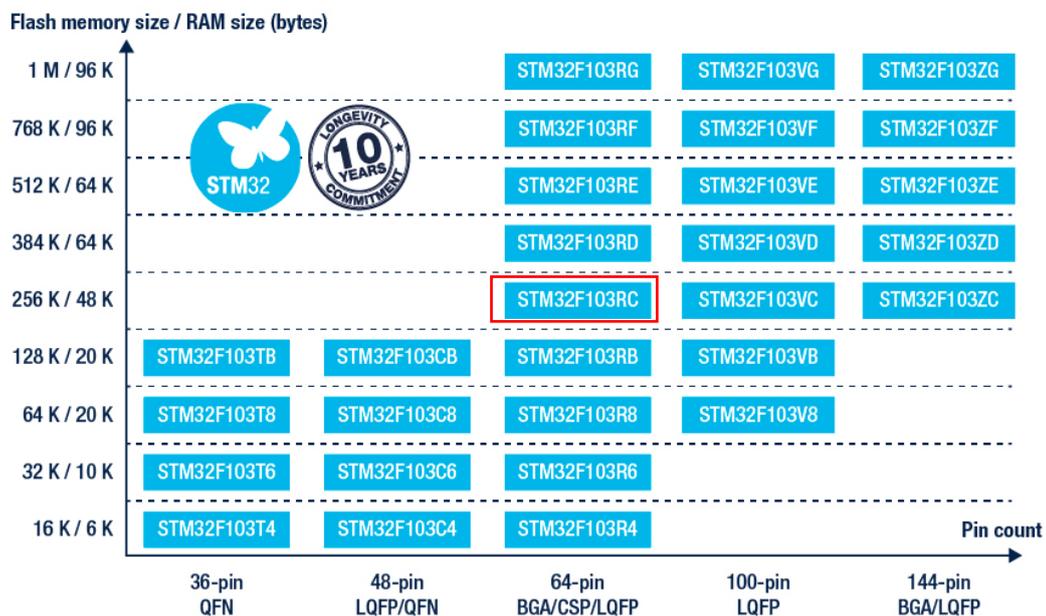


Figura 2.7 Familia del micro STM32F103 [5]

Con esto en mente se procedió a seleccionar el microcontrolador STM32F103RC dado a que cuenta con los parámetros necesario, es posible él envió de datos por USB y la frecuencia del clock es mayor a la frecuencia a la que está programado el sistema.

2.7.2 Selección de Sensores

Con respecto a la selección de sensores, se conocía previamente que era necesario el uso de celdas de carga, por disposición de nuestro cliente, sin embargo, existen diferentes tipos de celdas de carga en el mercado como son las celdas de carga de un solo punto, tipo botón, tipo S, entre otras.

A su vez, según el tipo de celdas se tienen una carga máxima disponible y de estas dependería el tipo de conexión que se debe de realizar para cumplir el requerimiento de

pesado de hasta 200kg. Por ejemplo, se conoce que las celdas de carga de un solo punto tienen una resolución desde 100g hasta 50kg por lo que sería necesario de 4 celdas de carga conectadas entre sí para poder realizar las lecturas necesarias.

Para la solución de esta problemática se utilizarán las celdas de carga SEN-10245 de 50 kg debido a su disponibilidad en el mercado local, su bajo coste y el soporte que tienen para el microcontrolador a utilizar con la ayuda de un driver HX-711 para la obtención del peso.



Figura 2.8 Celda de carga SEN-10245 [14]

2.7.3 Programación microcontrolador

En esta sección se realizará una breve explicación del código que se utiliza para poder realizar el pesado de las encomiendas. En el apartado del Apéndice A se encuentra la programación de las tareas más importante y un enlace del proyecto completo.

El archivo globalVar contiene todas las variables, constates necesarias para realizar las mediciones. Al tener todos estos datos en un archivo, es posible llamarlas y almacenarlas de manera independiente y se elimina la necesidad de variables locales.

Puesto que se está trabajando con FreeRTOS, cada tarea a realizar por el microcontrolador tiene su propio archivo .h y .c como se muestra en la Figura 2.9.



Figura 2.9 Tareas del microcontrolador (a) .c (b) .h

[Elaboración propia]

La tarea **TskMeassurment** permite inicializar la balanza, la obtención del peso tanto de libras como en kilogramos y asigna un valor a la variable estadoB según el rango de la lectura de los sensores.

Así como generalmente cuando una va a utilizar una balanza debe primero encerrarla, el sistema este diseñado para que al inicializarle realizar la medición de la tara que permite la encerada del sistema. Dicho dato es obtenido leyendo n número de veces la balanza mientras se encuentra vacía. A partir de este momento la balanza ya está lista para poder realizar mediciones de peso.

La tarea "**TskSupervisor.c**" obtiene el valor de la variable estadoB y según su valor enciende un led RGB. Si el estado es 0 este parpadea de color azul, si el estado es 1 parpadea de color verde y si el estado es 2 parpadea de color rojo. De esta manera se puede conocer si se está realizando la medición de manera correcta o si la balanza tiene algún fallo. De esta manera se hace alusión a que, si está en rojo el LED es porque existe un fallo, si está en verde se está haciendo la medición de manera correcta y en azul la balanza se encuentra vacía y se encuentra lista para pesar.

Por otro lado, la tarea "**TskEnvio.c**" trabaja como un interpretador que según el comando que recibe por serial realiza una acción. El microcontrolador espera a recibir el comando y si dicho comando es "k" envía el valor en kilos y si recibe "l" envía el valor en libras del peso.

Finalmente, en el main se puede encontrar un método que permite mostrar a través de una LCD16x2 el valor del pesado según el botón que se presione del 4x4 matrix keypad.

2.8 Diagrama Esquemático

Para la elaboración de tanto el diagrama esquemático como la PCB se utilizó el software EasyEDA debido a que permite subir los trabajos a la nube y es posible trabajar simultáneamente en equipo. A demás al momento de realizar la PCB muestra el costo dado que, la empresa se dedica a la elaboración de estas.

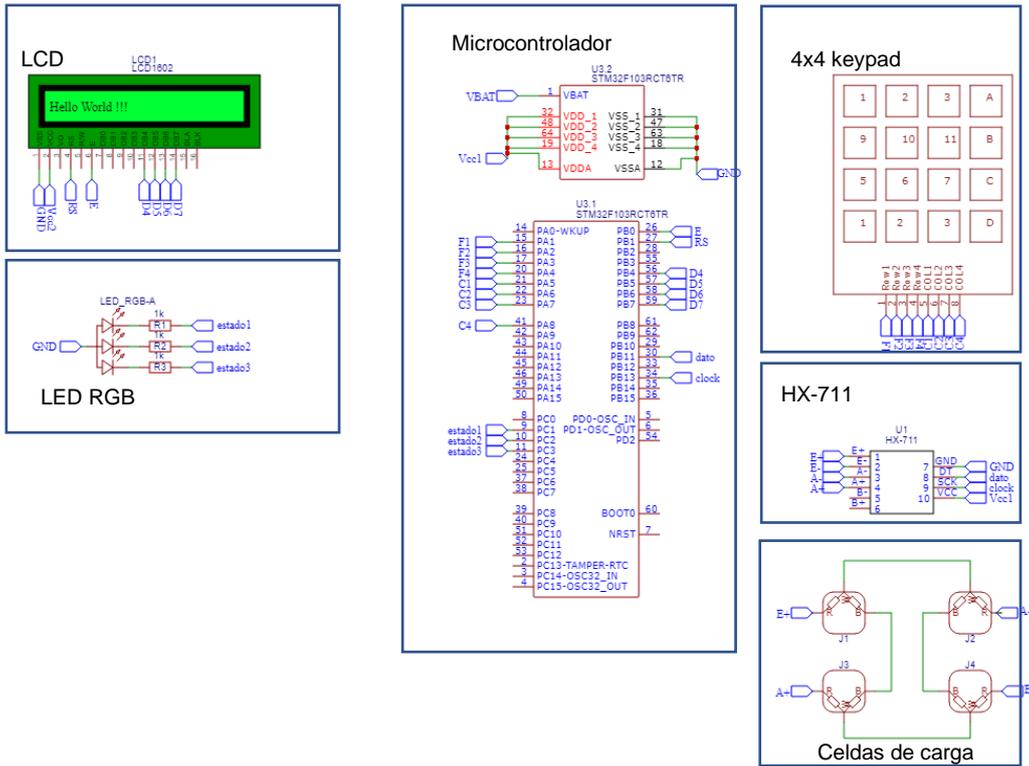


Figura 2.10 Diagrama de Componentes

[Elaboración propia]

Posteriormente se procedió a realizar el diagrama esquemático completo el cual se utilizaría para el diseño de la PCB. Dicho diagrama esquemático se encuentra en el APÉNDICE B y con cada uno de sus diferentes componentes rotulado.

La PCB contara con un conector para una alimentación de 12V e internamente tiene un regulador de voltaje a 5V (Figura 2.11) para el funcionamiento del microcontrolador, sensores, LEDs, LCD y keypad. En caso de estar conectado por medio de USB, se alimentaría por este medio.

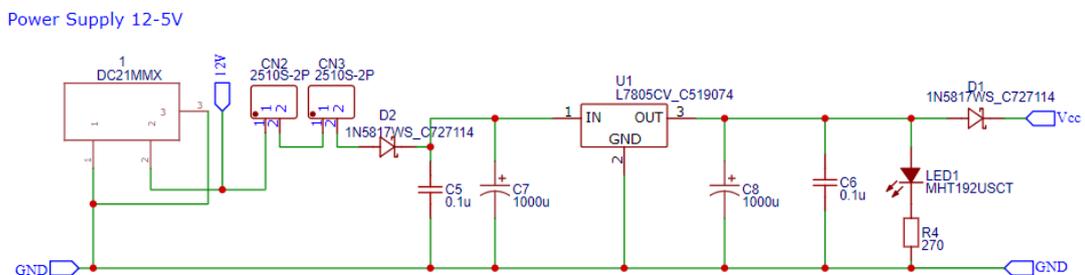


Figura 2.11 Regulador de voltaje 12-5V

[Elaboración propia]

CAPÍTULO 3

3 Resultados y Análisis

En esta sección se presentará los resultados de diseño para la solución planteada.

3.1 Obtención del peso

Para la obtención del peso dentro de la tarea TskMeassurment se convierte la raw data que obtiene el driver a gramos. Para esto es necesario obtener la escala de conversión considerando la ganancia del sistema. En este diseño la escala se puede obtener con la ecuación (3.1) utilizando una ganancia de 1.

$$\text{Escala} = \frac{\text{RAW DATA}}{\text{Peso conocido}} \quad (3.1)$$

Se puede observar que la escala es el inverso de la pendiente de una gráfica lineal en la que el eje X es Raw Data y el eje Y es la lectura del peso.

De esta manera se obtuvo el valor de Raw Data cuando la balanza estaba vacía para conocer el intercepto de la función. Posteriormente se utilizó un peso ya conocido de 2kg para la lectura de la balanza. Los valores obtenidos fueron los indicados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos obtenidos para calcular escala
[Elaboración propia]

| Valor Y [g] | Valor X [Raw Data] |
|----------------|-----------------------|
| 0 | 203808 |
| 2000 | 246550 |

Conociendo el intercepto de la función y el valor de Raw Data luego de colocar dos pesas de 1 kg cada una, se pudo obtener la escala del sistema como se muestra a continuación:

$$\text{Escala} = \frac{246550 - 204808}{2000 - 0}$$

$$\text{Escala} = 21.4$$

3.2 Incertidumbre de la balanza

Al tratar con un servicio cuyo cobro depende del peso del objeto, es importante conocer la precisión de la balanza principalmente por tener un rango de hasta 200kg.

Una de las formas más eficientes para conocer esta incertidumbre es utilizando métodos estadísticos. Esto debido a que al tener un sistema cuyo valor de peso varia, no se considerara la media como el valor exacto.

De esta manera el valor completo medido estará dado por el valor del peso obtenido con el valor de incertidumbre asociado como se muestra en la ecuación (3.2)

$$Y = y \pm U \quad (3.2)$$

Sin embargo, primero es necesario conocer qué tipo de evaluación se realizará para conocer la incertidumbre. Para el cálculo de este valor se tienen dos tipos de evaluaciones.

Las evaluaciones de tipo A se realizan cuando hay N observaciones independientes bajo las mismas condiciones de medida mientras que las evaluaciones de tipo B se realizan cuando no se tienen medidas realizadas bajo las mismas condiciones o cuando se establece un valor en función de toda la información recaudada [15].

Teniendo esto en consideración se realizará las evaluaciones de tipo A tomando 10 lecturas con 3 diferentes objetos de 210, 900 y 2000 g respectivamente. Considerando como la incertidumbre al valor mayor de estos 3 casos.

Las lecturas de los objetos fueron las siguientes:

Tabla 3. 2 Mediciones obtenidas
[Elaboración propia]

| Objeto 1[210] | Objeto 2[900g] | Objeto3[2000g] |
|---------------|----------------|----------------|
| 211 | 895 | 2081 |
| 215 | 878 | 2053 |
| 207 | 906 | 1997 |
| 206 | 910 | 2031 |
| 208 | 899 | 1988 |
| 220 | 891 | 2021 |
| 213 | 904 | 1995 |
| 203 | 898 | 1989 |
| 212 | 913 | 2051 |
| 209 | 880 | 2071 |

La ecuación (3.3) muestra el cálculo para la incertidumbre de tipo A.

$$u_A = S(\bar{x}) * t_{n-1;98\%} \quad (3.3)$$

Por lo que es necesario primero calcular la media, la varianza y la desviación estándar para poder obtener el valor de incertidumbre. Las ecuaciones (3.4),(3.5),(3.6) permiten obtener estos valores respectivamente.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.4)$$

$$S(x)^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad (3.5)$$

$$S(\bar{x}) = \frac{S(x)}{\sqrt{n}} \quad (3.6)$$

Una vez realizados los cálculos respectivos como se puede apreciar en el APÉNDICE C, los resultados para \bar{x} , $S(x)^2$ y $S(\bar{x})$ se indican en la Tabla 3. 3

Tabla 3. 3 Resultados prueba tipo A

[Elaboración propia]

| | Objeto 1 | Objeto 2 | Objeto3 |
|--|----------|----------|---------|
| Media \bar{x} | 210.40 | 897.40 | 2027.70 |
| Variancia $S(x)^2$ | 24.04 | 138.71 | 1226.68 |
| Desviación estándar de la media $S(\bar{x})$ | 1.55 | 3.72 | 11.08 |

El factor t para calcular la incertidumbre se lo obtiene de la tabla para una distribución de tipo T considerando la confiabilidad y el número de medidas que se realizaron.

Para esta propuesta de diseño se utilizará una distribución T con dos colas al 98% de confiabilidad. El factor t equivale a 2.412 como se muestra en la Figura 3.1.

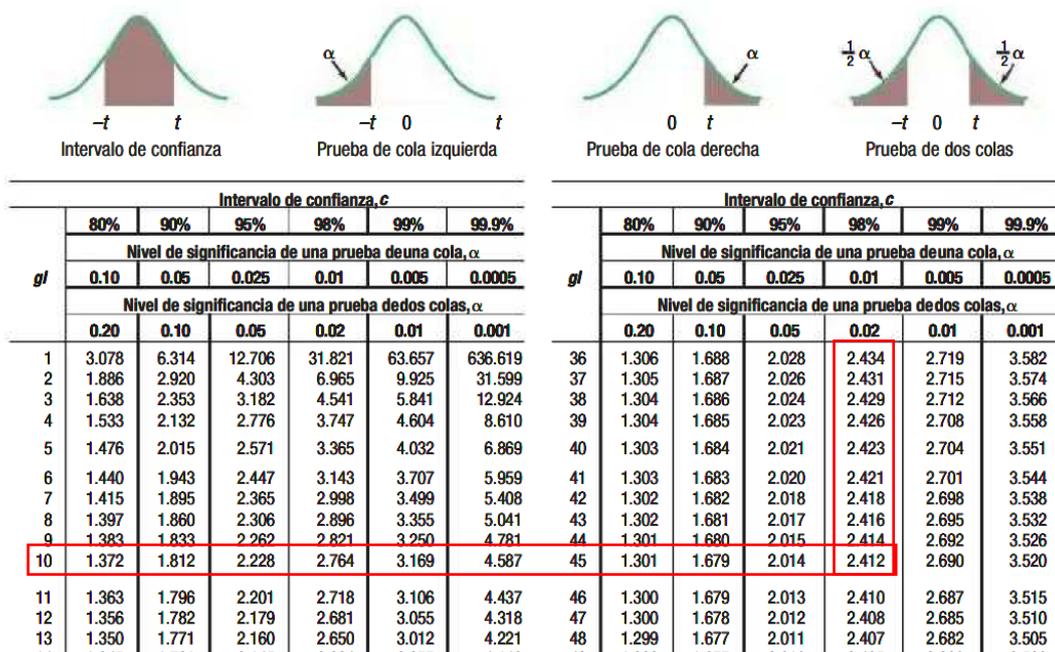


Figura 3.1 Tabla distribución tipo T [16]

Por lo tanto, la incertidumbre del sistema sería:

$$u_A = 11.08 * 2.412$$

$$u_A = 26.72 \text{ gramos}$$

3.3 Diseño mecánico

En esta sección se analizarán los modelos CAD que se realizaron para la representación del sistema de la balanza que está conformada por varias partes. Se realizará un análisis de elementos finitos para los 3 componentes principales de la estructura (Soporte vertical, base móvil, Armadura de soporte) (Figura 3.2).

