

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de una balanza de respuesta rápida para control de peso y toma de datos del
banano para exportación

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros en Mecatrónica

Presentado por:

Andrea Nicole Solá Uyaguari

Andy Santiago Ríos Benavides

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

Este proyecto está dedicado a mis padres, quienes siempre han sido un pilar fundamental en mi vida. A través de su apoyo inquebrantable, me han mostrado mi potencial y me han brindado sabios consejos que me han guiado para evitar errores.

A compañera de vida, mis amigos, y familiares que han formado parte de mi trayectoria universitaria y también a aquellos que, a pesar de no estar directamente relacionados con ella, me han ayudado a avanzar y crecer tanto en mi desarrollo académico como profesional y conocer que mis logros también importan y se deben celebrar.

Andy Ríos Benavides

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mis padres, Mariana Uyaguari y José Luis Solá, y a mis hermanos Carlos y José Luis, quienes me han brindado su apoyo incondicional todo el trayecto de mi carrera universitaria y nunca dejaron de creer en mí y en mi potencial.

A mis amigas Madelayne, Diana y Daniela, quienes han crecido conmigo y que, a pesar de nuestros distintos estilos de vida, siempre puedo contar con ellas en todo momento.

A mis amigos Valeria y Stiven, quienes estuvieron conmigo desde el primer semestre y que con su amistad alegraron mis días universitarios.

A mi gatita Danna, quien me ha acompañado en mis noches de estudio desde el segundo semestre y le ha traído paz y felicidad a mi vida, aún si ella no está consciente de ello.

Andrea Solá Uyaguari

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, hermanos y abuela por ser quienes brindaron esa seguridad en mí. A todas las personas que estuvieron en el proceso de realizar esta tesis, las personas que me apoyaron y me dieron su ayuda para lograr este objetivo.

A los amigos que han sido parte del camino, y los que se quedaron el, cada uno de ustedes ha dejado una huella en mi camino, y he intentado aprender lo mejor de cada uno de ustedes.

No puedo pasar por alto a esos profesores en la universidad que no solo transmiten conocimiento, sino que también nos enseñan a comprenderlo, aprovecharlo y utilizarlo en nuestro beneficio. Su influencia ha sido fundamental en mi formación académica.

Andy Ríos Benavides

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mis padres por su esfuerzo diario en proporcionarme todos los recursos necesarios que permitieron que pueda culminar mi carrera universitaria sin carencias.

Agradezco a la institución, ESPOL, por haber sido la base de mis conocimientos y por la educación de calidad que me ha proporcionado durante estos últimos cinco años.


A nuestro tutor, el Ph.D. Marcelo Fajardo, por compartir sus conocimientos, dedicar su tiempo en las reuniones de seguimiento de nuestros avances, y brindarnos sus recomendaciones durante el desarrollo de este proyecto.

A nuestro profesor, el Ph.D. Carlos Saldarriaga, por su excelente guía y enseñanza a lo largo del semestre.

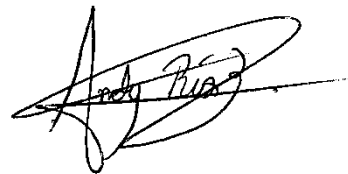
Andrea Solá Uyaguari

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Andrea Nicole Solá Uyaguari y Andy Santiago Ríos Benavides* 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”.



Andrea Nicole Solá
Uyaguari



Andy Santiago Ríos
Benavides

Evaluadores

Ph.D. Carlos Saldarriaga

Profesor de la materia

Ph.D. Marcelo Fajardo

Profesor tutor

Resumen

Este proyecto se enfoca en la creación de una balanza electrónica de respuesta rápida teniendo como objetivos principales la reducción del tiempo de pesaje, la implementación de un sistema para notificar el estado del peso y un sistema de gestión de producción con el uso de una aplicación mostrando datos de peso, cantidad y tiempo. La necesidad de este proyecto surge de una falta de eficiencia en la producción de cajas de banano y el proceso de pesaje en diversas empresas bananeras, lo que podría ser mejorado significativamente mediante la implementación de una balanza electrónica y una aplicación de control de producción.

La balanza se construyó utilizando materiales de alta calidad, como acero AISI 304L para alimentos, y se implementó una celda de carga B6N capaz de realizar hasta 3000 lecturas por segundo, una batería independiente y una ESP32 como microcontrolador. Para el monitoreo de la producción, se desarrolló una aplicación móvil que permitía consultas en tiempo real. Como resultados se logró reducir el tiempo de pesaje hasta en 5 segundos. Además, la aplicación permitió el monitoreo y registro de datos en tiempo real. La ESP32 fue utilizada como punto de acceso que se comunicaba directamente con la aplicación móvil, brindando datos instantáneos de producción, incluso en entornos sin acceso a Internet.

Este proyecto demuestra con éxito la viabilidad de diseñar una balanza de respuesta rápida para la exportación de banano, mejorando considerablemente la eficiencia en el proceso de pesaje y control de producción. La combinación de tecnologías avanzadas y una interfaz visual intuitiva proporcionó una solución efectiva, versátil y portátil para la industria de exportación de banano.

Palabras clave: balanza electrónica, sistema de alerta, celda de carga, control de producción.

Abstract

This project focuses on the creation of a fast-response electronic scale with the main objectives being the reduction of weighing time, the implementation of a system to notify the weight status, and a production management system using an application displaying weight, quantity, and time data. The need for this project arises from an efficiency gap in the production of banana boxes and the weighing process in various banana companies, which could be significantly improved by implementing an electronic scale and a production control application.

The scale was built using high-quality materials such as AISI 304L food-grade steel, and a B6N load cell capable of performing up to 3000 readings per second was implemented, along with an independent battery and an ESP32 as the microcontroller. For production monitoring, a mobile application was developed, allowing real-time queries. As a result, weighing time was reduced by up to 5 seconds. Furthermore, the application enabled real-time data monitoring and recording. The ESP32 served as an access point communicating directly with the mobile application, providing instant production data, even in environments without internet access.

This project successfully demonstrates the feasibility of designing a fast-response scale for banana export, significantly improving efficiency in the weighing and production control process. The combination of advanced technologies and an intuitive visual interface provided an effective, versatile, and portable solution for the banana export industry.

Keywords: *electronic scale, alert system, load cell, production control.*

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema.....	6
1.3 Justificación del problema.....	7
1.3.1 Objetivo General:.....	8
1.3.2 Objetivos específicos:.....	8
1.4 Marco teórico.....	9
1.4.1 Banano en el Ecuador.....	9
1.4.2 Balanza Electrónica.....	13
1.4.3 La Agricultura y la Tecnología de la Información.....	15
1.5 Estado del Arte.....	17

1.5.1 Balanza industrial con respuesta rápida.....	17
1.5.2 Mecanismos de respuesta rápida	18
CAPÍTULO 2.....	20
2.1 Metodología	21
2.1.1 Posibles soluciones	21
2.1.2 Requerimientos y limitaciones	22
2.1.3 Criterios de selección.....	24
2.2 Solución final	26
2.2.1 Proceso de diseño	26
2.2.2 Requerimientos específicos de diseño.....	27
2.3 Diseño mecánico	28
2.4 Diseño electrónico.....	35
2.4.1 Selección de celda de carga	36
2.4.2 Selección del microcontrolador	38
2.4.3 Selección del acondicionador de señal y convertidor A/D	40
2.4.4 Fuente de alimentación y cargador de batería	42
2.5 Diseño de software	47
CAPÍTULO 3.....	51
3.1 Diseño Mecánico.....	52
3.1.1 Análisis de esfuerzo	53

3.2 Diseño electrónico.....	57
3.2.1 Circuito electrónico de la balanza	57
3.2.2 Placa PCB del circuito de la balanza	58
3.2.3 Simulación electrónica	59
3.3 Diseño de software	62
3.3.1 Simulación de la aplicación.....	62
3.4 Análisis de costos	67
3.4.1 Costos de diseño mecánico.....	67
3.4.2 Costos de diseño electrónico	68
3.4.3 Costo total de fabricación de la balanza electrónica.....	69
CAPÍTULO 4.....	71
4.1 Conclusiones y Recomendaciones	72
4.1.1 Conclusiones.....	72
4.1.2 Recomendaciones	73
REFERENCIAS.....	75
APÉNDICES.....	80

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
IOT	Internet of Things (Internet de las cosas)
LCD	Liquid Cristal Display
AEBE	Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador
CFN	Corporación Financiera Nacional
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ADC	Analogic to Digital Converter (Conversor Analógico Digital)
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Directa
GPIO	General Purpose Input/Output (Entrada/Salida de Propósito General)
GND	Ground (Tierra Común)
I2C	Inter-Integrated Circuit (Protocolo de Comunicación Serial)
SCL	Serial Clock (Reloj Serial)
SDA	Serial Data (Datos Seriales)

Simbología

mm	Milímetro
lb	Libras
kg	Kilogramo
m	Metro
V	Voltio
A	Amperios
MPa	Mega pascales
GPa	Giga pascal
W	Vatio
°C	Celsius
Mhz	Megahercio
Ω	Ohmio