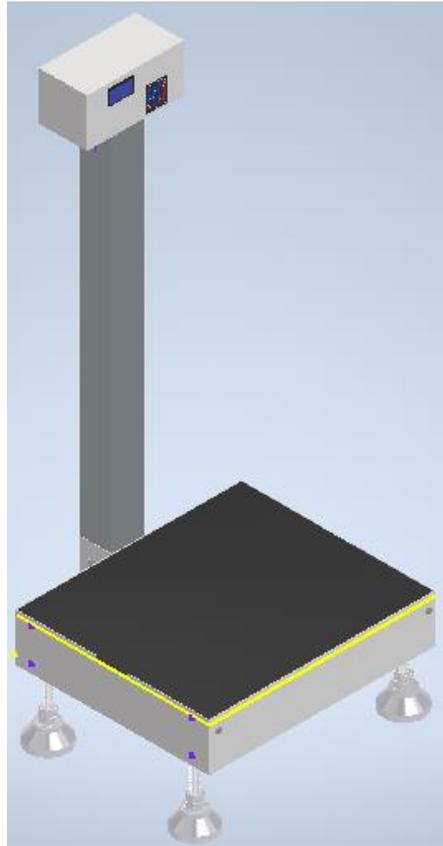


Figura 3.2. Diseño 3D de la estructura de la balanza

[Elaboración propia]

En la imagen se ilustra el diseño que se propone, el mismo que fue desarrollado con Autodesk Inventor ® (Tipo de licencia: ID AUTODESK, aeparede). Gracias a las facilidades que brinda el entorno, permitió realizar análisis que permitan validar el diseño. Uno de los métodos utilizados fue el análisis de elementos finitos en los componentes mecánicos de interés.

Para el dimensionamiento se tomó en cuenta los requerimientos del cliente, además se consideró una tolerancia en cuanto a las medidas de los elementos, con el fin de evitar posibles daños por algún tipo de mal uso del sistema.

Se consideró el tipo de cargas y la forma que se aplicarían sobre los elementos, los cuales tendrán un diseño que sea capaz de soportar estas sollicitaciones sin necesidad de recibir un mantenimiento frecuente.

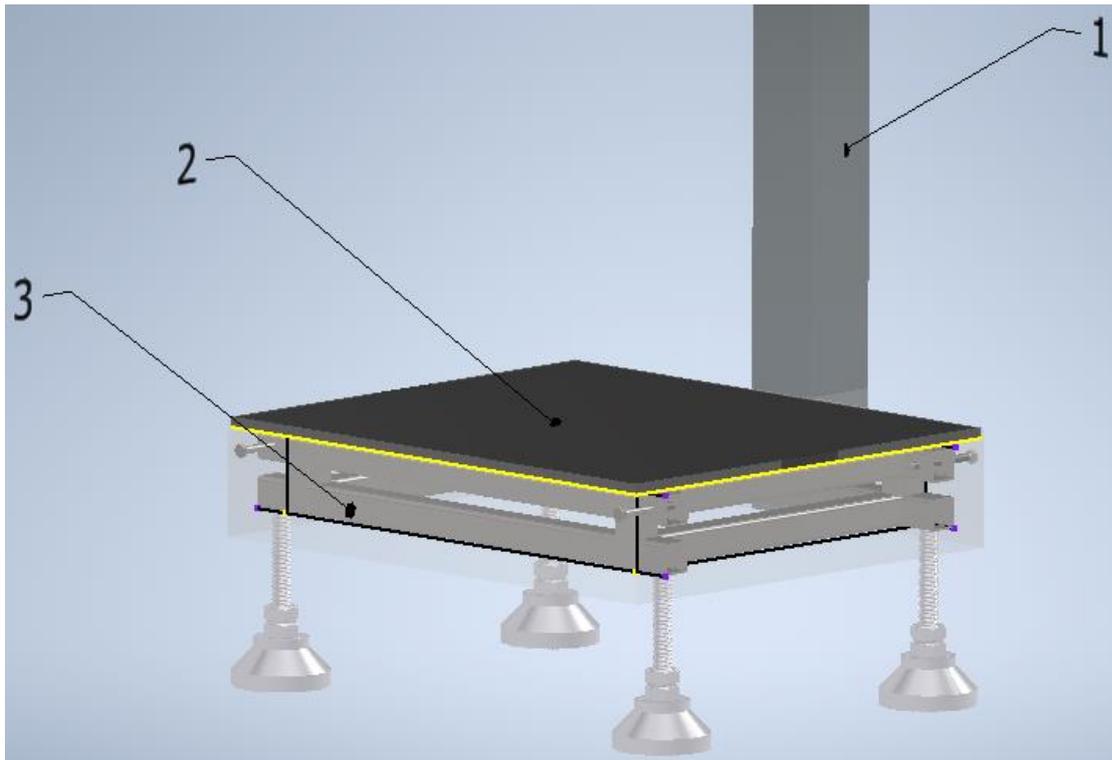


Figura 3. 3 Estructura: 1. Soporte vertical, 2. Base móvil, 3. Armadura de soporte

[Elaboración propia]

3.3.1 Base móvil

Para el diseño de la base móvil se colocó una placa la cual contendrá los elementos de medición, todo esto con el fin de aprovechar el espacio sin alterar las condiciones de trabajo previamente establecidas. En la Tabla 3.4 se detallan las características dimensionales y de material.

Tabla 3.4 Dimensiones de la base móvil

[Elaboración propia]

| | Medida [mm] |
|---------------------|-------------------|
| Largo de la placa | 595 |
| Ancho de la placa | 695 |
| Espesor de la placa | 3 |
| Material | Acero galvanizado |

Estos valores se escogieron basándonos en los requerimientos físicos del sistema, en donde se especificaba que los paquetes de encomiendas no sobrepasan los valores de 600 y 700 milímetros de largo y ancho respectivamente. El espesor viene dado por los tipos de placas que los fabricantes desarrollan, se escogió la de 3 milímetros porque es el necesario para soportar este tipo de cargas. Para el análisis de elementos finitos se colocaron los 4 puntos de apoyo donde están colocadas las bases para los sensores y se aplicó una carga puntual, ejemplificando el peor de los casos ya que usualmente los paquetes presentan cargas distribuidas en toda su superficie.

3.3.2 Soporte vertical

Según el APÉNDICE D, después de analizar la situación de carga máxima sobre el soporte vertical, se diseñó una estructura la cual esté conectada con la base fija y en la parte superior, debe tener otra base que contenga los elementos de visualización y de control. En la Tabla 3.5 se especifican las dimensiones.

Tabla 3.5 Dimensiones del soporte vertical
[Elaboración propia]

| | Medida [mm] |
|--------------------|-------------------|
| Largo de la base | 100 |
| Ancho de la base | 100 |
| Espesor | 12,7 |
| Altura del soporte | 1300 |
| Material | Acero galvanizado |

Con estos valores, se procedió a realizar los respectivos análisis de elementos finitos, para ello se fija la parte inferior y se colocó una carga que represente el peso de la base superior para ello se estimó que no sobrepasaría los 10 kg ya que su diseño y estructura interna vacía facilitarían la colocación de los elementos.

En las figuras Figura 3.4(a) y (b) se puede observar que los esfuerzos están el orden de 10^{-5} MPa. Esto permite deducir que no existirá riesgo alguno de que la estructura no sea capaz de soportar las cargas previamente mencionadas. Y en cuanto a desplazamientos,

Figura 3.4 (c) no existe un pandeo ya que la máxima deformación está en los valores de 10^{-7} mm.

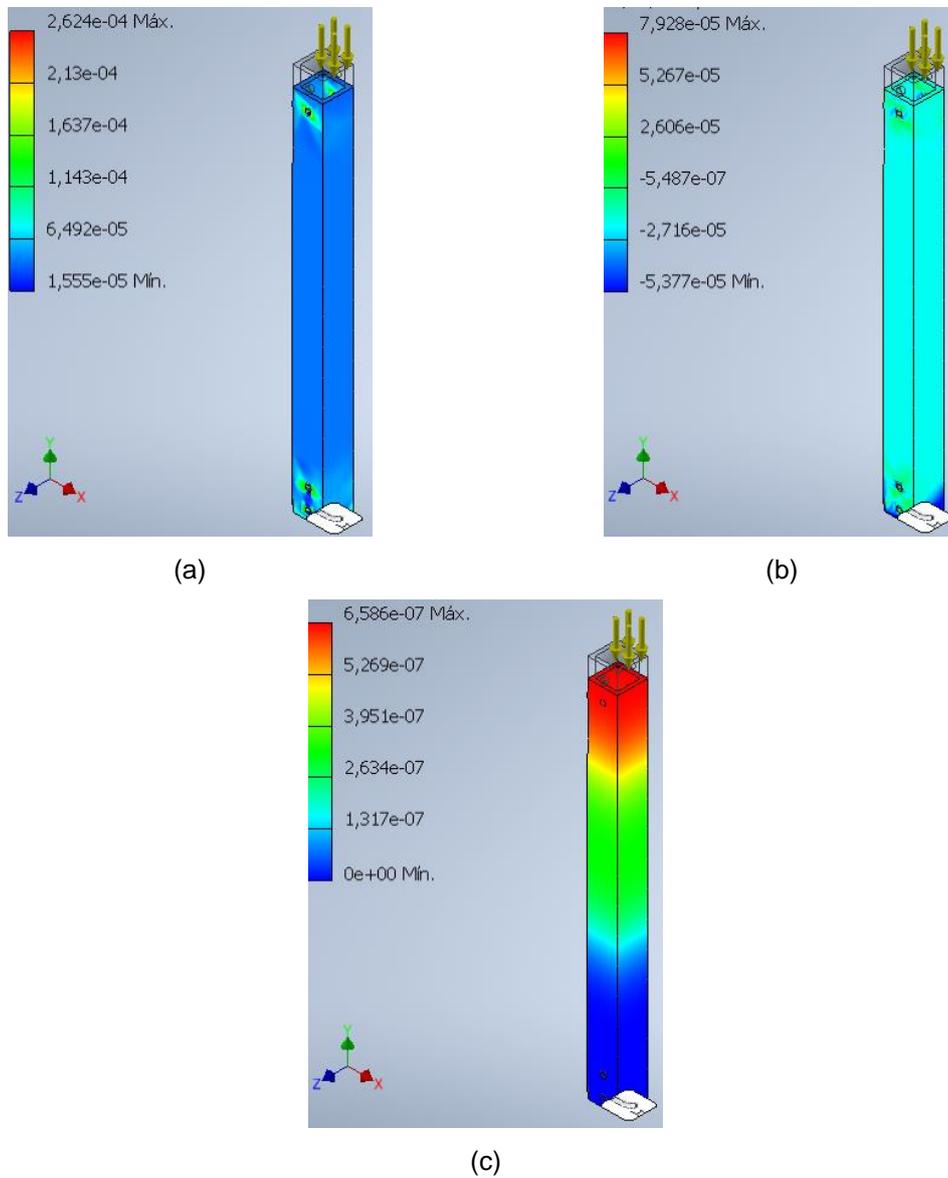


Figura 3.4 Análisis de fatiga, Soporte Vertical (a) Esfuerzo de Von Mises [MPa], (b) Primer Esfuerzo Principal [MPa], (c) Desplazamiento [mm]

[Elaboración propia]

3.3.3 Armadura de soporte

El diseño de la armadura se basó en los modelos comerciales que se encuentran en el mercado, para ello se tuvo que analizar los puntos en donde se distribuyen los esfuerzos, con el fin de determinar una geometría capaz de resistirlos. Se eligió una estructura de

forma cúbica con un perfil cuadrado que será capaz de distribuir las fuerzas sin alterar su dimensión. Las dimensiones se especifican en la Tabla 3.6.

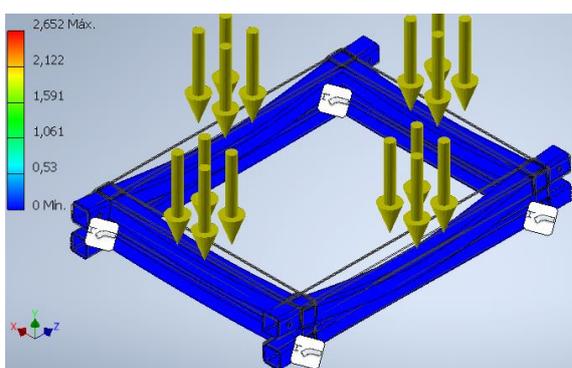
Tabla 3.6 Dimensiones de la armadura

[Elaboración propia]

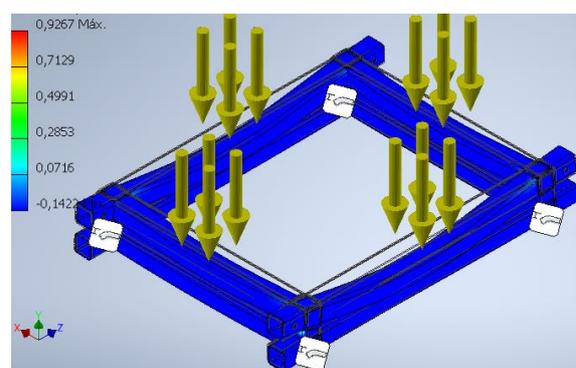
| | Medida [mm] |
|------------------------|-------------------|
| Ancho de perfil | 40 |
| Largo de perfil | 40 |
| Espesor de perfil | 3 |
| Largo de la viga | 600 |
| Separación entre vigas | 20 |
| Material | Acero Galvanizado |

Como se puede observar tiene una dimensión menor a la de la base fija todo con el fin de encajar dentro de la misma. Estos perfiles cuadrados están bajo la norma DIN facilitando la creación de esta estructura. En la Figura 3.5 (a) y (b) se aprecian los esfuerzos que se generan en la estructura.

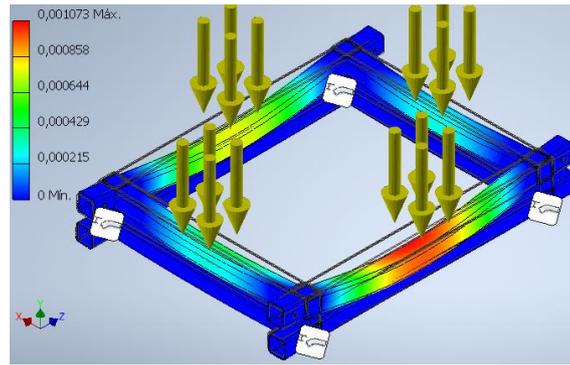
De esta manera se puede observar que los esfuerzos alcanzan un valor máximo de hasta 2.652 MPa. Además, en la Figura 3.5 (c) las deformaciones son mínimas a lo largo de toda la superficie, solo en la sección que conecta con el soporte vertical se observa un valor mayor. Pero de la misma manera los valores de desplazamiento no son tan pronunciados en cuanto a toda la estructura se refiere.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.5 Análisis de fatiga, Armadura de Soporte. (a) Esfuerzo de Von Mises [Mpa], (b) Primer Esfuerzo Principal [Mpa], (c) Desplazamiento [mm].

[Elaboración propia]

3.3.4 Pernos

En la Figura 3.6 se ilustra la ubicación que tendrán algunos de estos elementos sobre la estructura. Se escogió los modelos ISO-4014.

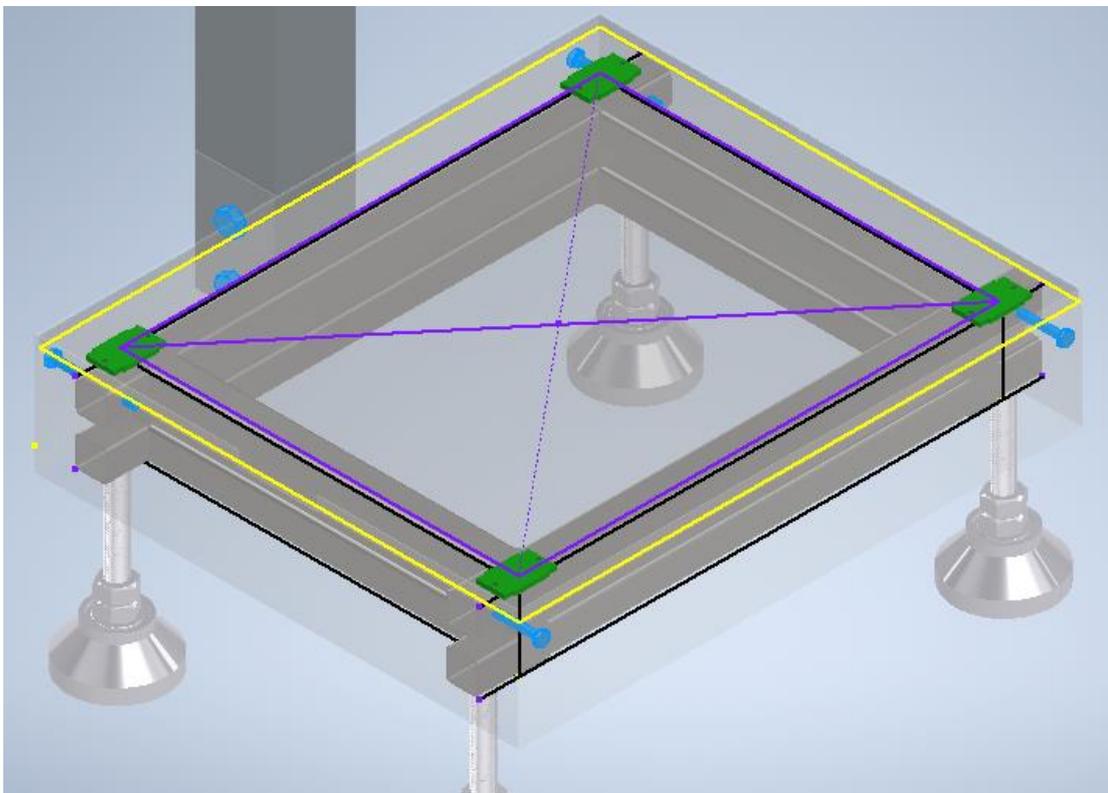


Figura 3.6 Ubicación de pernos

[Elaboración propia]

Se procede a ingresar los valores de carga y las situaciones de trabajo. Esto nos servirá para determinar factores de seguridad y límites de carga a los cuales se puede someter este tipo de elementos, todos estos datos se pueden observar en la Figura 3.7.

| Resultados | |
|-------------------|-------------|
| F_v | 7500,000 N |
| F_{max} | 7500,000 N |
| M_u | 41,253 N m |
| s_t | 42,824 MPa |
| t_k | 63,096 MPa |
| s_{red} | 117,376 MPa |
| s_{max} | 42,824 MPa |
| P_c | 18,400 MPa |
| k_{sc} | 5,87004 su |

Figura 3.7 Recomendaciones y factores para perno
[Elaboración propia]

3.4 Diseño electrónico

Como se mencionó en la metodología se realizó el diseño de una PCB la cual contiene todos los componentes permitiendo la conexión del microcontrolador con el exterior para el pesado de las encomiendas.

Las líneas de conexión y todos los componentes utilizados se los puede observar en el Apéndice B y el resultado final para la PCB se aprecia en la Figura 3.8.

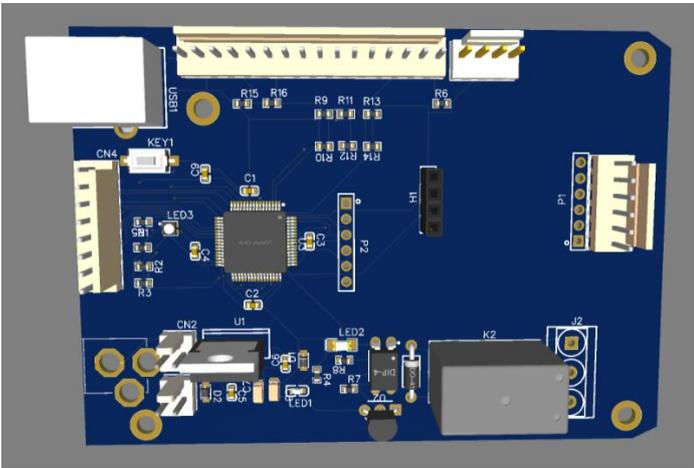


Figura 3.8 Diseño 3D de la PCB
[Elaboración propia]

Para subir el código al microcontrolador se utilizarían los puertos P2 los cuales serán sustituidos al momento de ensamble con un conector SWD. El envío de datos por medio de USB tipo B, además para la conexión de los puertos de salida y entrada se utilizaron puertos de tipo MOLEX.

3.5 Programación Microcontrolador

Las variables que se utilizaron dentro de la programación que permiten la obtención del peso y posterior envío se muestran en la Figura 3.9.

```
5  */
6  */
7  #include "globalVar.h"
8
9
10
11 long lectura; // variable lectura del HX711
12 const int escala = 2.212; // escala de la balanza
13 uint8_t veces = 100; // obtiene el offset
14 uint8_t gain = 128; // ganancia para la lectura del HX711
15 int cont; // contador
16 uint8_t promedio; //numero de veces de la lectura del peso
17 signed int valor; // peso del objeto en la balanza en gramos
18 const int resolucion = 50; //resolucion del sistema
19 uint32_t estadoB ; // estado de la balanza
20 uint32_t rangoB; //calcula si el rango de medicion es el correcto
21
22 const int resolucionRaw ;
23 uint32_t true_offset;
24 uint32_t current_weight;
25 uint32_t current_weight_lb;
26
```

Figura 3.9 Variables globales de la programación

[Elaboración propia]

De esta manera se puede obtener y almacenar el peso del objeto tanto en kg como en lb. El tener las variables almacenadas permitió observar el comportamiento correcto de las mismas al momento de ejecutar y realizar el debug del programa. En el APÉNDICE A se encuentran las tareas más importantes y un enlace al archivo completo de la programación.

3.6 Análisis de la implementación del sistema

Para observar los cambios que se generan al implementar nuestra solución, haremos uso del software “Flexsim” el cual nos permite generar un espacio de trabajo controlado en el cual se visualizan las variables de interés.

Utilizando los datos del cliente, que son aproximaciones de tiempo en función de las tareas a realizar en diferentes horarios se definirán las tareas y acciones a realizar en cada uno de los espacios con el fin de tener una simulación cercana a la realidad.



Figura 3.10 Simulación del sistema actual

[Elaboración propia]

En la Figura 3.10 encontramos 2 tipos de fuentes una que genera los clientes el cual para este caso de estudios se tomó que cada 15 minutos llegue uno nuevo. A su lado están los paquetes los cuales siempre estarán disponibles, es decir se representa la llegada de un cliente con un paquete. Se coloca un combiner que genera la representación del cliente con su paquete, a continuación, se los coloca en una cola en donde se contabiliza la cantidad de personas que van entrando. Seguidamente se distribuyen 3 líneas, estas son los diferentes tipos de horarios de trabajo cada uno con condiciones diferentes, como se muestra en el APENDICE E, con su respectiva cola de espera. De ahí pasan a la tarea de pesado que es la estimación de tiempo que demora el operador en tomar los datos con respecto al paquete.

Además, existirá un proceso intermedio en el cual se verifica si el usuario se encuentra registrado en el sistema, ya que un ingreso nuevo de datos toma más tiempo. Finalmente, está un rack en donde se almacenan todos los paquetes.

De este escenario compararemos la cantidad de paquetes ingresados. Para ello utilizaremos las herramientas de análisis que nos brinda el software, obteniendo los siguientes resultados.

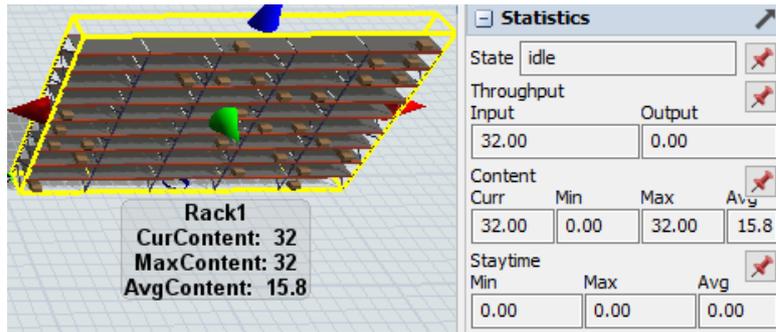


Figura 3.11 Cantidad de paquetes ingresados

[Elaboración propia]

Seguidamente generamos el modelo aplicando nuestra solución, donde se unificarán procesos y en base a pruebas generadas con un prototipo del sistema se generaron periodos de tiempo distintos, a continuación, se ilustrará el modelo.



Figura 3.12 Simulación con solución integrada

[Elaboración propia]

En la Figura 3.12 se simplificaron procesos en la línea de pesado y toma de datos ya que el sistema tendrá un interpretador de datos que a su vez le permite generar los documentos pertinentes previos al envío. Esto generara una disminución en los tiempos totales ya que las tareas se unifican. Observando los resultados de este modelo según la Figura 3. 13, con las mismas condiciones del modelo inicial, se puede observar un incremento del 15% de productividad.

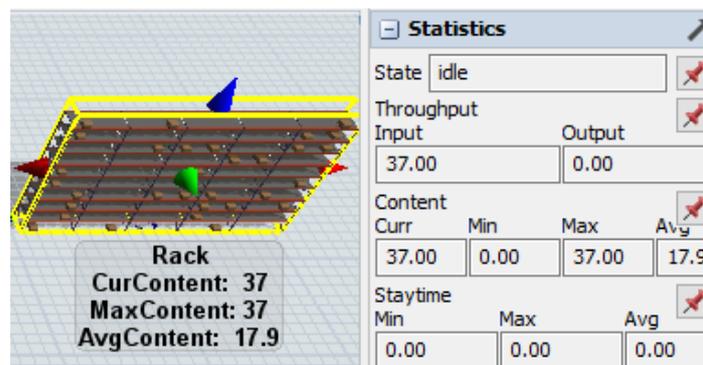


Figura 3. 13 Resultados con solución integrada

[Elaboración propia]

3.7 Análisis de costos

En esta sección se detallará el costo total para el diseño de la balanza automática considerando los rubros para el diseño mecánico y electrónico del sistema.

En la Tabla 3.7 se puede evidenciar que el rubro más alto se encuentra en el diseño mecánico de la balanza y esto se debe a los materiales y precauciones realizadas para reducir las deformaciones lo máximo posible y de esta manera poder soportar las cargas de hasta 200kg. El costo total para la elaboración de la balanza fue de 126.55 USD sin contar una ganancia por la venta del producto al momento de comercializarlo.

Tabla 3.7 Precios de componentes mecánico y electrónico

[Elaboración propia]

| Tipo de sistema | Descripción | Cantidad | Precio /unidad | Precio Total |
|-------------------|---------------------------|----------|----------------|--------------|
| Electrónico (PCB) | Microcontrolador STM32 | 1 | 3.50 | 3.5 |
| | Resistencias 1k Ω | 6 | 0.20 | 1.2 |
| | Resistencias 10k Ω | 2 | 0.35 | 0.7 |
| | Resistencias 270 Ω | 1 | 0.10 | 0.1 |
| | Resistencias 330 Ω | 1 | 0.15 | 0.15 |
| | Diodos Schottky | 2 | 0.35 | 0.7 |
| | Diodo RGB | 1 | 0.20 | 0.2 |
| | Pulsador | 1 | 0.15 | 0.15 |
| | Regulador L7805CV | 1 | 2.50 | 2.5 |
| | Fusible | 1 | 2.50 | 2.5 |

| | | | | |
|--|---------------------------------|----------|-------|---------------|
| | Switch | 1 | 0.20 | 0.2 |
| | Rele | 1 | 3.50 | 3.5 |
| | DC21mmc | 1 | 0.35 | 0.35 |
| | Puerto USB Tipo B | 1 | 0.75 | 0.75 |
| | Female Molex 8P | 2 | 0.50 | 1 |
| | Female Molex 16P | 1 | 0.75 | 0.75 |
| | Female Molex 4P | 1 | 0.45 | 0.45 |
| | Condensadores Cerámicos | 6 | 0.10 | 0.60 |
| | Condensadores electrolíticos | 2 | 0.10 | 0.20 |
| | Mecánico | Armadura | 1 | 20.00 |
| Pernos | | 7 | 0.75 | 5.25 |
| Patas niveladoras | | 4 | 3.00 | 12 |
| Soportes celdas | | 4 | 0.45 | 1.8 |
| Soporte vertical | | 1 | 8.00 | 8 |
| Base móvil | | 1 | 4.50 | 4.5 |
| Base Superior | | 1 | 5.00 | 5 |
| Sensores y componentes exteriores | HX-711 | 1 | 3.00 | 3 |
| | Celdas de carga 50kg | 4 | 7.50 | 30 |
| | LCD 192X64 | 1 | 15.00 | 15 |
| | Matrix Keypad 4x4 | 1 | 2.50 | 2.5 |
| Total | | | | 126.55 |

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones Y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Se calculó la incertidumbre que gobierna el sistema de pesado siendo esta de 26.72 g para lecturas mayores a 2kg, 3.72g para lecturas menores a 210g y 11g para lecturas mayores a 210g y menores a 900g. Para esto fue necesario realizar un prototipo de baja resolución y realizar métodos estadísticos en función de 10 lecturas de 3 diferentes objetos bajo las mismas circunstancias de lectura de dato. De esta manera se puede corroborar que la lectura que se está realizando en tiempo real es la correcta.
- Al implementar la balanza dentro de una línea de recepción de encomiendas para el posterior envío se pudo observar que dentro de unas 8 horas laborales existe un incremento del 15.63% pasando de 32 encomiendas al día a 37. Esto quiere decir que en un plazo de un mes se pasaría de poder recibir 960 encomiendas a un total de 1111 encomiendas. Demostrando que existe una reducción en los tiempos de colas y de recepción teniendo un sistema más eficiente debido al incremento del número de encomiendas que ingresan al sistema
- Se diseñó el componente mecánico, basándose en los requerimientos de trabajo, para ello se investigó diferentes tipos de materiales los cuales iban a conformar la estructura, Además de definir todas las funciones y parámetros que necesitara para poder realizar su tarea sin inconvenientes. Los modelos fueron validados por análisis de elementos finitos, los cuales dieron representaciones aproximadas de su comportamiento al ser sometidos a carga. Con ello se tiene un modelo aproximado a lo que se puede encontrar en catálogos comerciales, todo con el fin de hacerla lo más compatible con la industria y sus sectores afines.
- Estudiamos el uso e implementación de los elementos eléctricos comerciales con el fin de implementarlos en nuestra solución. Para ello se comprobó la compatibilidad, ya sea en dimensiones o rango de trabajo ya que estos factores influían de manera directa. Se seleccionó los componentes que estén acordes a

nuestros objetivos, es decir que no presenten un alto costo y que no tengan limitantes de diseño, es decir que puedan realizar su tarea principal sin necesidad de hacer uso de módulos extras.

- La programación del microcontrolador es una de las características más importantes ya que gracias a ella, se genera la lógica que permitirá al algoritmo reconocer que funciones tiene que realizar cada vez que se envíe un comando. Para ello se hicieron uso de librerías y funciones previamente validadas, seguidamente de una asignación de variables para finalmente inicializar cada una de las etapas en función de la información que vaya recibiendo los sensores.
- Se generó los diagramas eléctricos y electrónicos de la solución en base a las normas de diseño, es decir respetando los espacios, traza de caminos y numeración de elementos, con el fin de mantener un mismo formato en el documento que permita una correcta lectura y fácil comprensión de la funcionalidad de cada módulo. Determinando que la forma y estructura dependerá de la cantidad de funciones que se espere realizar ya que algunos elementos ocupan más espacio en volumen que otros elementos que puedan tener en sus cercanías.