Índice de figuras

Figura 1.1 Porcentaje de variación anual del banano en el Ecuador	2
Figura 1.2 Proceso de producción de cajas de banano.....	5
Figura 1.3 Porcentaje de exportaciones totales de banano	10
Figura 1.4 Variación del precio del banano para exportación.....	11
Figura 1.5 Participación provincias en el cultivo de banano	12
Figura 1.6 Diseño mecánico de una celda de carga	14
Figura 1.7 Elementos de una balanza electrónica.....	15
Figura 1.8 Tecnologías habilitadoras del Internet de las cosas (IoT).....	16
Figura 1.9 Balanza industrial DSX ACCUREX	17
Figura 2.1 Diseño de proceso de solución	27
Figura 2.2 (a) Vista isométrica y dimensionamiento de la plataforma base (b) Vista isométrica del diseño ensamblado	30
Figura 2.3 Vista isométrica y dimensionamiento de la parrilla inferior.....	31
Figura 2.4 Vista isométrica y dimensionamiento de la celda de carga	32
Figura 2.5 Vista isométrica y dimensionamiento de la parrilla superior	33
Figura 2.6 Vista frontal de las parrillas con la celda de carga.....	33
Figura 2.7 Vista isométrica y dimensionamiento de la carcaza	34
Figura 2.8 (a) Vista isométrica y dimensionamiento de la pantalla (b) Vista isométrica del diseño ensamblado	35
Figura 2.9 Diagrama de flujo para procesamiento de señal.....	35
Figura 2.10 Diagrama de proceso	36
Figura 2.11 Celda de carga B6N	37

Figura 2.12 Placa ESP32-DevKit V1.....	39
Figura 2.13 Convertidor ADC HX711	40
Figura 2.14 Batería modelo SB-12120	45
Figura 2.15 Diagrama de conexiones.....	48
Figura 2.16 Diseño inicial de la aplicación.....	50
Figura 3.1 Listado de componentes del diseño mecánico.....	52
Figura 3.2 Análisis de esfuerzos	54
Figura 3.3 Esfuerzo máximo en la celda de carga	55
Figura 3.4 Factor de seguridad del mecanismo	56
Figura 3.5 Diagrama esquemático circuito de alimentación.....	57
Figura 3.6 Diagrama esquemático circuito completo de la balanza	57
Figura 3.7 Diseño 3D placa PCB del circuito de balanza electrónica	58
Figura 3.8 Materiales usados para simulación electrónica	59
Figura 3.9 Inicio de la simulación.....	60
Figura 3.10 Primera etapa del pesado	60
Figura 3.11 Peso en el rango correcto.....	61
Figura 3.12 Guardado de datos en memoria SPIFFS.....	62
Figura 3.13 (a) Vista principal (b) Vista de datos	63
Figura 3.14 (a) Vista de datos con búsqueda (b) Vista de detalles.....	64
Figura 3.15 (a) Vista Listado 1 (b) Vista Listado 2.....	65

Índice de tablas

Tabla 1.1	Resumen de requisitos mínimos de calidad del banano.....	3
Tabla 1.2	Cajas por millón de banano entre enero a febrero 2022 y 2023.....	13
Tabla 2.1	Requerimientos de la solución dados por el cliente.....	23
Tabla 2.2	Criterios de selección.....	24
Tabla 2.3	Matriz de decisión.....	25
Tabla 2.4	Criterios y selección final.....	25
Tabla 2.5	Propiedades del acero inoxidable 304.....	28
Tabla 2.6	Especificaciones de la celda de carga B6N.....	38
Tabla 2.7	Tabla de especificaciones ESP32.....	39
Tabla 2.8	Componentes adicionales para el circuito del microcontrolador.....	41
Tabla 2.9	Consumo de corriente del circuito de balanza.....	43
Tabla 2.10	Componentes del circuito de alimentación y cargador de batería.....	46
Tabla 3.1	Listado de materiales del diseño mecánico.....	53
Tabla 3.2	Costos de diseño mecánico.....	67
Tabla 3.3	Costos de diseño electrónico.....	68
Tabla 3.4	Costos totales de la fabricación de balanza electrónica.....	70

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

La exportación del banano en el Ecuador representa alrededor del 25.72% de las exportaciones no petroleras del país. Según datos del Boletín de Comercio Exterior, el banano es el segundo producto de exportación no petrolero del país con ventas de alrededor de \$3000 millones al año [1], generando un promedio de 400.000 empleos de forma directa e indirecta en el Ecuador [2].

Figura 1.1

Porcentaje de variación anual del banano en el Ecuador

PRODUCTOS DE EXPORTACIÓN TRADICIONALES

	USD Millones FOB	% Variación Anual	Variación Anual USD MM
 Camarón	\$6.274 MM	▲ 50,3%	+2.099
 Banano	\$2.609 MM	▼ -7,0%	-196

La calidad de la fruta es un factor esencial para su comercialización y exportación. Según el Acuerdo Ministerial No.103 del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), La industria bananera ecuatoriana está sujeta a las siguientes disposiciones relativas a la calidad del banano [3].

Tabla 1.1*Resumen de requisitos mínimos de calidad del banano*

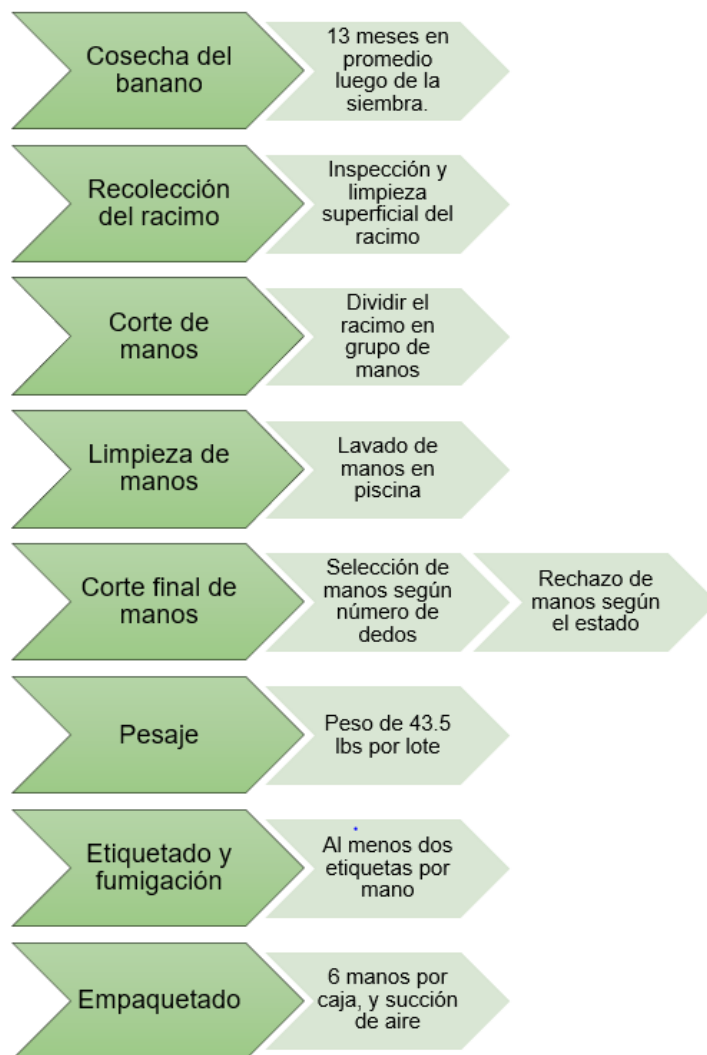
Norma técnica	Resumen de requisitos mínimos de calidad del banano
NTE INEN 2801	1. La caja debe tener un peso equivalente a 43 libras.
	2. Estar enteros, sanos y de consistencia firme.
	3. Estar exentos de pistilos e insectos.
	4. Estar con el pedúnculo intacto, sin estar doblados ni dañados por hongos o desecados.
	5. Calibración entre 39 y 40 mínimo, y 46 a 47 máximo.
	6. Longitud de dedos de 8" mínimo para cajas de primera y 7,5" para cajas de segunda.
	7. Los gajos deben tener 4 a 8 dedos.
	8. El peso debe ser el que está estipulado para los diferentes tipos de cajas existentes.
	9. La caja puede tolerar 2 saneo y 2 cuñas.
	10. Se deben colocar 2 etiquetas por gajo, en el caso de las cuñas, 1 etiqueta.
	11. La caja debe estar etiquetada con información para identificar productor, exportador y/o comercializador.

Un método de pesaje adecuado permite garantizar que los pequeños productores de banano puedan lidiar con un precio justo por el producto y que la actividad comercial sea rentable. Según el Acuerdo Ministerial No. 125 del MAG, vigente desde el 2023, se fijó que el precio mínimo de la caja de banano de 43.0 lbs es de USD \$6.50, equivalente a USD \$0.1512 por libra. Por lo que toda caja que exceda el peso establecido, el valor por libra adicional se calculará a razón del valor establecido [4].

El uso de balanzas es un procedimiento esencial para la rentabilidad y sostenibilidad de los productores de banano ya que permiten una medición precisa del peso de la fruta garantizando así el cumplimiento de las normas de calidad exigidas por el MAG. El siguiente gráfico muestra el proceso de producción de cajas de banano desde su cosecha hasta empaquetado implementando el uso de balanzas en la etapa de pesaje:

Figura 1.2

Proceso de producción de cajas de banano



1.2 Descripción del problema

En la industria bananera, la etapa de pesaje es de vital importancia tanto para el productor como para el comercializador de la fruta. Una medición incorrecta del peso es perjudicial para una bananera, ya que, si se envía productos por encima del peso estándar establecido por el MAG [5], puede provocar pérdidas de ingresos para los productores, dado que estos recibirán menos ganancias por su producto, impactando negativamente en los costos generados durante el proceso de producción. Por otro lado, si se envía un peso menor al estándar, la empresa pone en riesgo la confianza en la calidad del producto frente a los compradores, incurriendo en posibles devoluciones de contenedores o generación de multas financieras y/o legales por el no cumplimiento de los acuerdos comerciales entre el productor y el comprador.