4.2 Recomendaciones

- En este trabajo se presentó un modelo mecánico el cual cumple con las condiciones de carga para este tipo de situaciones, sin embargo, cuando se tenga que realizar la construcción de la estructura se recomienda cambiar la estructura de la base superior y disminuir el tamaño del soporte vertical, esto nos permitirá tener más accesibilidad y una mejor visualización en los valores. Esto no afectara el programa principal ya que los sensores seguirán en su posición previamente establecida.
- Aun cuando este sistema fue diseñado para la colocación de encomiendas de una gran dimensión, no se recomienda colocarlo en una posición que sobresalga de la base, ya que esto puede alterar las mediciones, además de generar daños en

la estructura, ya que deformaría los soportes que mantienen la base móvil en su lugar.

- Ya que el sistema electrónico tiene capacidad a mejoras se recomienda primero probar en un circuito externo y determinar la cantidad de energía que consumiría si se lo acopla al sistema principal debido a que si se instalan módulos de alto consumo energético pueden presentarse anomalías o mediciones erróneas en el programa principal, por lo que también se debería añadir un sistema de alimentación por batería para evitar los daños por sobrecarga.
- Para la realización del mantenimiento, se debería realizar un análisis exhaustivo entre las conexiones de los sensores y la placa, ya que en las pruebas realizadas se pudo observar que estos sistemas son muy sensibles a variaciones, ya sea de movimientos o por temperatura, lo que ocasionaría variaciones en las mediciones. Por ello, se debería tener elementos intermedios de conexión con el fin de tener un método sencillo con el cual verificar el estado de los elementos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. D. R. Y. C. POSTAL, "INFORME ESTADISTICO ANUAL DEL SECTOR POSTAL ECUATORIANO 2018," 2018.
- [2] "Dibal," ETIQUETADORAS MANUALES SERIE LP-5000, [Online]. Available: <https://www.dibal.com/es/etiquetadoras-manuales-Serie-LP-5000>. [Accessed 2 Noviembre 2021].
- [3] J. J. Q. S. GALO ESTYVEN NIETO ESPAÑA, ""DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PESAJE CON ACCESO A BASE DE DATOS CON TECNOLOGÍA RFID Y REPORTERIA POR MEDIO DE UNA RED LOCAL"," Guayaquil, 2018.
- [4] P. A. S, "INTRODUCCIÓN AL MICROCONTROLADOR," 10 Noviembre 2004. [Online]. Available: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39407044/micro-with-cover-page-v2.pdf?>. [Accessed 23 Diciembre 2021].
- [5] STMicroelectronics, "STM32F407/417," STMicroelectronics , [Online]. Available: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f407-417.html>. [Accessed Noviembre 1 2021].
- [6] M. E. Esquimel, "Diseño y construcción de una celda de carga," Universidad Autonoma de Nueva Leon, 1995.
- [7] A. Semiconductor, "HX711 Datasheet," [Online].
- [8] W. Gay, Beginning STM32: Developing with FreeRTOS, libopenm3 and GCC, St. Catharines, Ontario, Canada: Apress, 2018.
- [9] ShawnHymel, "Digi-Key Electronics," 18 Enero 2021. [Online]. Available: <https://www.digikey.com/en/maker/projects/introduction-to-rtos-solution-to-part-3-task-scheduling/8fbb9e0b0eed4279a2dd698f02ce125f>. [Accessed 1 Noviembre 2021].
- [10] C. R. Romeva, Diseño concurrente, EDICIONS UPC, 2002.

- [11] Precisur, "balanzas precisur," 12 Noviembre 2021. [Online]. Available: <https://balanzasprecisur.com/que-caracteristicas-deben-cumplir-las-balanzas-industriales/>. [Accessed 05 01 2021].
- [12] R. Lefevre, Resistencia de materiales, Mexico: Codorba, 2009.
- [13] acesco, "Ficha técnica acero recubierto galvanizado y pintado," Malambo, 2021.
- [14] 5. Tutoriales, "Celdas de carga," 5 Octubre 2015. [Online]. Available: <https://www.ahomee.com.mx/clasificaciones/CELDAS%20DE%20CARGA.pdf>. [Accessed 30 Diciembre 2021].
- [15] H. R. Alonso, "Universidad Carlos III de Madrid," [Online]. Available: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/OCW_introduccion-a-la-incertidumbre-de-medidas%20-1.pdf/view. [Accessed 22 01 2022].
- [16] j. p. c. huamán, "10 Tabla Completa T Student," SCRIBD, [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/473183310/10-TABLA-COMPLETA-T-STUDENT>.

APÉNDICE A

Programación Microcontrolador

Enlace: https://github.com/ajvalenz/Balanza_Automatica

Pesado de encomiendas [Elaboración propia]

```
void Tsk_Measurements(void *argument)
{
  /* USER CODE BEGIN Tsk_Measurements */
  power_down();
  HAL_Delay(10);
  power_up();// INICIA LAS CELDAS DE CARGA
  begin(gain); //SETEA LA GANACIA DEL SISTEMA
  set_scale(escala);// SETEA LA ESCALA DEL SISTEMA
  tare(veces);//OFFSET
  promedio = 10;
  /* Infinite loop */
  for(;;)
  {
    lectura= read();
    cont++;
    valor= get_units(promedio);          // obtencion del peso
    if(valor>(0-resolucion) && valor<(resolucion)){
      estadoB= 0; // la balanza esta vacia y actualizando el offset
      true_offset = valor;
    }
    else if( valor> (0-resolucion) && valor<(200000+resolucion)){
      estadoB = 1 ;// se conoce que esta pesando un objeto dentro de
rango adecuado
      current_weight = valor - true_offset;
      current_weight_lb = (current_weight*2.2);
    }
    else if((valor>200000+resolucion)||valor<0-resolucion){
      //else >300+resolucion <0-resolucion
      //sobrepeo o esta desconectada o CC
      estadoB = 2 ;
    }
    //HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_13);
    osDelay(500);
  }
  /* USER CODE END Tsk_Measurements */
}
```

Supervisor [Elaboración propia]

```
#include "FreeRTOS.h"
#include "task.h"
#include "main.h"
#include "cmsis_os.h"

#include "HX711.h"
#include "globalVar.h"
void Tsk_Supervisor(void *argument)
{
    /* USER CODE BEGIN Tsk_Supervisor */

    /* Infinite loop */
    for(;;)
    {

        /* switch (estadoB){
        case 0 :
            HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_12); //prueba con led de la
stm (verde)
            osDelay(500);
        case 1:
            HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_13); // prueba con led de la
stm ( violet)
            osDelay(500);
        case 2:
            HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_14); // prueba con led de la
stm(ROJO )
            osDelay(500);
        */
            HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD, GPIO_PIN_14);
            osDelay(500);
        }
    /* USER CODE END Tsk_Supervisor */
}
```

Envío [Elaboración propia]

```
#include "FreeRTOS.h"
#include "task.h"
#include "main.h"
#include "cmsis_os.h"
#include "usart.h"
#include "HX711.h"
#include "globalVar.h"
#include<stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
void Tsk_Envio(void *argument)
{
    /* USER CODE BEGIN Tsk_Envio */
    unsigned char str[2] = {};
    char message[10] = {};
    int cont_uart = 0;
    char command ;
    unsigned char overflow[8] = {"Overflow"};

    char response[10] = {};

    /* Infinite loop */
    for(;;)
    {
        HAL_UART_Receive(&huart4, str, 1, HAL_MAX_DELAY);
        message[cont_uart] = str[0];
        cont_uart++;

        if (cont_uart > 3)
        {
            cont_uart = 0;
            strcpy(message, " ");
            HAL_UART_Transmit(&huart4, overflow, 8, HAL_MAX_DELAY);
        }
        switch (command)
        {
            case 'k':
                // Envio de peso en kilogramos
                itoa(current_weight, response, 10);
                HAL_UART_Transmit(&huart4, response, 6, HAL_MAX_DELAY);
                break;

            case 'l':
                // Envio de peso en libras
                itoa(current_weight_lb, response, 10);
                HAL_UART_Transmit(&huart4, response, 6, HAL_MAX_DELAY);
                break;

        }
    }
    /* USER CODE END Tsk_Envio */
}
```

APÉNDICE B

Diseño PCB

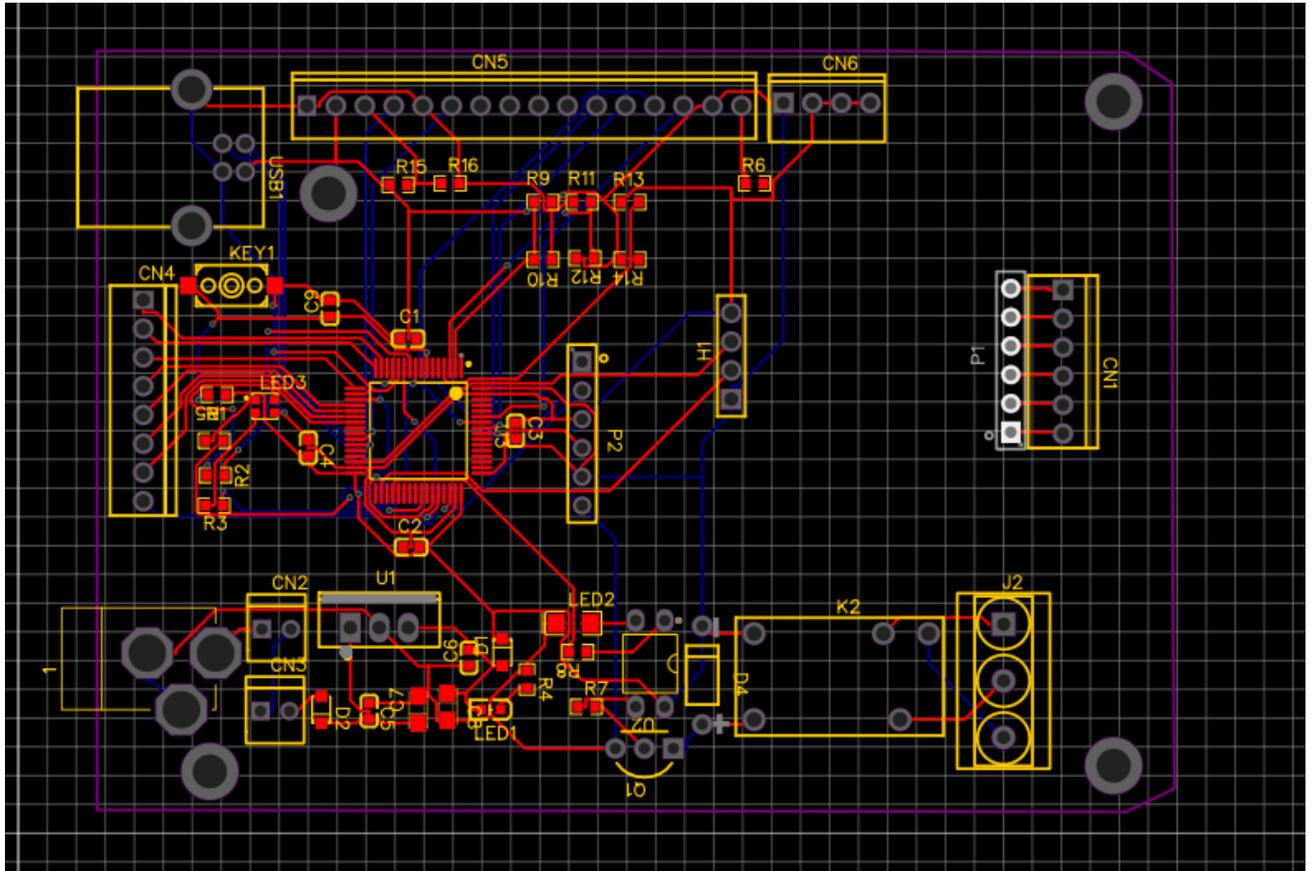
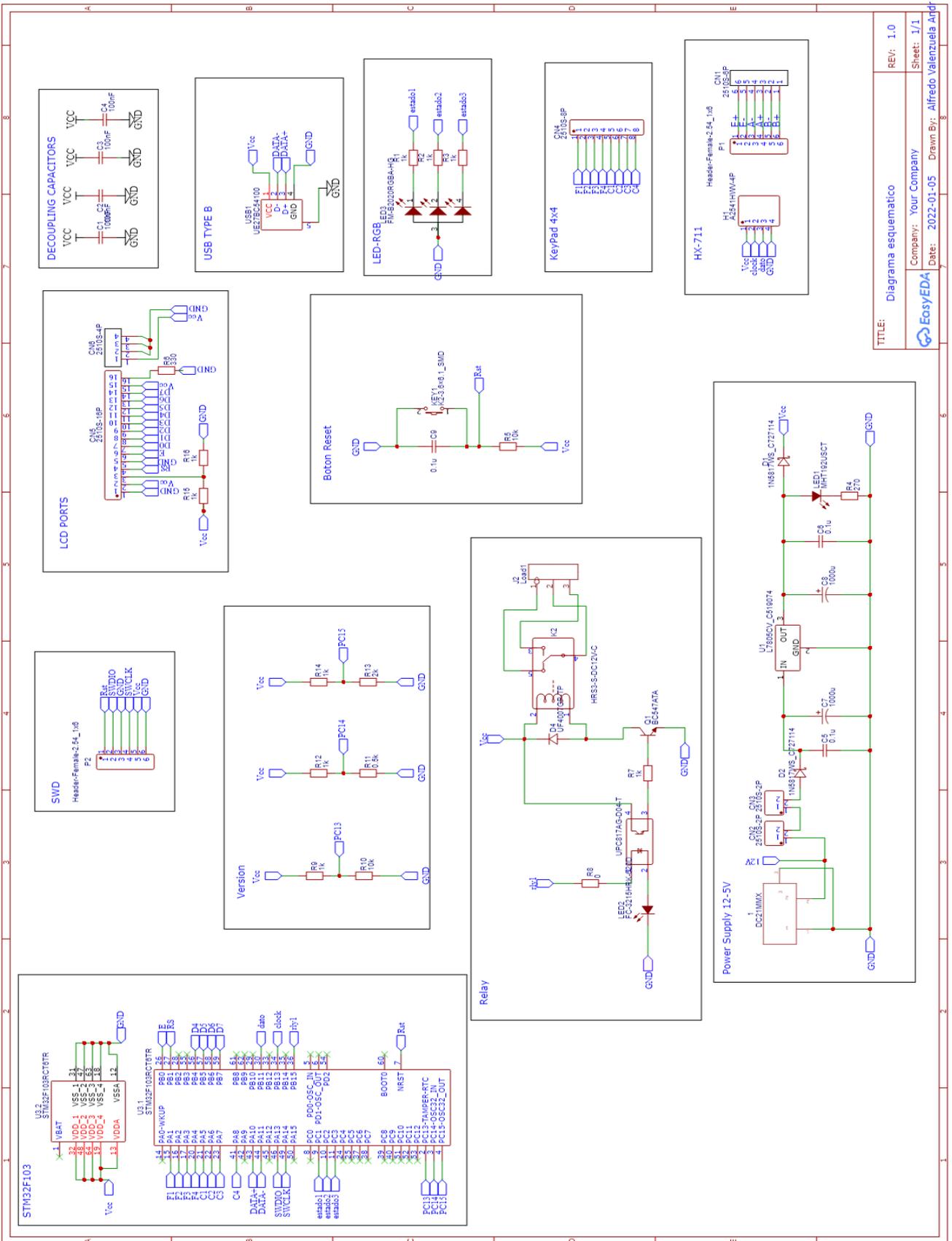


Figura B.1 Diagrama de Conexiones

[Elaboración propia]



TITLE: Diagrama esquemático
 Company: Your Company
 Date: 2022-01-05
 REV: 1.0
 Sheet: 1/1
 Drawn By: Alfredo Valenzuela Andr

Figura B. 2 Diagrama esquemático para el diseño de la PCB [Elaboración propia]

APÉNDICE C

Cálculos Incertidumbre método estadístico

- Objeto 210 g

Media

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{C.1})$$

$$\bar{x} = \frac{211 + 215 + 207 + 206 + 208 + 220 + 213 + 203 + 212 + 209}{10}$$

$$\bar{x} = 210.40 \text{ g}$$

Varianza

$$S(x)^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad (\text{C.2})$$

$$S(x)^2 = \frac{(210.40 - 211)^2 + (210.40 - 215)^2 + (210.40 - 217)^2 + \dots + (210.40 - 219)^2}{10 - 1}$$

$$S(x)^2 = 24.04 \text{ g}$$

Desviación estándar de la media

$$S(\bar{x}) = \frac{S(x)}{\sqrt{n}} \quad (\text{C.3})$$

$$S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{24.04}{10}} = 1.55 \text{ g}$$

Incetidumbre de tipo A

$$u_A = S(\bar{x}) * t_{n-1,98\%} \quad (\text{C.4})$$

$$u_A = 1.55 * 2.412$$

$$u_A = 3.74 \text{ g}$$

- Objeto 900g

Media

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{x} = \frac{895 + 878 + 906 + 910 + 899 + 891 + 904 + 898 + 913 + 880}{10}$$

$$\bar{x} = 897.40 \text{ g}$$

Varianza

$$S(x)^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2$$

$$S(x)^2 = \frac{(897.40 - 895)^2 + (897.40 - 878)^2 + (897.40 - 906)^2 + \dots + (897.40 - 880)^2}{10 - 1}$$

$$S(x)^2 = 138.71 \text{ g}$$

Desviación estándar de la media

$$S(\bar{x}) = \frac{S(x)}{\sqrt{n}}$$

$$S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{138.71}{10}} = 3.72 \text{ g}$$

Incertidumbre de tipo A

$$u_A = S(\bar{x}) * t_{n-1;98\%}$$

$$u_A = 3.72 * 2.412$$

$$u_A = 8.97 \text{ g}$$

- Objeto 2000g

Media

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{x} = \frac{2081 + 2053 + 1997 + 2031 + 1988 + 2021 + 1995 + 1989 + 2051 + 2071}{10}$$

$$\bar{x} = 2027.70 \text{ g}$$

Varianza

$$S(x)^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2$$

$$S(x)^2 = \frac{(2027.70 - 2081)^2 + (2027.70 - 2053)^2 + (2027.70 - 1997)^2 + \dots + (2027.70 - 2071)^2}{10 - 1}$$

$$S(x)^2 = 1226.68 \text{ g}$$

Desviación estándar de la media

$$S(\bar{x}) = \frac{S(x)}{\sqrt{n}}$$

$$S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1226.68}{10}} = 11.08$$

Incertidumbre de tipo A

$$u_A = S(\bar{x}) * t_{n-1;98\%}$$

$$u_A = 11.08 * 2.412$$

$$u_A = 26.72 \text{ g}$$

APÉNDICE D

Cálculos del diseño mecánico

- **Análisis de deformación de la placa**

Primero analizaremos la deflexión que se generara sobre la superficie de la balanza, para ello utilizaremos los valores de referencia del TOL galvanizado.

Se asumirá que la forma de la carga tendrá un perfil cuadrado de dimensiones 270 x 270 mm, además que tendrá una altura de 100 mm. En base a esto se plantea :

$$Area = a^2 = 0.27^2 = 0.0729 m^2 \quad (D.1)$$

Ahora si conocemos que esta carga genera una presión de 310 Mpa sobre la superficie, para determinar la fuerza tenemos que:

$$F = \epsilon A = (310 \times 10^6) * (729 \times 10^{-6}) = 2259.9 kN \quad (D.2)$$

Para la deformación planteamos la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{F * l}{A * E} = \frac{(2259.9 \times 10^3) * (0.1)}{(0.0729) * (230000 \times 10^6)} = 0.1347 \times 10^{-6} m \quad (D.3)$$

Lo cual nos da un valor bastante adecuado, para evitar que la deformación pueda afectar la medición de la balanza.

- **Análisis de condiciones de carga del soporte vertical**

Para las condiciones del soporte vertical tomaremos en cuenta que:

1) La tensión normal no supere la tensión admisible del material:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{P}{A} < \sigma_{adm} \rightarrow \text{Limite elástico} \quad (D.4)$$

Con un espesor de 12,7 mm

$$A_1 = (100) * (12.7) = 1270 mm^2$$

$$A_2 = 100 - 2(12.7) = 74.6 mm^2$$

$$A_T = 2(A_1) + 2(A_2) = 2689.2 mm^2$$

Con estos datos podemos construir la siguiente ecuación:

$$\frac{P}{A} < \sigma_{adm} \quad (D.5)$$

$$P < \sigma_{adm} * A = 310 \text{ Mpa} * 2689.2 \text{ mm}^2 = 833652 \text{ N}$$

2) La carga aplicada no supera la carga crítica de pandeo

$$P < P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \quad (D.6)$$

Para determinar el momento de inercia, utilizamos la fórmula de:

$$I = \frac{bh^3}{12} - \frac{b'h'^3}{12} \quad (D.7)$$

$$I = \frac{(100)(100^3)}{12} - \frac{(74.6)(74.6^3)}{12} = 8333333.333 - 2580917.152 = 572416.181 \text{ mm}^4$$

Ahora para determinar la carga critica para evitar el pandeo será de:

Coeficiente de pandeo

$$L_k = \beta L \quad (D.8)$$

Para una viga empotrada-libre $\beta=2$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} = \frac{\pi^2 * 230 * 572416.181}{(2 * 1300)^2} = 192.22 \text{ N}$$

- **Análisis de las condiciones de perno**

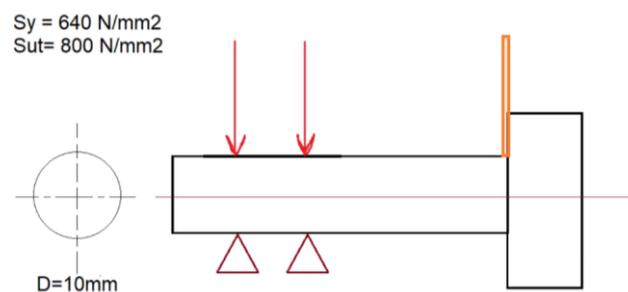


Figura D.1 Diagrama de cuerpo libre perno

[Elaboración propia]

Esfuerzos cortantes: 200 kgf son 1961 N

Esfuerzos axiales (10% del cortante): 20 kgf son 196.1 N

Cálculo de la resistencia a cortante:

$$F_v = \frac{0.6 * f_{ub} * A_s * 4}{\gamma M_b} = \frac{0.6 * 800 * 58 * 4}{1.25} = 89088 \text{ N} \quad (\text{D.9})$$

La resistencia al aplastamiento:

$$F_b = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma M_b} = \frac{2.5 * 1 * 640 * 10 * 2.9}{1.25} = 37120 \text{ N} \quad (\text{D.10})$$

Cálculo de la resistencia a la tracción:

$$F_t = \frac{0.9 * f_{ub} * A_s * 4}{\gamma M_b} = \frac{0.9 * 800 * 58 * 4}{1.25} = 133632 \text{ N} \quad (\text{D.11})$$

Finalmente usaremos la fórmula de comprobación para determinar que el sistema cumple con las condiciones planteadas:

$$\frac{F_{ve}}{F_v} + \frac{F_{te}}{1.4 * F_t} \leq 1.0 \quad (\text{D.12})$$

$$\frac{1961}{89088} + \frac{196.1}{1.4 * 133632} = 0.02 \leq 1.0$$

El planteamiento de los pernos a usar es válido para este modelo.

APENDICE E

Tabla E.1 Tabla de tiempos servicio de encomiendas [Elaboración propia]

| Tiempo en cola minutos | Tiempo de pesado segundos | Tiempo en ingreso de datos emisor y receptor, e impresión y firma de documento y pago | Tiempo en ingreso de datos con emisor registrado e impresión y firma de documento y pago | Tiempo en ingreso de datos con pesado con emisor registrado e impresión y firma de documento y pago | Tiempo en ingreso de datos emisor y receptor, e impresión y firma de documento y pago | Horario |
|---|---|---|---|---|---|--|
| 10 a 22 | 45 a 90 | 5 - 8 minutos | 4-6 minutos | 5 - 7,5 minutos | 6 - 9,5 minutos | 13 - 14h |
| 22 a 30 | 45 a 90 | 5 - 8 minutos | 4-6 minutos | 6 - 7,5 minutos | 7 - 9,5 minutos | 15h30 |
| 3 a 10 | 45 a 90 | 5 - 8 minutos | 4-6 minutos | 7 - 7,5 minutos | 8 - 9,5 minutos | 11 - 13h |
| Depende del horario y si estan registrados y el cambio en el pago de los usuarios anteriores | Depende de la persona que pone el paquete en la balanza y ponerle alguna etiqueta | Depende del pago, de que lleve los datos el cliente, tiempo en firma y revisión del documento. Depende de la digitación del operador y la velocidad para entregar el vuelto | Depende del pago, de que lleve los datos el cliente, tiempo en firma y revisión del documento. Depende de la digitación del operador y la velocidad para entregar el vuelto | Depende del pago, de que lleve los datos el cliente, tiempo en firma y revisión del documento. Depende de la digitación del operador y la velocidad para entregar el vuelto | Depende del pago, de que lleve los datos el cliente, tiempo en firma y revisión del documento. Depende de la digitación del operador y la velocidad para entregar el vuelto | Mayor afluencia hora y media antes de cerrar |

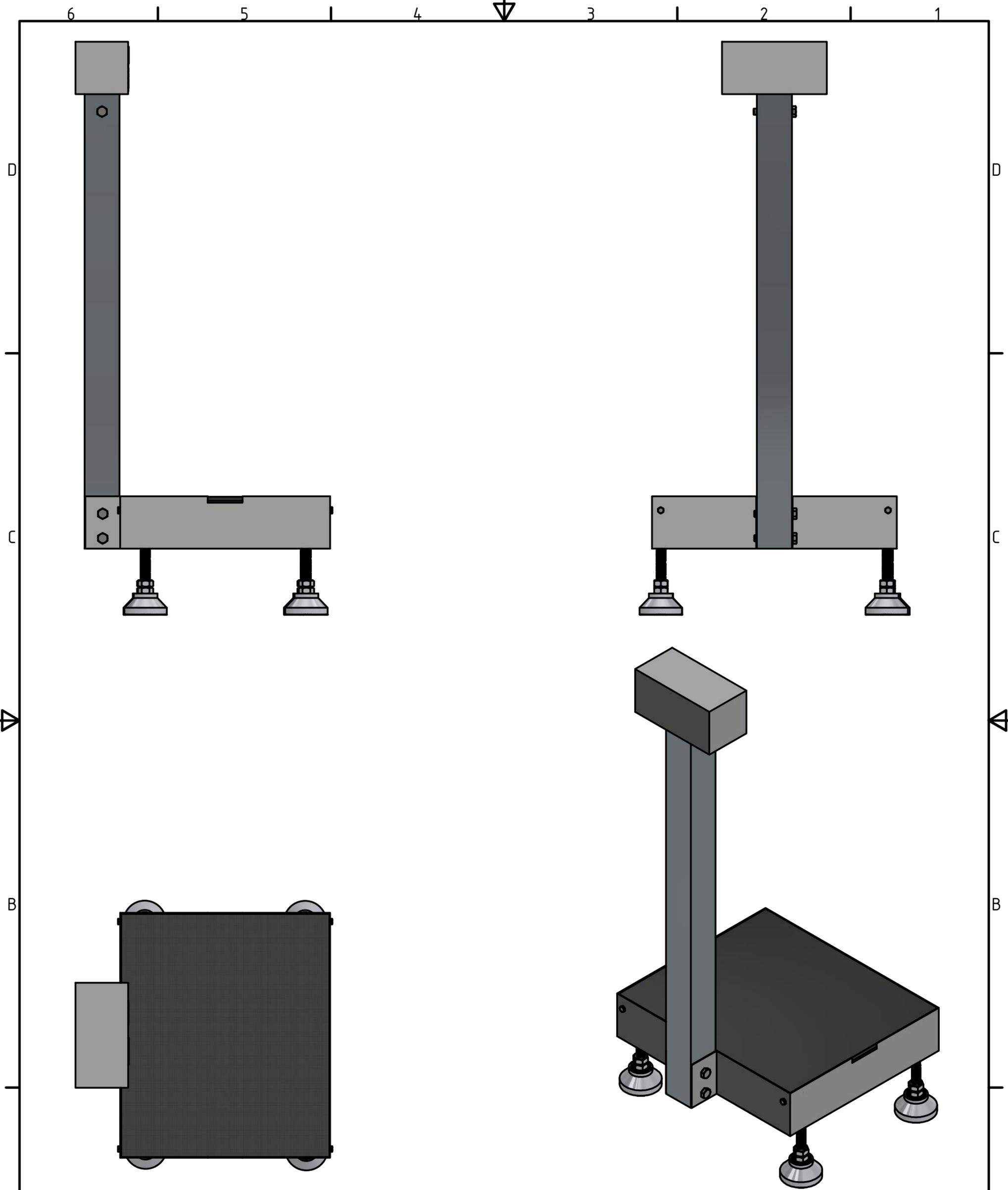
APÉNDICE F

Planos Mecánicos

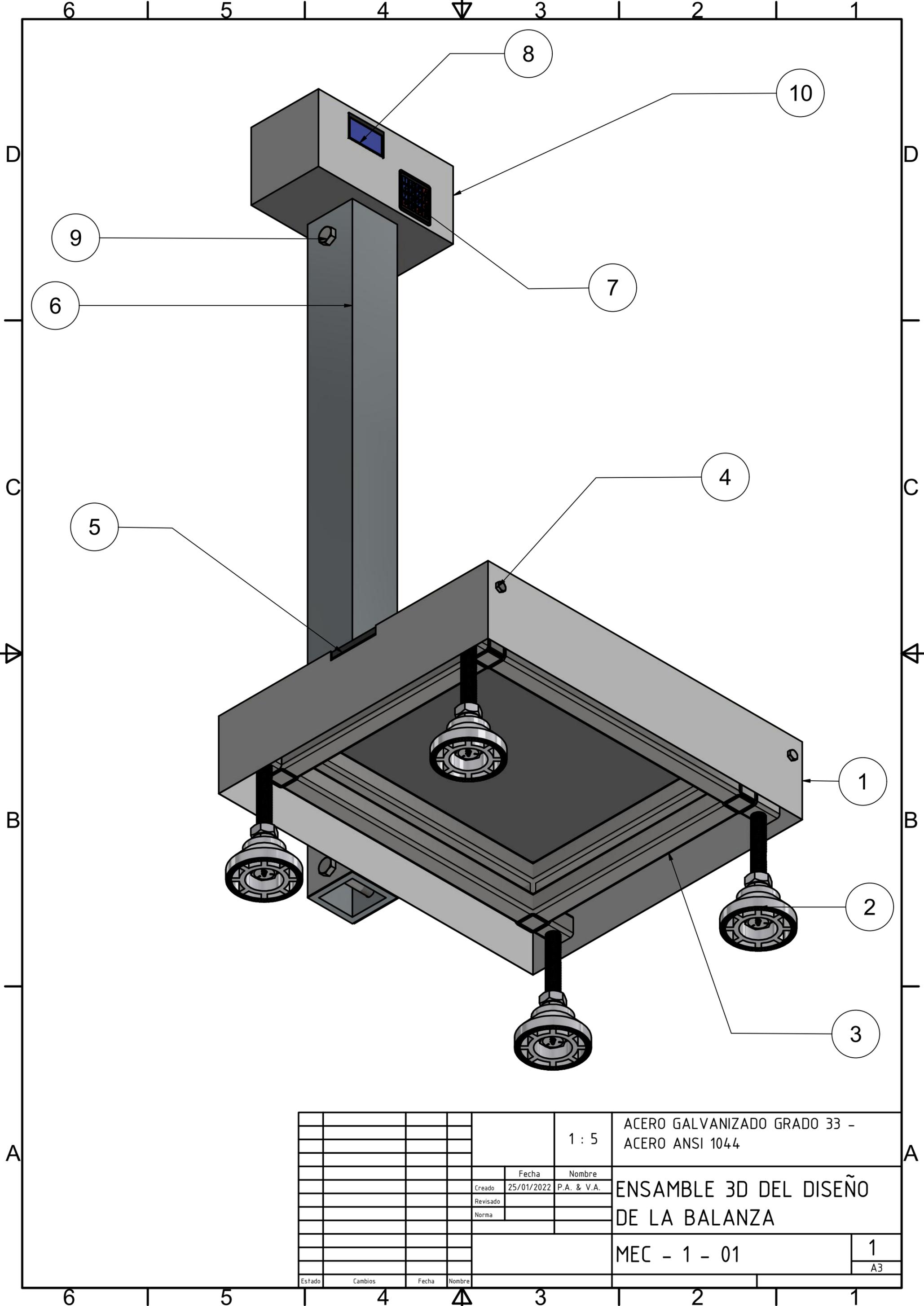
En esta sección se encontrarán los planos para cada una de las piezas del diseño mecánico que fueron realizados para el desempeño correcto de la balanza y de aquellos elementos de sujeción que fueron seleccionados.