Otra de las etapas de mayor importancia es el control de la producción, ya que llevar un control y registro de la producción de cajas de banano es esencial para una gestión eficiente del inventario, una planificación adecuada, un control de calidad efectivo y el cumplimiento normativo. No contar con sistemas de registro de productividad puede influir en algunos de los siguientes aspectos:

- El incumplimiento de las regulaciones establecidas por el MAG como se puede ver en la Tabla 1.1.
- No contar con un análisis de costos y rentabilidad del proceso.
- Incapacidad de identificar tendencias y demandas de los clientes.
- Pérdida de la información histórica de la productividad.
- Desperdicio de recursos.

Este tipo de registro proporciona información clave para la toma de decisiones, desde realizar una buena trazabilidad y la optimización de recursos. El control de productividad mejora la eficiencia operativa, la satisfacción del cliente y contribuye al éxito a largo plazo en la industria bananera.

1.3 Justificación del problema

La bananera “Hacienda Las Playas” es un pequeño productor que posee 28.26 hectáreas [6], esta hacienda presenta procesos de producción en su mayoría manuales y poco automatizados. Esto incluye el uso extensivo de mano de obra, tiempos de producción elevados y falta de precisión en la elaboración del producto terminado, que consiste en cajas de 43 libras.

Por lo tanto, la automatización en el pesaje del banano es primordial, dado que es una de las etapas más influyentes en el proceso de empaquetado. Actualmente se dispone de un sistema inexacto, donde el operador toma una determinada cantidad de producto para su pesaje y al cabo de 15 segundos aproximadamente libera el producto para su siguiente etapa. En este proceso se emplea una balanza mecánica con un tiempo de estabilización de 10 segundos que no permite conocer el valor exacto de peso que se está liberando.

Adicionalmente la bananera no cuenta con ningún sistema de registro para la producción diaria, por lo que es importante contabilizar cuanto se produce diariamente, y registrar las características del producto terminado que se quiere exportar, para posteriormente visualizar los datos ya sea desde un dispositivo móvil o una página web y llevar el control de la producción en tiempo real.

Una balanza de respuesta rápida con recopilación de datos para el pesaje del banano permitiría reducir la variabilidad entre los pesos de las cajas de banano, aumentaría la producción

por hora, debido a la disminución del tiempo para el pesaje, y permitiría llevar un control de datos de producción durante el proceso.

1.3.1 Objetivo General:

- Diseñar una balanza de respuesta rápida con celdas de carga para el pesaje y monitoreo de cajas de banano.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Diseñar una balanza con un tiempo de respuesta inferior a 10 segundos.
- Implementar un sistema para notificar que el peso establecido es en promedio igual al requerido.
- Realizar un sistema de gestión de inventario a través de una aplicación obteniendo datos de peso, cantidad y tiempo.

1.4 Marco teórico

A continuación, se mostrará información relevante al problema, tales como datos estadísticos, tablas de valor e información real del tema a tratar para establecer la relevancia de esta investigación.

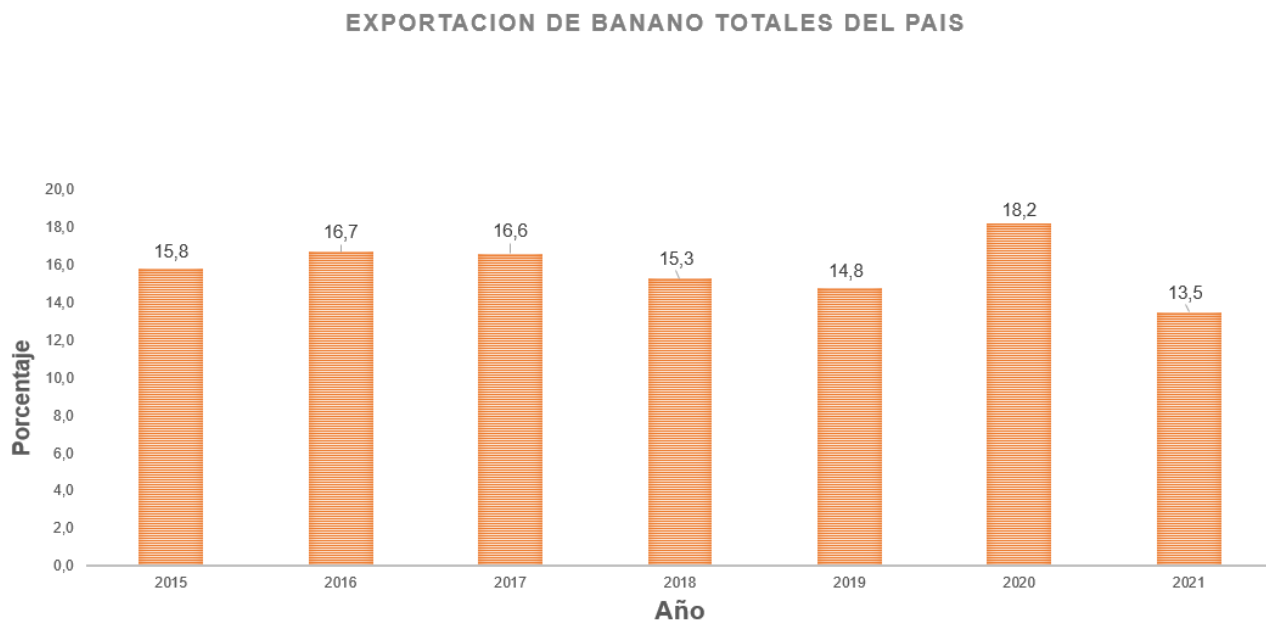
1.4.1 Banano en el Ecuador

La industria bananera tiene su origen oficial desde el año 1950, aunque existe evidencia que se había empezado a realizar esta actividad en provincias como El Oro desde 1925 [7]. El auge del banano empezó desde 1948 respondiendo a la crisis cacaotera que surgió a finales de 1940, el estado buscó como alternativa una solución agropecuaria para las exportaciones, por lo que el estado apoyó y asumió los costos de infraestructura permitiendo que compañías transnacionales se acentuaran en el país con una menor inversión en gastos logrando traer mayores beneficios al país [8].

Hoy en día, el banano es la segunda industria agropecuaria con mayor ingreso en Ecuador, representando más del 13.5% de las exportaciones totales del país. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador, en el año 2020 se generó ingresos por más de 3.3 mil millones de dólares [9].

Figura 1.3

Porcentaje de exportaciones totales de banano [10]



A pesar de su importancia económica, la industria bananera de Ecuador ha enfrentado diversos desafíos a lo largo de los años, incluyendo problemas de seguridad alimentaria, impactos ambientales y sociales, y fluctuaciones en los precios internacionales del banano. Sin embargo, se espera que la industria continúe siendo un pilar clave de la economía ecuatoriana en el futuro cercano.

Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, se pueden obtener los precios del banano para exportación de los últimos 3 años:

Figura 1.4

Variación del precio del banano para exportación [11]–[15]



En la Figura 1.4, se puede observar que el precio del banano en Ecuador ha experimentado fluctuaciones a lo largo de los años debido a factores como la oferta y la demanda, las condiciones climáticas, el tipo de cambio y la competencia de otros países productores.

La ley del banano en Ecuador establece una serie de regulaciones y requisitos para la producción, exportación e importación de banano en el país la cual está regulado por el viceministerio de Desarrollo Agropecuario. Si una bananera infringe la ley del banano, puede enfrentar sanciones o multas que varían según la gravedad de la infracción entre ellas se incluyen:

- Sanciones económicas
- Suspensión o cancelación de licencias de producción y exportación

- Retiro de los productos del mercado
- Prohibición temporal o permanente de operaciones en caso de considerar un daño a la salud pública o el medio ambiente.

Las sanciones o multas varían dependiendo de la gravedad de la infracción y la autoridad que imponga dicha sanción [[16].

Según los datos proporcionados por la Corporación Financiera Nacional (CFN), en el año 2020 las cuatro principales provincias productoras de banano en el país fueron:

Figura 1.5

Participación provincias en el cultivo de banano



En la Figura 1.5 se muestra la distribución de las provincias más influyentes en el cultivo de banano a nivel nacional, según la Superintendencia de Compañías.

En cuanto a la exportación de banano, se registraron 62.99 millones cajas exportadas para el mes de febrero del 2023 que en comparación al año anterior (63.15 millones), tiene un decremento del 0.26% de exportaciones según la AEBE [17].

En cuanto a la exportación de banano, se registraron 62.99 millones cajas exportadas para el mes de febrero del 2023 que en comparación al año anterior (63.15 millones), tiene un decremento del 0.26% de exportaciones según la AEBE [17].