Se encuentran las vistas y medidas de las siguientes piezas:

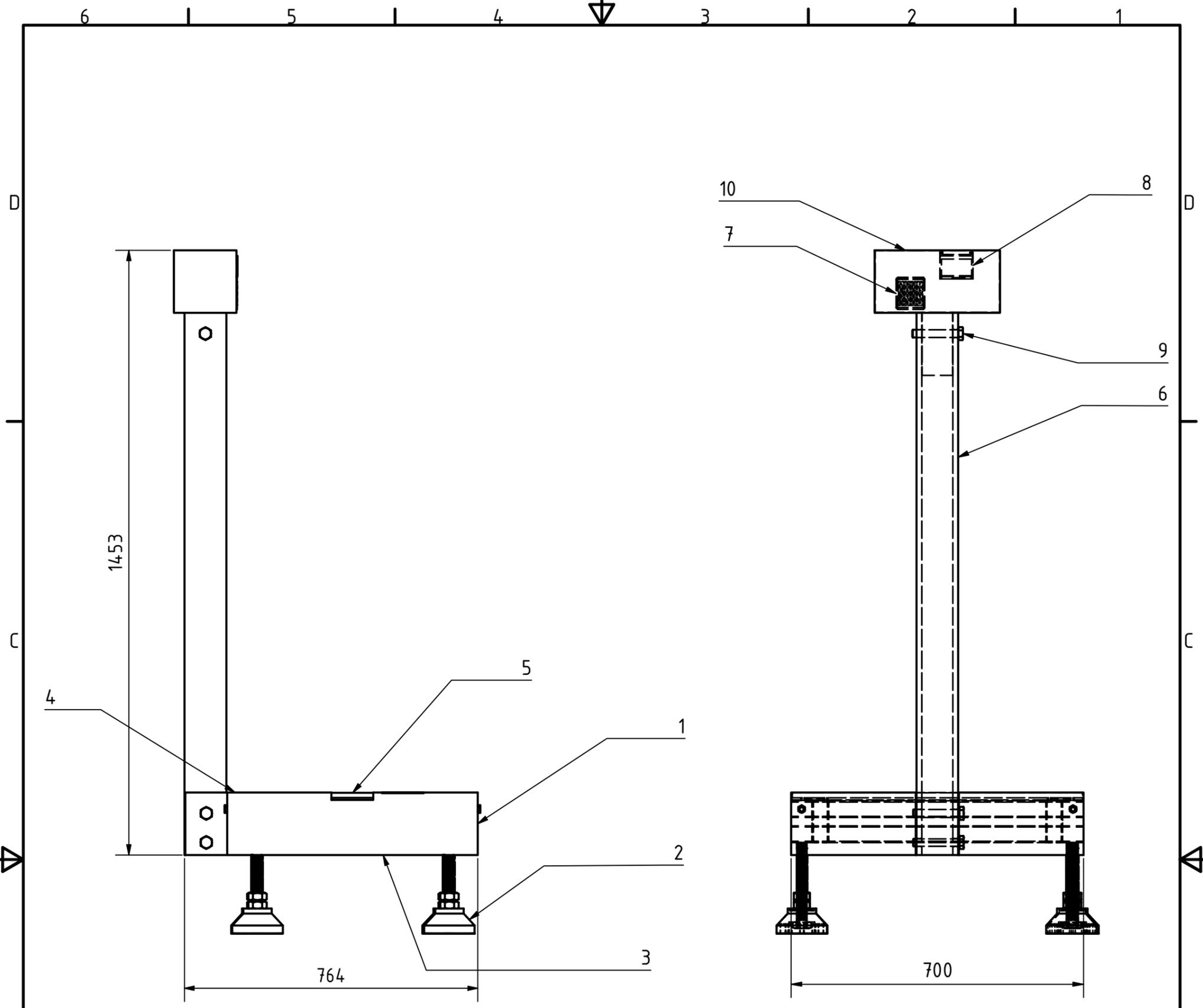
1. Vistas de balanza
2. Enumeración Elementos Balanza
3. Descripción Componentes
4. Base Fija
5. Patas Reguladoras
6. Armadura de soporte
7. Soportes de sensores
8. Base móvil
9. Soporte vertical
10. Pernos de ajuste
11. Base superior



| | | | | | | |
|--------|---------|----------|------------|---|--|--------------|
| | | 1 : 10 | | ACERO GALVANIZADO GRADO 33 - ACERO ANSI 1044 | | |
| | | Fecha | Nombre | RENDERIZADO DEL DISEÑO DE LA BALANZA | | |
| | | Creado | 25/01/2022 | | | P.A. & V. A. |
| | | Revisado | | | | |
| | | Norma | | | | |
| | | | | MEC - 1 - 01 | | |
| | | | | 1 | | |
| | | | | A3 | | |
| Estado | Cambios | Fecha | Nombre | | | |



| | | | | | | | | |
|--------|---------|-------|--------|--------------|------------|---|----|-------------|
| | | | | 1 : 5 | | ACERO GALVANIZADO GRADO 33 - ACERO ANSI 1044 | | |
| | | | | Fecha | Nombre | ENSAMBLE 3D DEL DISEÑO DE LA BALANZA | | |
| | | | | Creado | 25/01/2022 | | | P.A. & V.A. |
| | | | | Revisado | | | | |
| | | | | Norma | | | | |
| | | | | MEC - 1 - 01 | | | 1 | |
| | | | | | | | A3 | |
| Estado | Cambios | Fecha | Nombre | | | | | |



| | | | | | | |
|----|-------------------|------------|---|--|--|--|
| 1 | Base fija | Acero Galv | 1 | | | |
| 2 | Patas niveladoras | Acero Galv | 4 | | | |
| 3 | Armadura | Acero Galv | 1 | | | |
| 4 | Base / sensores | Acero Galv | 4 | | | |
| 5 | Base movil | Acero Galv | 1 | | | |
| 6 | Soporte vertical | Acero Galv | 1 | | | |
| 7 | Teclado numerico | Acero Galv | 1 | | | |
| 8 | Pantalla led | Acero Galv | 1 | | | |
| 9 | Pernos de soporte | Acero Galv | 7 | | | |
| 10 | Base superior | Acero Galv | 1 | | | |

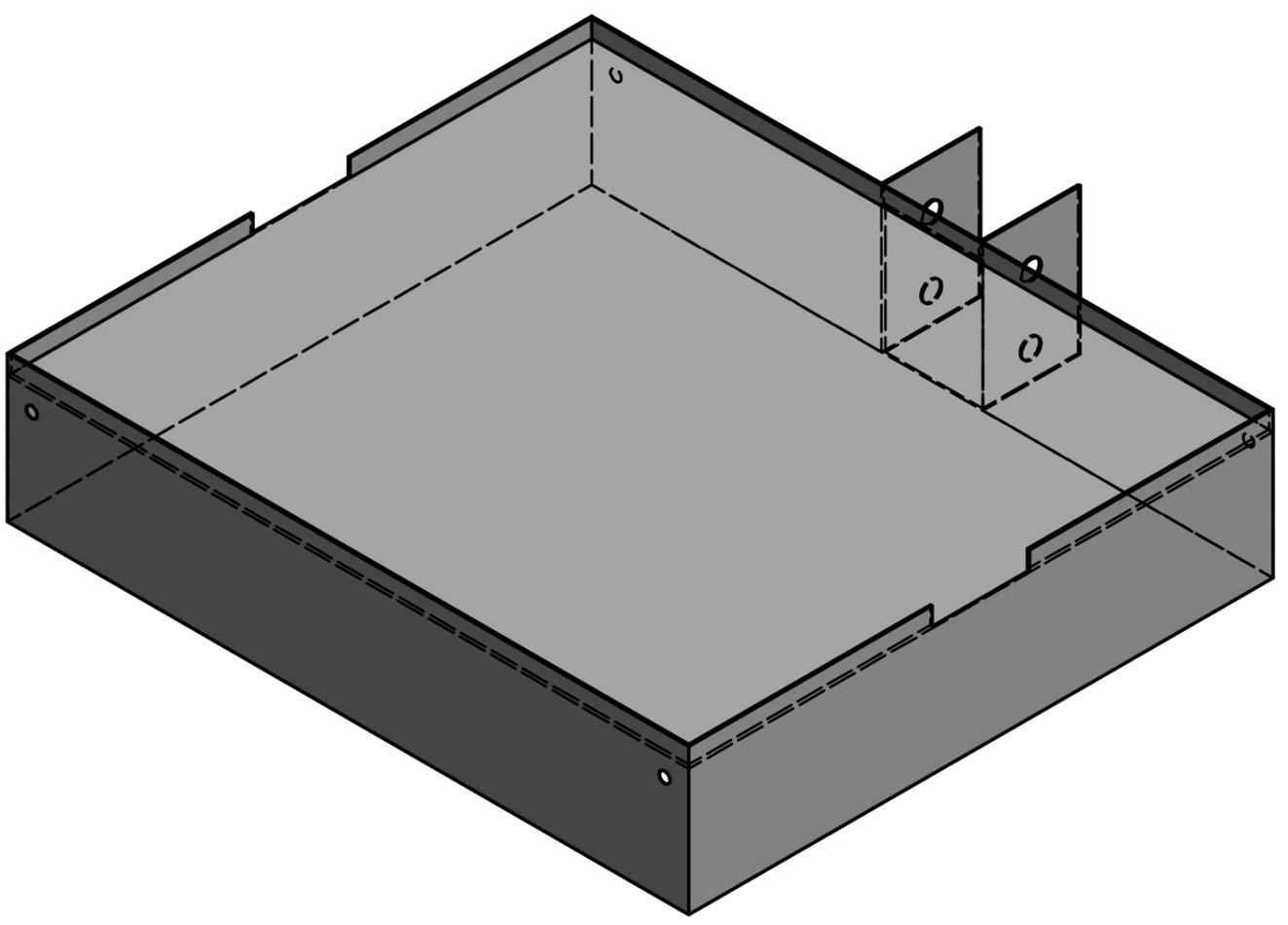
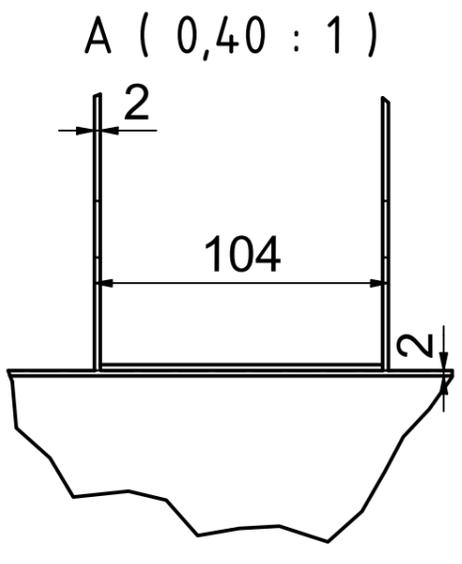
| N° DE PIEZA | DESCRIPCIÓN | MATERIAL | CANTIDAD | N° DE REVISIÓN | PESO | OBSERVACIONES |
|-------------|-------------|----------|----------|----------------|------|---|
| | | | 1 : 10 | | | ACERO GALVANIZADO GRADO 33 - ACERO ANSI 1044 |
| | | | | | | PLANO CONJUNTO DEL DISEÑO DE LA BALANZA |
| | | | | | | MEC - 1 - 02 |
| | | | | | | 1 A3 |

| | | | |
|--------|---------|-------|--------|
| Estado | Cambios | Fecha | Nombre |
|--------|---------|-------|--------|

6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1

D

D



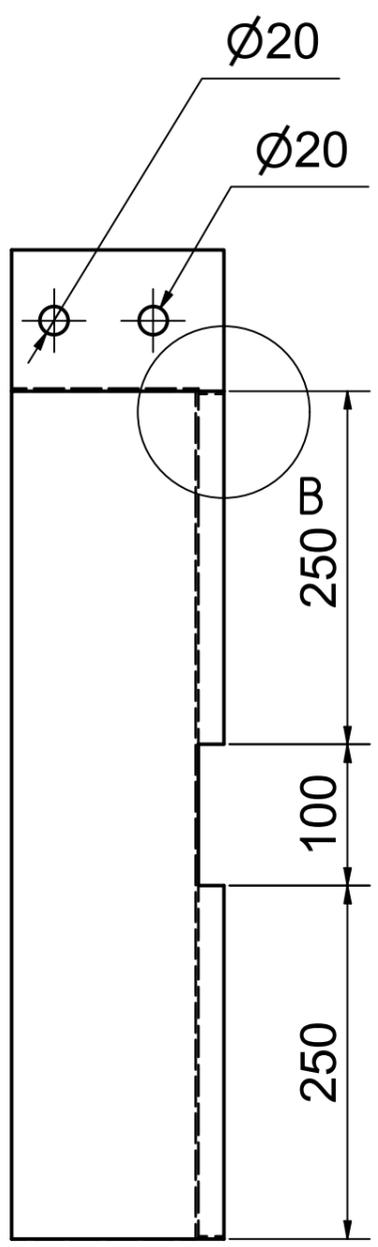
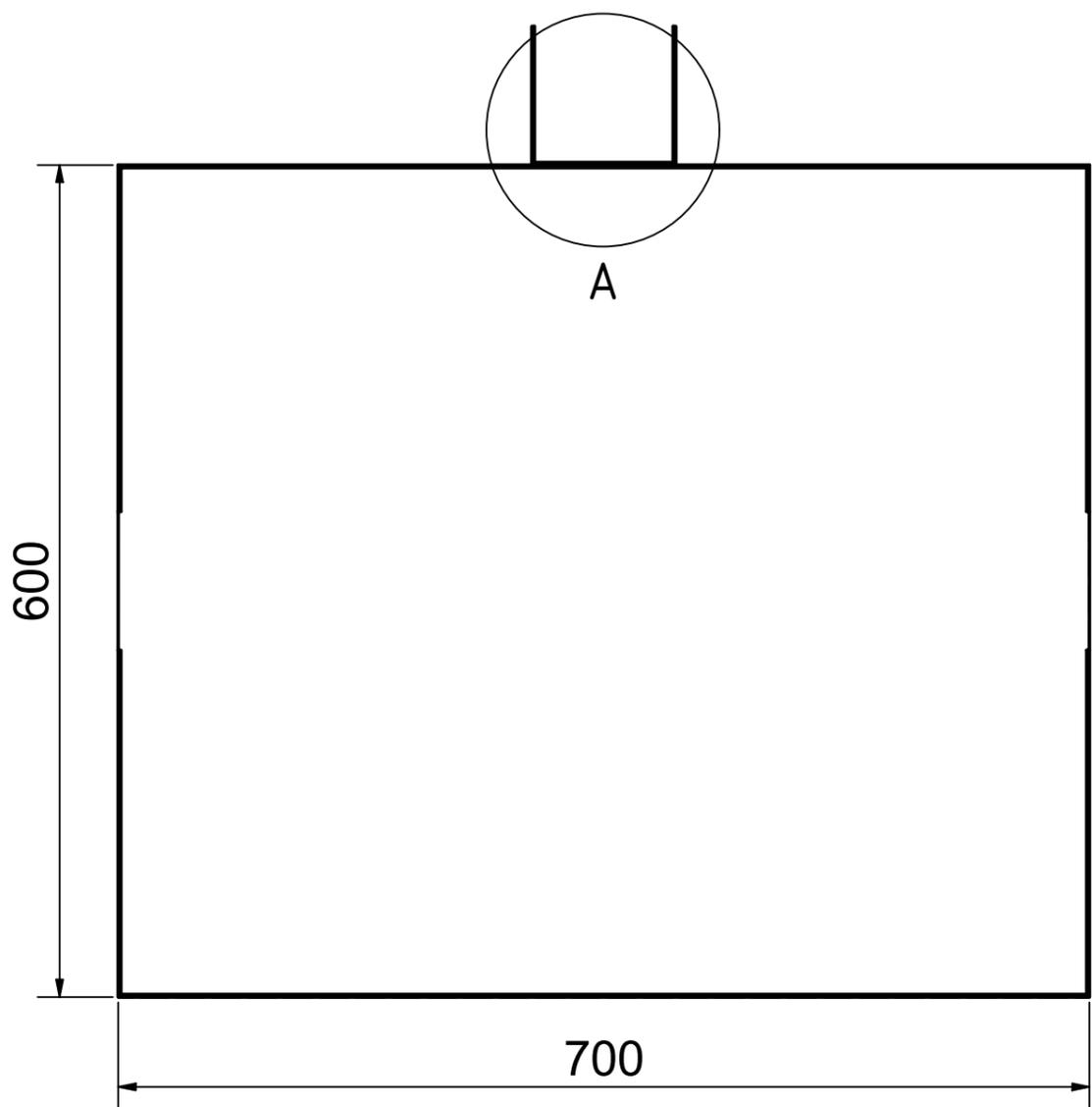
C

B (0,40 : 1)

C

B

B

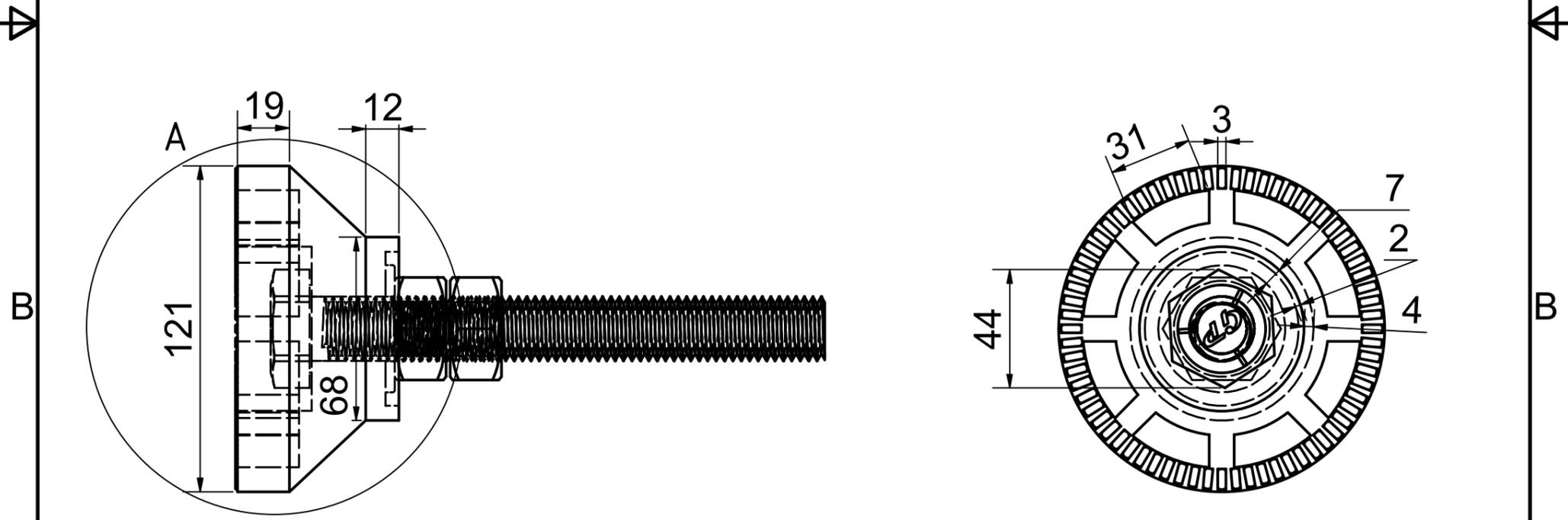
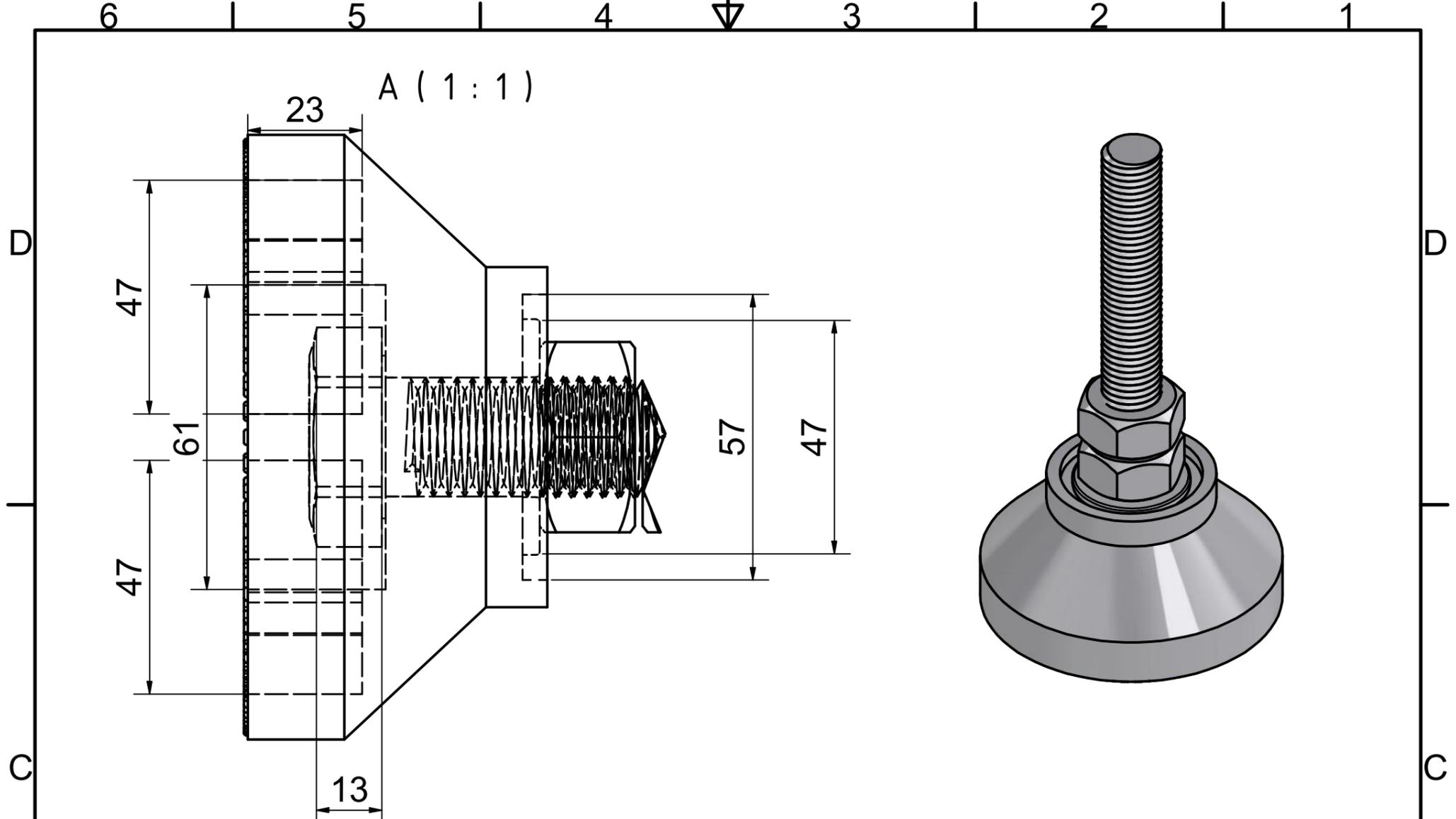


A

| | | | | | | | |
|--------|---------|-------|--------|----------|--|----------------------------|--|
| | | | | 1 : 5 | | ACERO GALVANIZADO GRADO 33 | |
| | | | | Creado | | 15/02/2022 | |
| | | | | Revisado | | P.A. & V.A. | |
| | | | | Norma | | | |
| | | | | | | Diseño 3D de la base fija | |
| | | | | | | MEC - 1 - 03 | |
| | | | | | | 1 | |
| | | | | | | A3 | |
| Estado | Cambios | Fecha | Nombre | | | | |

A

6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1



| | | | | | | | | |
|--------|---------|-------|--------|--------------|------------|-------------------|----|-------------|
| | | | | 1 : 2 | | ACERO ANSI 1044 | | |
| | | | | Fecha | Nombre | PATAS NIVELADORAS | | |
| | | | | Creado | 15/02/2022 | | | P.A. & V.A. |
| | | | | Revisado | | | | |
| | | | | Norma | | | | |
| | | | | MEC - 1 - 04 | | | 1 | |
| | | | | | | | A3 | |
| Estado | Cambios | Fecha | Nombre | | | | | |

6 5 4 3 2 1

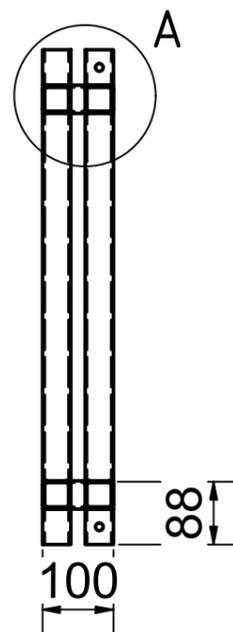
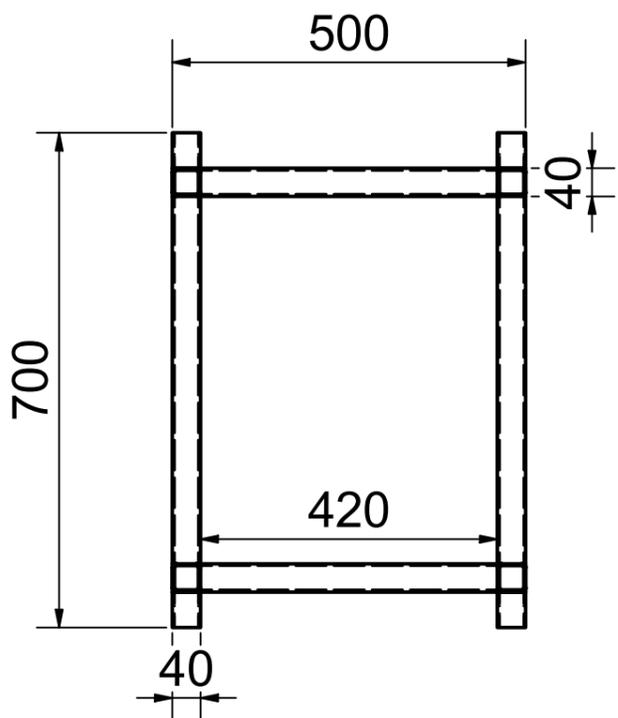
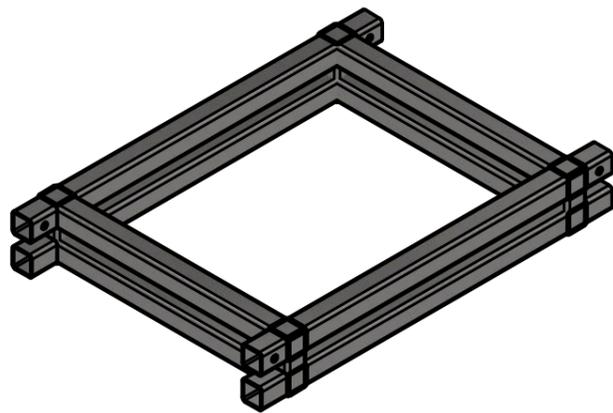
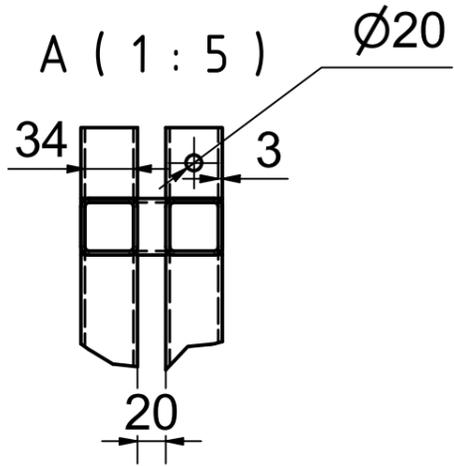
D

C

B

A

6 5 4 3 2 1



| | | | | | | | |
|--------|---------|-------|--------|----------|------------|---------------------|-------------|
| | | | | | 1 : 5 | ACERO ANSI 1044 | |
| | | | | | | ARMADURA DE SOPORTE | |
| | | | | Creado | 15/02/2022 | | P.A. & V.A. |
| | | | | Revisado | | | |
| | | | | Norma | | | |
| | | | | | | MEC - 1 - 05 | |
| | | | | | | 1 | |
| | | | | | | A3 | |
| Estado | Cambios | Fecha | Nombre | | | | |

D

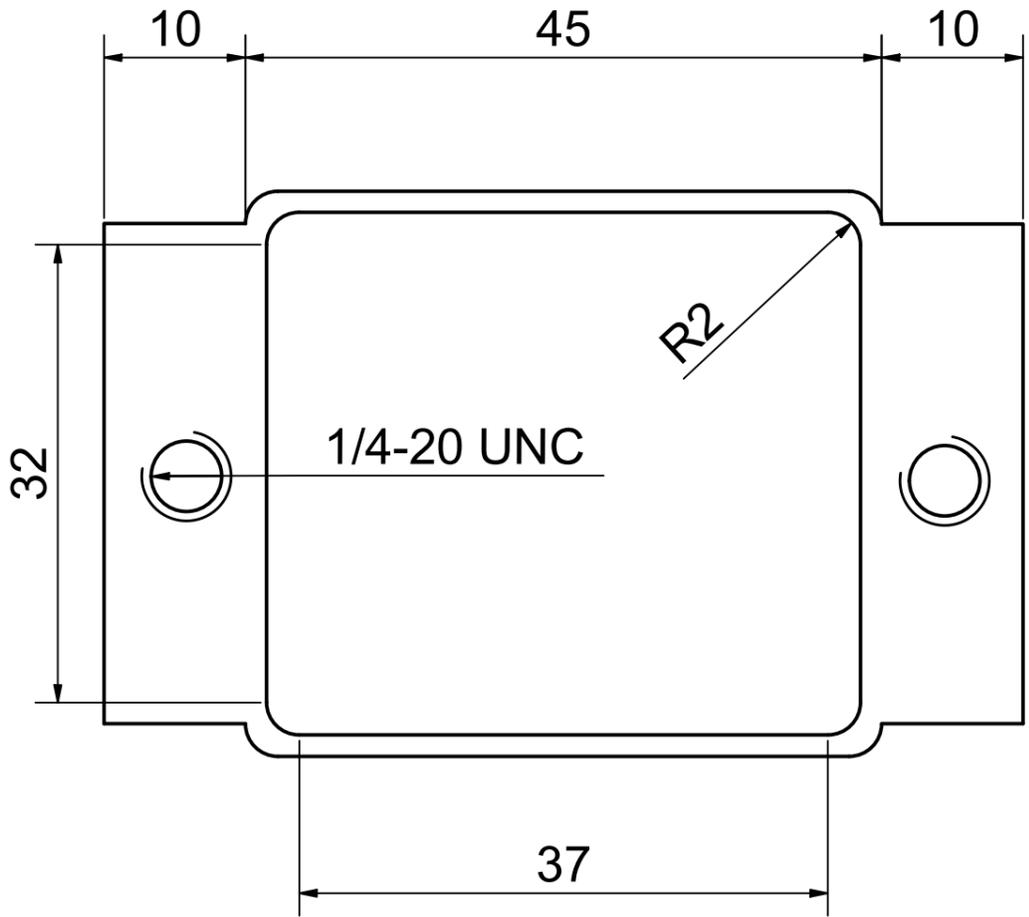
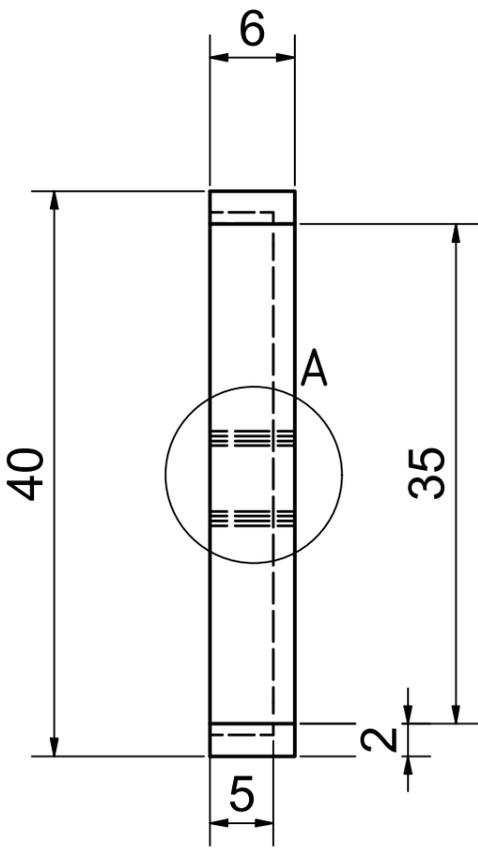
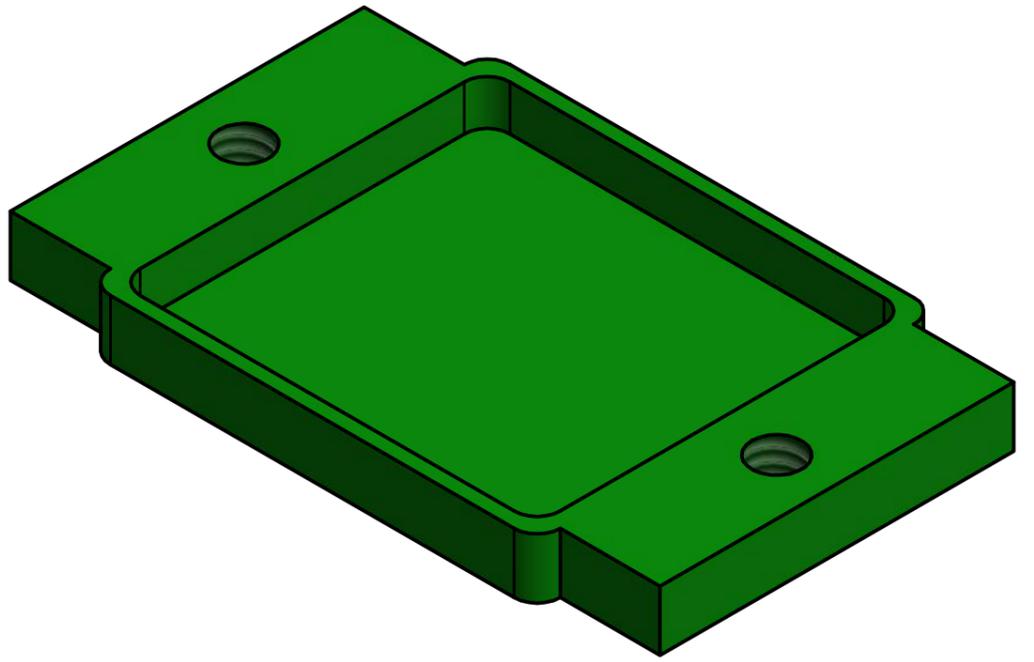
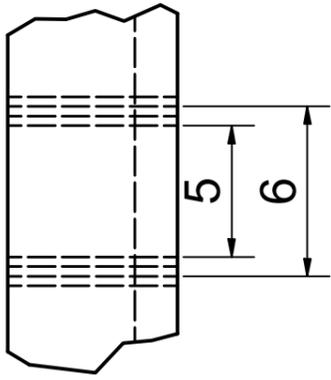
C