Tabla 1.2

Cajas por millón de banano entre enero a febrero 2022 y 2023

MES	2021	2022	2023
ENERO	38,37	32,42	35,01
FEBRERO	32,1	30,73	27,97
VARIACIÓN		-10,39%	-0,26%

1.4.2 Balanza Electrónica

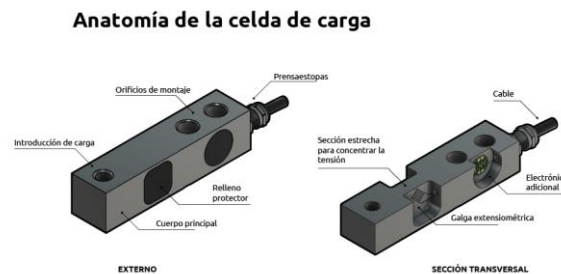
Existen principalmente dos tipos de balanzas utilizadas en la industria bananera. Tomando en cuenta una serie de factores importantes tales como la capacidad de la balanza, la precisión en la medición del peso, la interfaz de usuario, la conectividad y la capacidad de almacenamiento de datos, se pueden utilizar las balanzas mecánicas que funcionan mediante el uso de pesas físicas por lo que requieren mayor tiempo de estabilización y mayor mantenimiento, por otro lado las balanzas electrónicas que emplean transductores de fuerza para realizar la medición del peso, presentan mayor precisión que las balanzas mecánicas, pero suelen ser más costosas [18].

Las balanzas electrónicas con toma de datos son un equipo fundamental para el control de calidad y la gestión de inventarios, especialmente en la industria alimentaria. Este tipo de balanzas requieren un suministro de energía eléctrica para el funcionamiento de sus componentes; su nivel de respuesta es más rápido y preciso en comparación a las balanzas mecánicas. La mayoría de las

balanzas electrónicas utilizan un elemento sensible a la deformación cuya resistencia eléctrica cambia al ser estirado o comprimido, este sistema de calibración de las balanzas se la conoce como celda de carga o también llamados célula de carga la cual va fundida a una de las columnas que sostienen la plataforma de la balanza. Estos dispositivos electrónicos son muy sensibles y capaces de medir el peso con gran precisión y velocidad [19].

Figura 1.6

Diseño mecánico de una celda de carga [20]



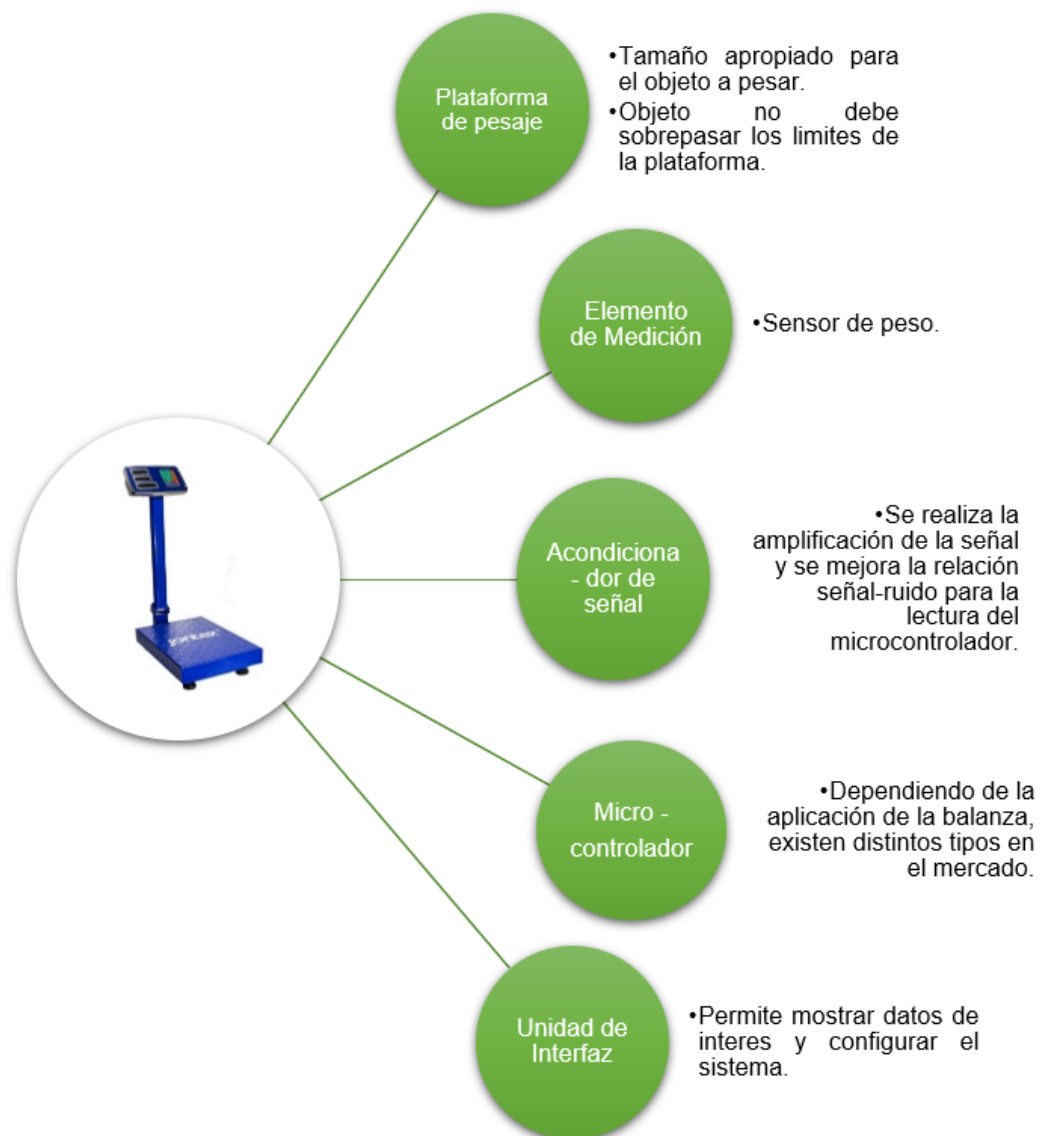
Una balanza está conformada en su exterior por una carcasa capaz de proteger sus componentes electrónicos y una celda de carga que es un transductor de fuerza capaz de convertir la deformación de un elemento y transformarla en una señal eléctrica medible como se puede observar en Figura 1.6.

Al colocar el objeto sobre una plataforma el sensor de carga se comprime o se estira dependiendo del tipo de montaje mecánico inicial. El cambio en la resistencia procedente de la celda se emplea para determinar el peso del objeto. Independientemente del sensor de peso que se quiere utilizar para el diseño de la balanza, se tiene como característica principal la obtención de una señal de voltaje o frecuencia por parte del dispositivo, esta señal deberá ser acondicionada y procesada para ser visualizada.

Una balanza electrónica posee los siguientes elementos:

Figura 1.7

Elementos de una balanza electrónica



1.4.3 La Agricultura y la Tecnología de la Información

La tecnología aplicada en la agricultura es una herramienta que permite recopilar y analizar datos determinados de una cosecha con el fin de mejorar la productividad y la calidad de los

cultivos, facilitar el trabajo de los agricultores y ahorrar en el uso de insumos utilizados en la etapa de producción.

El internet de las cosas (IoT) en el sector agrícola permite que los agricultores puedan monitorear y obtener información en tiempo real sobre las condiciones del campo y del producto obtenido.

El internet de las cosas posee las siguientes tecnologías habilitadoras [21]:

Figura 1.8

Tecnologías habilitadoras del Internet de las cosas (IoT)



1.5 Estado del Arte

En la siguiente sección, se mostrarán algunas de las técnicas, conocimientos o modelos utilizados para dar mayor amplitud de solución a la investigación.

1.5.1 Balanza industrial con respuesta rápida

Actualmente existen diversas alternativas que permiten tener un control exacto del peso a medir, de una forma rápida como lo es el caso de la balanza industrial DSX ACCUREX, que permite una medición de hasta 30 Kg con un tiempo de estabilización de 2 segundos.

Figura 1.9

Balanza industrial DSX ACCUREX [22]



Por otra parte, se presentan algunas limitaciones con esta herramienta para llevar a cabo mediciones en una bananera. Tales como, su tamaño de 30x40x30 cm resulta insuficiente para realizar mediciones precisas, ya que una bandeja de banano típica tiene dimensiones cercanas a los 60x30 cm. Además, el dispositivo no es impermeable, lo que representa un riesgo en un entorno

donde la humedad es alta y existe la posibilidad de que se moje fácilmente. Por último, carece de un sistema de registro de las mediciones efectuadas dentro del rango establecido, lo cual limita su utilidad en términos de seguimiento y análisis de datos.

En base a esto se busca desarrollar una solución con un enfoque guiado por los estándares y procedimientos establecidos en el diseño mecatrónico para garantizar la calidad del resultado y optimizar el uso de los recursos disponibles.

1.5.2 Mecanismos de respuesta rápida

Existen diversos tipos de herramientas que se pueden utilizar para generar un control de respuesta rápida sobre una balanza, estos mecanismos generalmente tienen las siguientes características principales:

- Tecnología de compensación de carga: Las balanzas industriales utilizan sensores de carga que detectan los cambios de peso y generan una señal eléctrica proporcional a la carga aplicada.
- Filtros de señales: Se utilizan filtros digitales y algoritmos de procesamiento de señales para reducir el ruido y mejorar la precisión de las mediciones.
- Plataformas de alta rigidez: Las plataformas de pesaje están diseñadas para ser rígidas y resistentes a fin de minimizar las vibraciones y los movimientos no deseados
- Sistemas de amortiguación: Utilizar sistemas de amortiguación, como amortiguadores hidráulicos o de aire, para minimizar las vibraciones por factores externos.

- **Electrónica de alta velocidad:** Las balanzas industriales modernas están equipadas con componentes electrónicos de alta velocidad, como procesadores y convertidores analógico-digitales (ADC), que permiten una rápida adquisición y procesamiento de datos.
- **Controlador PID:** Los controladores PID son ampliamente utilizados en sistemas de control mediante una combinación de términos proporcionales, integrales y derivativos para calcular la señal de control necesaria y reducir el tiempo de estabilización de la salida.

Estos son solo algunos ejemplos de procesos que pueden ayudar a obtener respuestas rápidas en un sistema para pesaje. La elección de los procesos específicos dependerá de las necesidades del cliente y los requisitos y limitaciones del sistema.

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología

Para esta sección, se mencionarán las distintas alternativas que pueden beneficiar a la solución de la problemática, tomando en cuenta los requerimientos y limitaciones se escogerá la alternativa con mayor rango de acción sobre el cliente siguiendo los procesos establecidos en el diseño mecatrónico.

2.1.1 Posibles soluciones

Alternativa 1:

Balanza electrónica de aluminio debido a su alta resistencia, con alimentación directa de paneles solares para proporcionar un ahorro a largo plazo en el consumo eléctrico y el uso de energía renovable, usaría un sistema electromagnético para la medición del peso y almacenamiento en memoria SD conectado al microcontrolador.

Alternativa 2:

Una balanza electrónica equipada con celdas de carga y capacidad de recopilación de datos, diseñada con una estructura impermeable para resistir la presencia de humedad y posibles derrames. Elaborada con acero inoxidable para una mayor resistencia a cargas y un sistema de alerta rápida visual para notificar al operador de que el peso es correcto. Almacenamiento en la nube mediante una base de datos en un servidor

Alternativa 3:

Balanza electrónica de fibra de vidrio o plástico haciéndolo más barato, con serie de resortes y palanca de equilibrio para las mediciones y un sistema de alarma audible para el operador, mostrará por medio de una pantalla LCD la cantidad de cajas pesadas y el peso promedio medido.

2.1.2 Requerimientos y limitaciones

Uno de los pasos más importantes para lograr una solución viable y de calidad, es mediante la definición de los requerimientos de la solución y las limitaciones del problema, para esto se debe tener en cuenta la mayor cantidad de información acerca de lo que se busca solucionar. En la bananera se tienen varios aspectos que deben ser mencionados, tales como:

Tabla 2.1*Requerimientos de la solución dados por el cliente*

Requerimiento	Detalle
Resistencia a la humedad	En un ambiente generalmente húmedo, la solución debería tener una alta capacidad de resistencia al agua sin sufrir daños ni experimentar una disminución significativa en su rendimiento.
Rapidez de respuesta	El sistema de producción que maneja la bananera es manual, pero es compensado con la práctica de los operadores en cada área, la solución buscará reemplazar una sección importante de este proceso, reduciendo el tiempo promedio que toma para pasar a la siguiente sección.
Registro de producción	La solución debe ser capaz de llevar un registro u histórico del número de cajas y el peso de cada una de ellas, que permita realizar un análisis posterior.
Dimensiones	Deberá abarcar la misma sección de espacio que la balanza mecánica que ya se estaba utilizando.
Sistema de alerta	La solución debe permitir conocer cuando un producto cumple o no con un rango establecido de peso, esta alerta debe ser rápida y fácil de entender para que el operador pueda corregir el peso del producto.
Confiabilidad	Se debe mantener o mejorar la exactitud y precisión en la medición del peso de la caja de banano.
Precio	Un precio estable y congruente a los valores actuales del mercado.

2.1.3 Criterios de selección

Tabla 2.2

Criterios de selección

PESO	CRITERIO	PRIORIDAD	%DECISION
5	Confiabilidad	1	100%
5	Rapidez	2	100%
4	Resistencia	6	80%
3	Registro	4	60%
3	Alerta	3	60%
1	Dimensión	7	10%
2	Precio	5	20%

En la Tabla 2.2 se muestran los pesos de importancia de cada criterio o requerimiento obtenido, mostrando que cumplir con una mayor confiabilidad de medición del peso es más importante que cumplir con un dimensionamiento específico para el tamaño de la bandeja de banano.

Tabla 2.3*Matriz de decisión*

Alternativas	Confiabilidad	Rapidez	Resistencia	Registro	Alerta	Dimensión	Precio
A.1	3	5	4	3	0	2	5
A.2	5	4	5	4	3	2	3
A.3	3	3	3	2	5	2	5

Tabla 2.4*Criterios y selección final*

Alternativas	Confiabilidad	Rapidez	Resistencia	Registro	Alerta	Dimensión	Precio	Total
A.1	15	25	16	9	0	2	10	77
A.2	25	20	20	12	9	2	6	94
A.3	15	15	12	6	15	2	10	75

En la Tabla 2.3 se muestran las distintas alternativas con un valor de cumplimiento de los criterios anteriormente estipulados en la Tabla 2.2, posteriormente se realiza una ponderación entre el cumplimiento de los criterios y el peso de cada uno de ellos sobre la solución final como se puede observar en la Tabla 2.4, teniendo como resultado que la mejor alternativa para seleccionar es la número 2.

2.2 Solución final

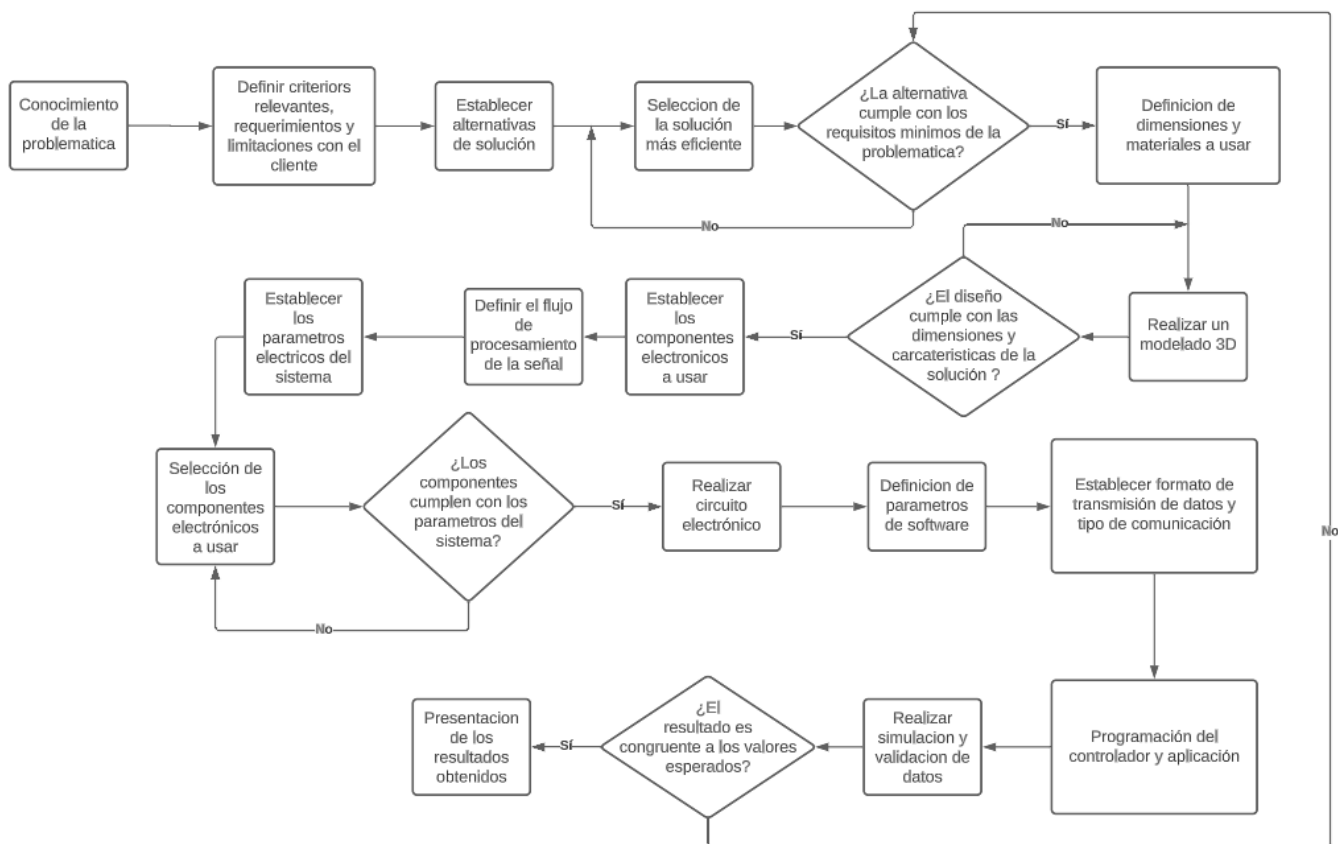
A través del enfoque metódico y estructurado del proceso de diseño mecatrónico, se definen y coordinan los pasos necesarios para obtener una solución eficiente. El proceso de diseño garantiza un desarrollo coherente y optimizado, resultando en una balanza electrónica de alta calidad y rendimiento. El diseño mecánico, electrónico y de software nos permitirán tener una idealización de nuestra alternativa de solución con el uso de un enfoque multidisciplinario garantizando un producto final funcional y eficiente.