B

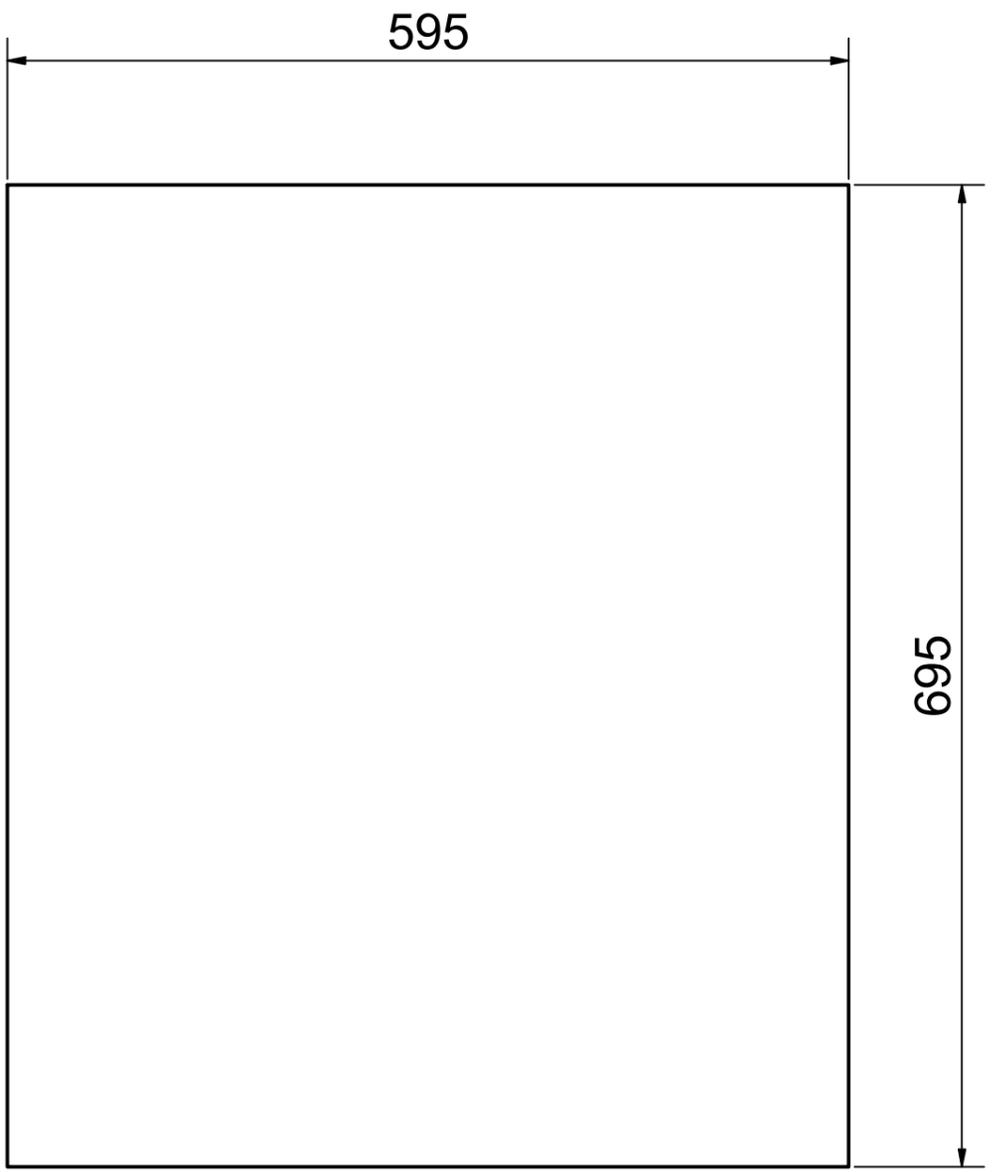
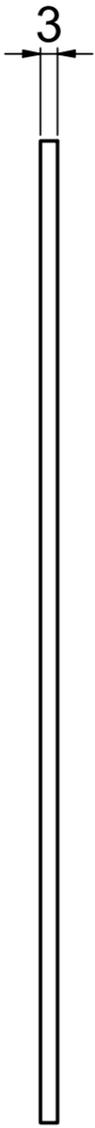
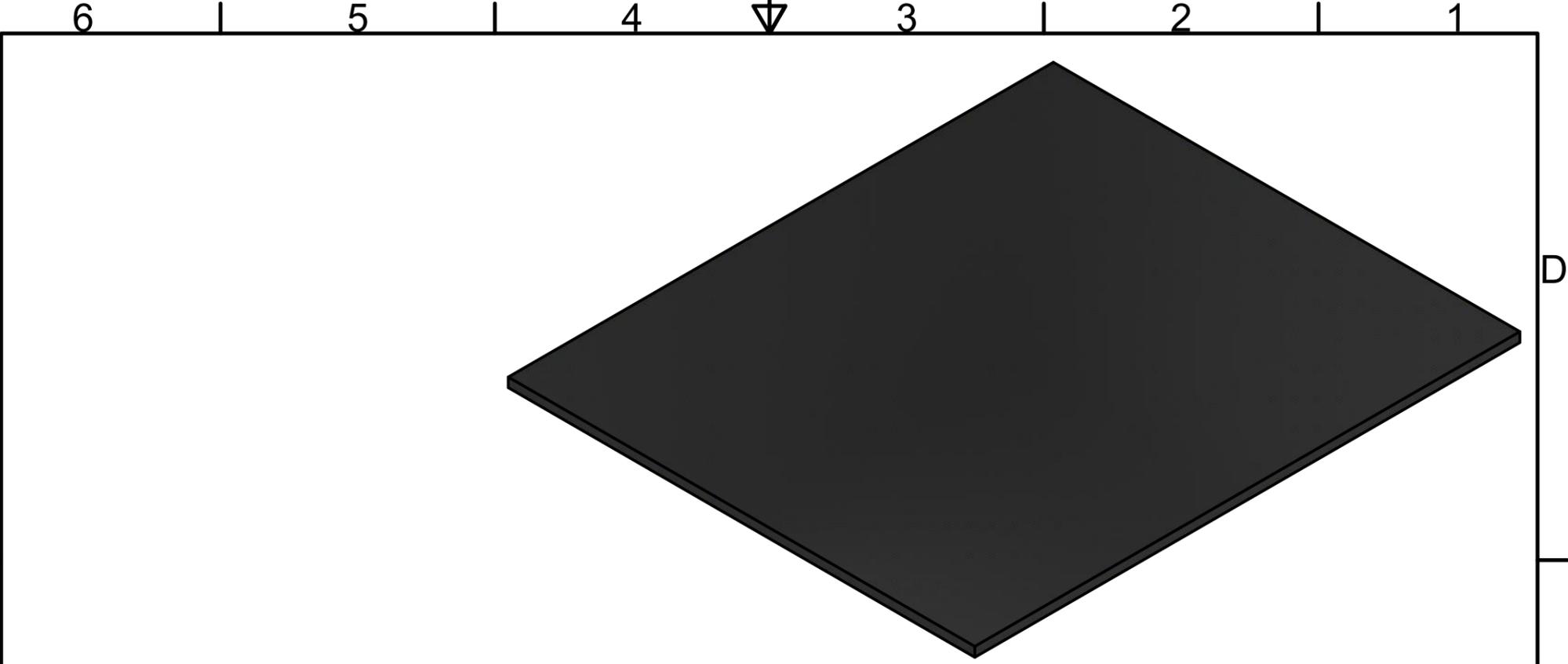
A

6 5 4 3 2 1

A (4 : 1)



| | | | | | | | | |
|--------|---------|-------|--------|--------------|------------|--------------------|----|-------------|
| | | | | 2 : 1 | | PLA | | |
| | | | | Fecha | Nombre | BASE PARA SENSORES | | |
| | | | | Creado | 15/02/2022 | | | P.A. & V.A. |
| | | | | Revisado | | | | |
| | | | | Norma | | | | |
| | | | | MEC - 1 - 06 | | | 1 | |
| | | | | | | | A3 | |
| Estado | Cambios | Fecha | Nombre | | | | | |



| | | | | | | | | |
|--------|---------|-------|--------|----------|------------|--------|-------------------------------|------------|
| | | | | | | 1 : 5 | ACERO GALVANIZADO GRADO 33 | |
| | | | | | | | BASE MOVIL | |
| | | | | Creado | 15/02/2022 | Nombre | | P.A & V.A. |
| | | | | Revisado | | | | |
| | | | | Norma | | | | |
| | | | | | | | MEC - 1 - 07 | |
| | | | | | | | 1 | |
| | | | | | | | A3 | |
| Estado | Cambios | Fecha | Nombre | | | | | |

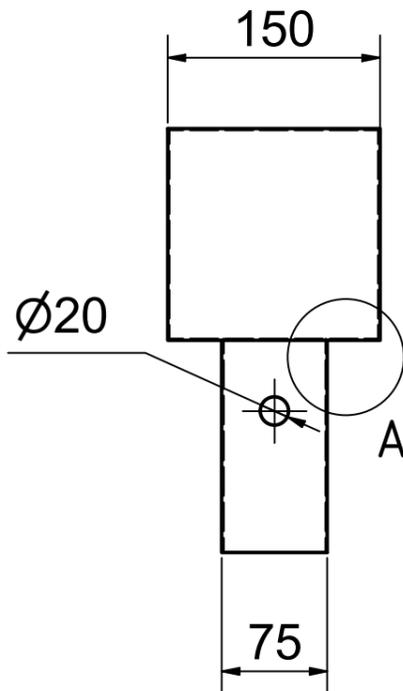
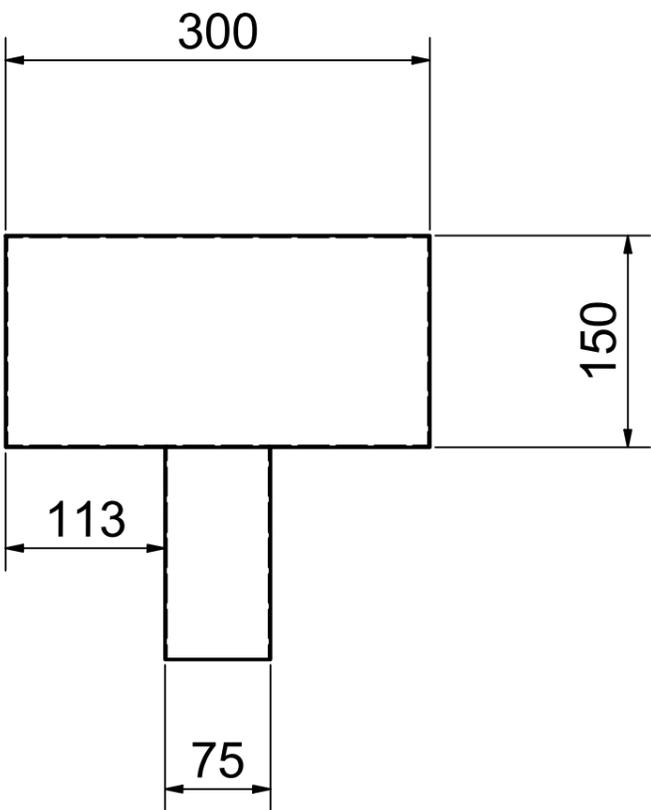
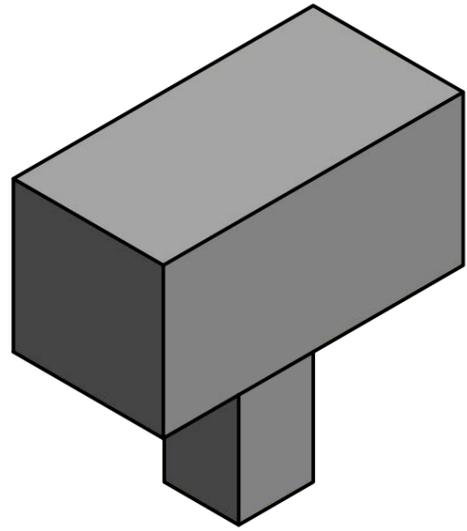
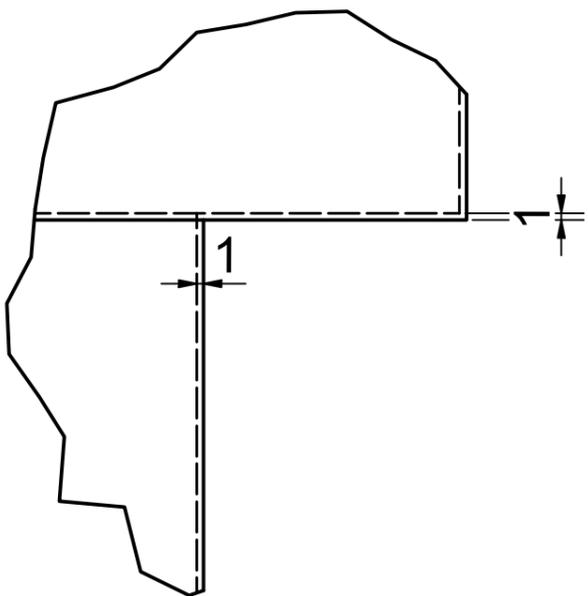
6
5
4
3
2
1
D
C
B
A

6
5
4
3
2
1
D
C
B
A

6
5
4
3
2
1

6 5 4 3 2 1

A (1 : 1)



| | | | | | |
|--------|---------|-------|--------|------------------|-------------------------------|
| | | | | 1 : 5 | ACERO GALVANIZADO GRADO 33 |
| | | | | Fecha | Nombre |
| | | | | Creado | 15/02/2022 P.A & V.A. |
| | | | | Revisado | |
| | | | | Norma | |
| | | | | SOPORTE SUPERIOR | |
| | | | | MEC - 1 - 10 | |
| | | | | 1 | |
| | | | | A3 | |
| Estado | Cambios | Fecha | Nombre | | |

6 5 4 3 2 1