2.2.1 Proceso de diseño

El diagrama de la Figura 2.1 nos proporciona una representación visual clara y concisa de los pasos involucrados en diseño de la solución. Permite comprender fácilmente el proceso desde el conocimiento de los datos relevantes hasta un resultado que tiene que ser validado, lo que facilita el diseño, la identificación de posibles mejoras y la solución de problemas.

Figura 2.1

Diseño de proceso de solución



2.2.2 Requerimientos específicos de diseño

1. Diseño mecánico hermético e impermeable. Material de carcasa resistente a corrosión.
2. Velocidad de respuesta en la obtención del peso de la balanza menor a 10 segundos.
3. Medición del peso con alta precisión.

4. Sistema de alarmas para indicar cuando el peso de la bandeja llegue al peso correspondiente, o cuando sea menor o sobrepase al peso establecido.
5. Interfaz de usuario de fácil observación y entendimiento para los operadores. Se deben tener dos pantallas de visualización del peso opuestas una a la otra para la visualización de los operadores.
6. Registro de inventario del peso y cajas de banano exportadas en una aplicación para visualización y monitoreo de datos.

2.3 Diseño mecánico

En lo que respecta al diseño mecánico, se ha realizado la elaboración de un modelo tridimensional que describe detalladamente los componentes físicos de la solución. Se ha considerado el acero inoxidable como material principal debido a sus destacadas propiedades de resistencia a cargas, anticorrosión y dureza como se puede observar en la Tabla 2.5. Aunque su costo puede no ser tan económico, estas características garantizarían mayor calidad en el diseño final del producto.

Tabla 2.5

Propiedades del acero inoxidable 304

ACERO INOXIDABLE AISI 304L	
PROPIEDAD	VALOR
ESFUERZO DE FLUENCIA (S_y)	210 MPa

ESFUERZO ULTIMO (Sut)	564 MPa
MODULO DE ELASTICIDAD (E)	193 - 200 GPa
DENSIDAD	0.289 lb/in ²

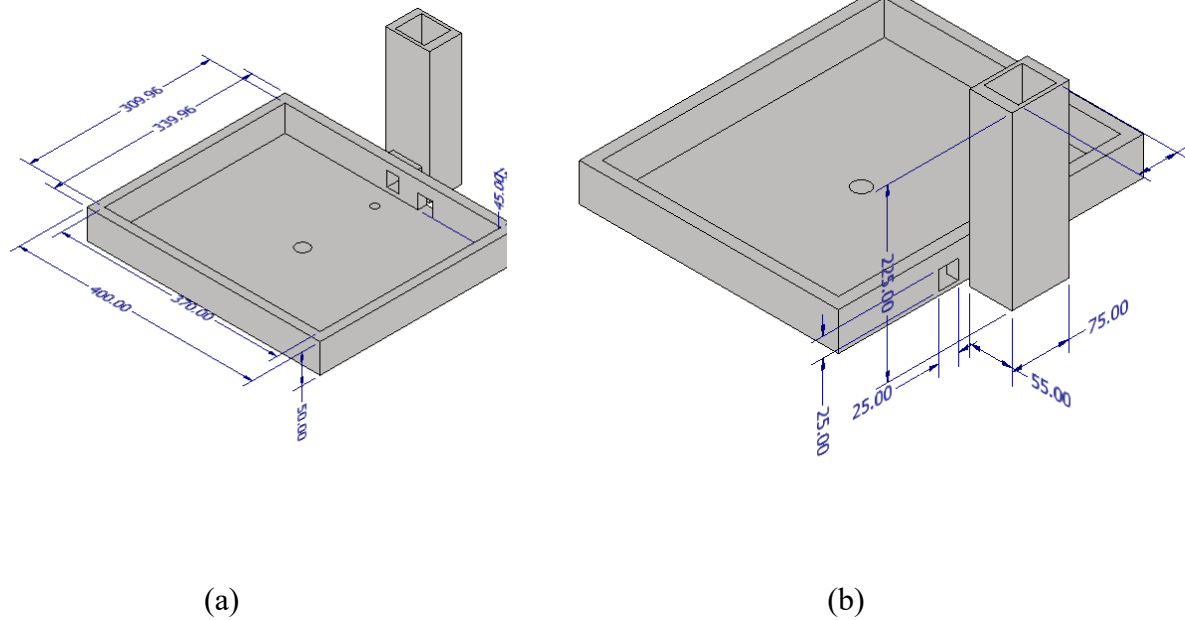
Dimensiones

El soporte de la balanza se compone por una sólida base rectangular con dimensiones principales de 400*50*33.995 mm, diseñada para soportar de manera estable el peso requerido que va a ser cargado sobre esta. Las dimensiones fueron tomadas del lugar en donde es requerida la balanza, el tamaño de la bandeja, altura promedio de operadores y el peso promedio a medir.

Se ha incorporado una columna de 55*225*75 mm en la parte trasera de la base.

Figura 2.2

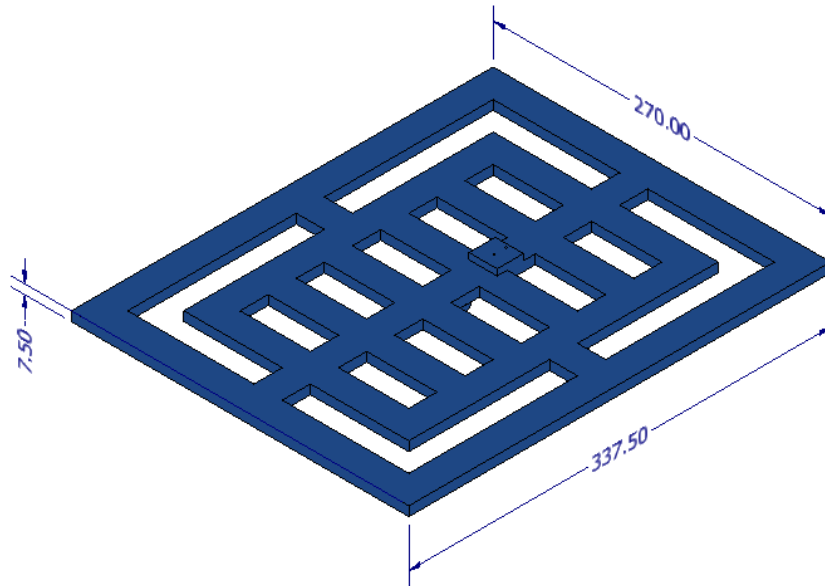
(a) Vista isométrica y dimensionamiento de la plataforma base (b) Vista isométrica del diseño ensamblado



Para la parte interna de la base, se tendrá una parrilla inferior de 337.5*270*7.5 mm para realizar la transmisión de la fuerza de manera unánime por toda la pieza y la base, esta parrilla tendrá una pequeña saliente que servirá de soporte inferior para la celda de carga.

Figura 2.3

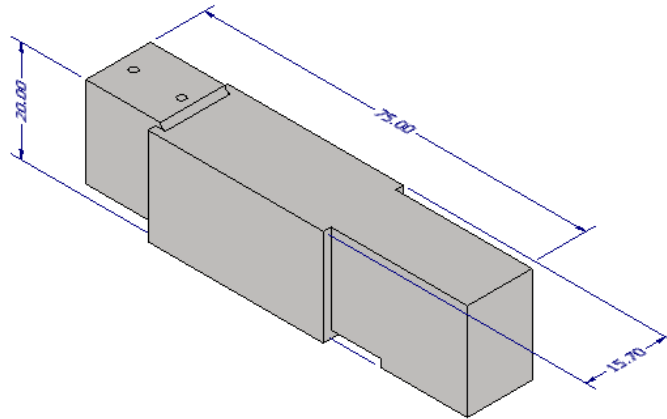
Vista isométrica y dimensionamiento de la parrilla inferior



Se realizó adicionalmente una celda de carga a escala para realizar un análisis de fuerza, tomando las medidas relativas de la información obtenida durante la selección de la celda de carga.

Figura 2.4

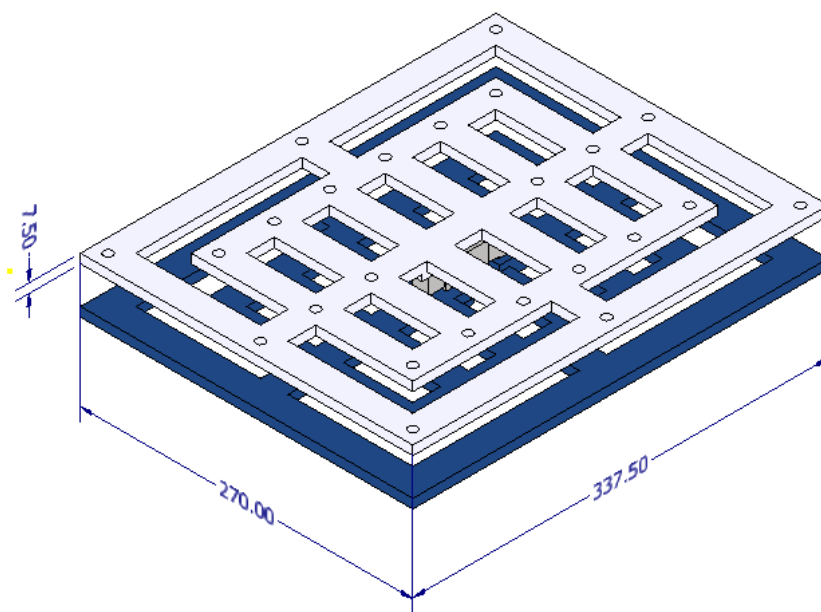
Vista isométrica y dimensionamiento de la celda de carga



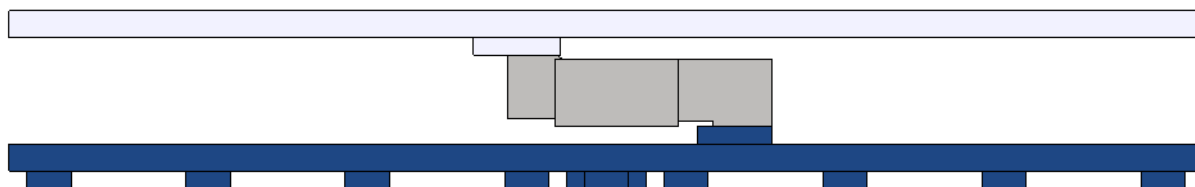
Otra de las estructuras elaboradas fue una parrilla superior con las mismas dimensiones de la parrilla inferior que realice el trabajo de distribuir la carga del peso colocado, sobre un punto en específico, que sería la sección de sujeción entre la parrilla y la celda de carga.

Figura 2.5

Vista isométrica y dimensionamiento de la parrilla superior

**Figura 2.6**

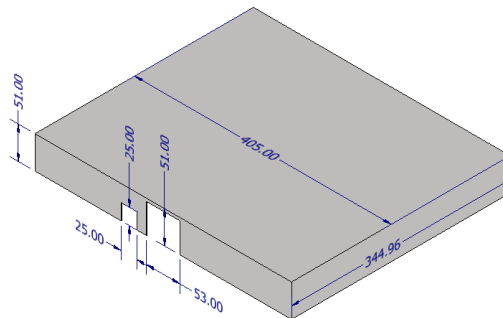
Vista frontal de las parrillas con la celda de carga



También existirá una tapa o carcasa final que estará en contacto directo con la bandeja a medir, esta tendrá dimensiones ligeramente mayores con 344.95*46.5*405 mm para poder ser insertada en la plataforma base con la suficiente facilidad y estar fija.

Figura 2.7

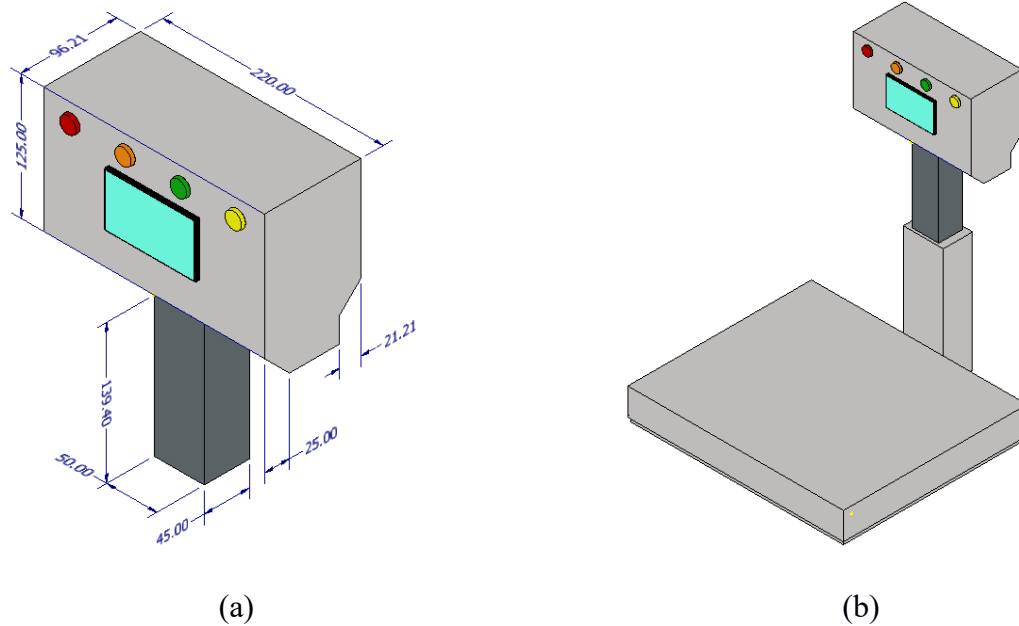
Vista isométrica y dimensionamiento de la carcasa



Para la pantalla o interfaz se tiene una columna de acero inoxidable de 45*139.39*50 mm, para asegurar la rigidez y evitar cualquier tipo de vibración o balanceo, en la parte superior se tendrá un soporte de 220*150*91.21 mm para contener las pantallas LCD, botones y luces piloto.

Figura 2.8

(a) Vista isométrica y dimensionamiento de la pantalla (b) Vista isométrica del diseño ensamblado



2.4 Diseño electrónico

Para esta sección de diseño se presentan los componentes que formarán parte del circuito electrónico y la instrumentación seleccionada para realizar las mediciones de peso de la balanza.

Figura 2.9

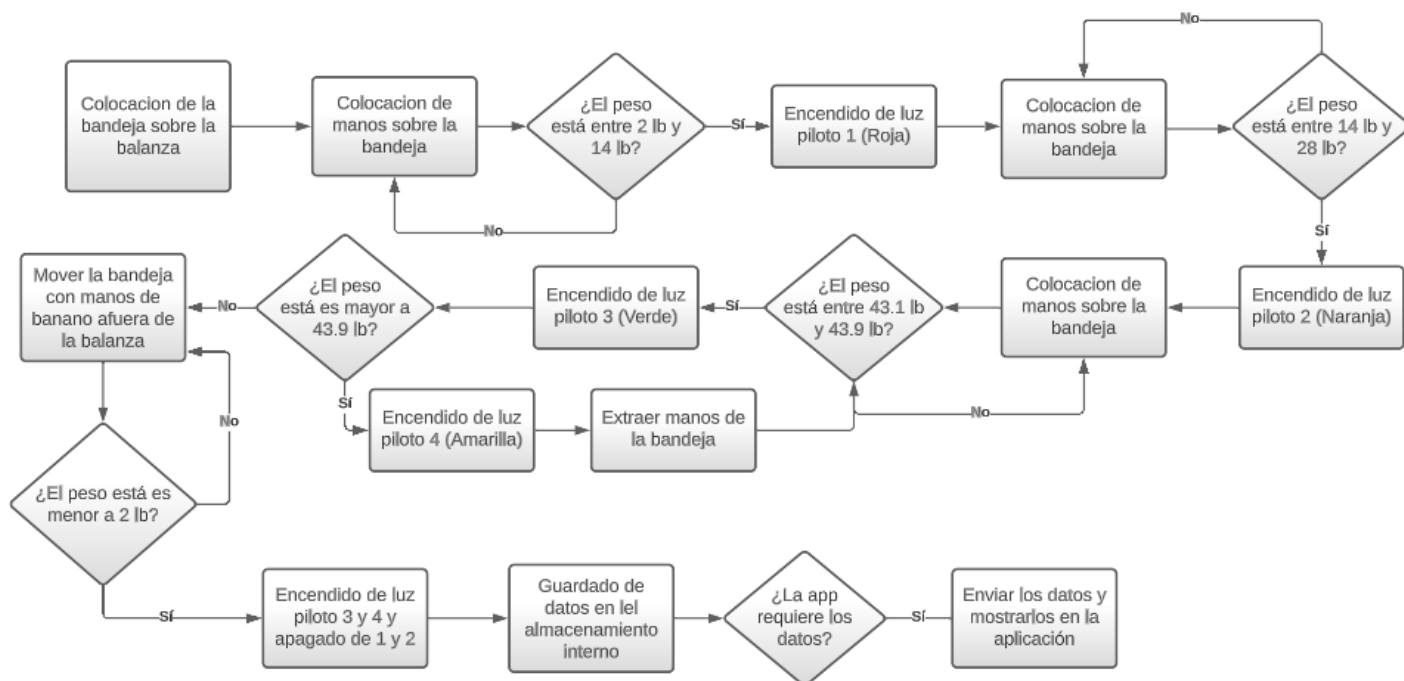
Diagrama de flujo para procesamiento de señal



La Figura 2.9 muestra en diagrama de bloques el proceso de obtención de la señal de medición final en la mayoría de las balanzas electrónicas disponibles en el mercado actual.

Figura 2.10

Diagrama de proceso



Con ayuda de la Figura 2.10 es factible simplificar el diseño general de la balanza. Una vez descrita la secuencia lógica del problema y seleccionados los componentes a emplear, es viable llevar a cabo el diseño electrónico y de software de forma más estructurada y sistemática, aumentando la eficiencia del diseño gracias a una visión clara de los pasos a seguir.

2.4.1 Selección de celda de carga

La celda de carga seleccionada es una monocélula B6N de flexión de acero inoxidable, con un diseño de tipo viga y punto único.

Figura 2.11

Celda de carga B6N[23]



La Figura 2.11 muestra el sensor de carga a utilizar, esta celda ofrece una solución óptima para obtener mediciones de peso directas y confiables, gracias a su capacidad para manejar cargas descentralizadas en un rango de medición de 8 kg a 200 kg. Además, su construcción en acero inoxidable la hace adecuada para entornos expuestos a la humedad, evitando así su corrosión. Este tipo de sensor se utiliza ampliamente en básculas de pequeño y mediano tamaño

Tabla 2.6*Especificaciones de la celda de carga B6N [23]*

Especificaciones técnicas B6N	OIML R60 C3
Capacidad máxima	8, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200 kg
Voltaje recomendado	5 - 12 V
Voltaje máximo	18 V
Resistencia de entrada	$384 \pm 4 \Omega$
Resistencia de salida	$350 \pm 3.5 \Omega$
Temperatura de operación	-35 ~ +65 °C
Peso de celda de carga	~1.1 kg
Material elemental	acero inoxidable
Clasificación de protección	IP67

En la Tabla 2.6 se puede observar las especificaciones técnicas de la celda de carga más relevantes. Para la selección de la celda se consideró el modelo B6N-C3-50kg-1B6 el cual posee una precisión nivel C3 para una capacidad máxima de 50 kg según la norma OIML R60 [24].

2.4.2 Selección del microcontrolador

Para la selección del microcontrolador se consideró al ESP32 como el módulo óptimo para el diseño de la balanza. Se optó por este microcontrolador debido a sus beneficios de conectividad en aplicaciones IoT en el campo industrial mediante comunicación inalámbrica Wi-Fi o Bluetooth.

Se trabajará con el módulo ESP32- WROOM-32 en la placa de desarrollo compacto ESP32- DevKit V1.

Figura 2.12

Placa ESP32-DevKit V1 [25]

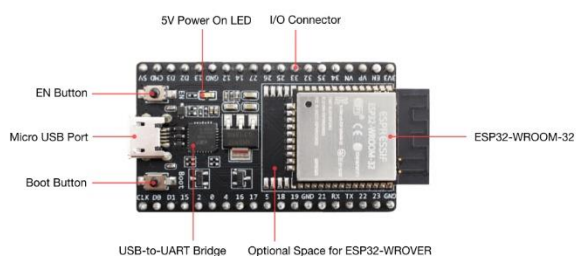


Tabla 2.7

Tabla de especificaciones ESP32

ESP32 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tipo	Módulo Wifi + Bluetooth
Modelo	ESP32 38 Pines
Voltaje de alimentación	3.3V DC (2.7 - 3.6)
Voltaje de entradas/salidas	3.3V DC
Corriente de operación	Min: 80 mA – Max: 500 mA
CPU principal	Tensilica Xtensa 32-bit LX6
Frecuencia reloj	80 MHz - 240Mhz

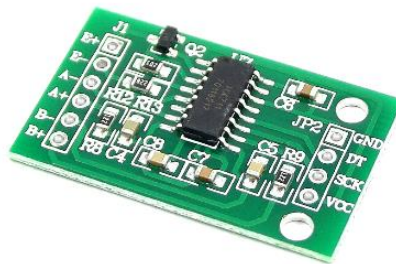
Wi-fi	802.11 b/g/n/e/i
Bluetooth	4.2 BR/EDR BLE
Pines digitales GPIO	24

2.4.3 Selección del acondicionador de señal y convertidor A/D

Para la sección de acondicionamiento de la señal proveniente de la celda de carga se utilizará el módulo o circuito integrado HX711 el cual es un amplificador y convertidor analógico digital (ADC) de 24 bits diseñado para medir el peso en balanzas y aplicaciones de control industrial. Es un trasmisor entre celdas de carga y microcontroladores como Arduino/PIC/ESP.

Figura 2.13



Convertidor ADC HX711 [26]






Es necesario utilizar otros componentes secundarios que permitirán llevar a cabo el diseño completo del circuito de solución para la balanza.

Tabla 2.8

Componentes adicionales para el circuito del microcontrolador

COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN	IMAGEN
Display LCD 20x4 e Interfaz I2C	Voltaje de operación: 5V Corriente de operación: 2 mA Consumo luz de fondo: 40 mA Interfaz: 4 pines. (+5V, SDA, SCL, GND)	Interfaz de usuario	
Luces indicadoras impermeables Gebildet E738S	Voltaje nominal: DC 3V-4.5V-5V-6V- 7.5V-9V Corriente nominal: 20 mA	Interfaz de usuario	

	Potencia nominal: 0.06W.		
Interruptor	Encendido/ Apagado de la balanza.	Interfaz de usuario	
Resistencias	12K	Circuito	
Transistor	NPN 2N3904	Circuito	

2.4.4 Fuente de alimentación y cargador de batería

Para el diseño del circuito de alimentación se debe considerar el voltaje de operación de los componentes a utilizar y el tipo de red eléctrica usado en la bananera. Se conoce que la bananera trabaja con 110 V AC por lo que el voltaje alterno deberá ser rectificado y regulado para poder conectarse a la batería.

La celda de carga, las pantallas LCD, el módulo HX711 y el microcontrolador ESP32 trabajan con un voltaje de operación de 5V DC. Se decide el diseño de un circuito de alimentación y cargador batería de 12V con un regulador de voltaje lineal como el LM317 para ajustar al voltaje

de carga de la batería según sus especificaciones. Para la alimentación del circuito del microcontrolador y los demás componentes se utilizará un regulador lineal de 5V LM7805.

Es necesario que la batería a utilizar cumpla con los requisitos de voltaje y corriente del circuito del microcontrolador, y que sus dimensiones le permitan acoplarse al espacio disponible del diseño mecánico. Se escogió una batería tipo VRLA para alimentar al circuito debido a su durabilidad, resistencia a vibraciones, hermeticidad, y bajo requerimiento de mantenimiento en comparación a otras baterías del mercado.

Tabla 2.9

Consumo de corriente del circuito de balanza

Dispositivo	Consumo corriente aproximado (mA)
ESP32	500
Celda de carga	7
LCD 1	40
LCD 2	40
Luz indicador 1	20
Luz indicador 2	20
Luz indicador 3	20
Luz indicador 4	20
HX711	10

Regulador LM7805	1000
Total	1677 mA

La Tabla 2.9 muestra un aproximado del consumo de corriente del circuito de la balanza. Para la ESP32, LCDs y LM7805 se consideró los amperajes máximos correspondientes.

Las baterías VRLA trabajan con valores de voltaje estándar de 6V y 12V, considerando que el regulador de voltaje de 5V tiene una caída de voltaje típica de alrededor de 2V y considerando los valores mostrados en la tabla se tomó la decisión de implementar una batería de 12V con un amperaje de 2A y que el aproximado de horas del circuito funcionando sin la alimentación externa sea de aproximadamente 5 horas o más.

Cálculos de capacidad amperios-hora de batería

$$\text{Capacidad (Ah)} = \text{Corriente (A)} * \text{Tiempo (h)}$$

$$\text{Capacidad (Ah)} = 2 \text{ A} * 5 \text{ h}$$

$$\text{Capacidad (Ah)} = 10 \text{ Ah}$$

(2.1)

El resultado obtenido de 10 Ah de la ecuación (2.1) implica que se necesitaba una batería con una capacidad de al menos 10 Ah (amperios – hora) para poder alimentar la balanza durante 5 horas con una corriente de 2 A. Con el fin de mejorar la vida útil de la batería se seleccionó una capacidad del 20% mayor al resultado obtenido, una capacidad de 12Ah. La batería VRLA utilizada corresponde al modelo SB-12120 Sealed Lead Acid Battery. Es recomendable aplicar un

voltaje de carga de alrededor de 13.4V a 14.4V por lo que el circuito de cargador de batería se encontrará entre esas especificaciones.

Figura 2.14

Batería modelo SB-12120 [27]



Cálculos de los valores de carga

Fue necesario determinar los niveles de carga tanto del voltaje como la corriente que se suministraban a la batería durante el proceso de carga ya que estos valores escogidos dependerían la alimentación del circuito. Se seleccionó un nivel de carga de 10% tanto para el voltaje como la corriente de la batería.

$$\text{Capacidad (Ah)}_{SB-12120} = 12 \text{ Ah}$$

$$\text{Voltaje}_{SB-12120} = 12 \text{ V}$$

$$\text{Corriente de descarga}_{SB-12120} = 2 \text{ A}$$

$$\text{Nivel de carga del voltaje} = (12 * 0.10) + 12 = 13.2 V \sim 13.5V$$




$$\text{Nivel de carga del corriente} = 12 * 0.10 = 1.2 A$$



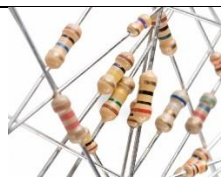


$$\text{Tiempo de carga} = 12 A \div 1.2 A = 10 h$$

Considerando los valores obtenidos en los cálculos de valores de carga, el voltaje de carga en el circuito de alimentación y cargador de batería fue de aproximadamente 13.2V con una corriente de carga de 1.2 A.

Tabla 2.10

Componentes del circuito de alimentación y cargador de batería

COMPONENTE	APLICACIÓN	IMAGEN
Transformador 110 V AC 15 V AC 2A	Circuito alimentación	
Puente rectificador de diodos 250V a 2A	Circuito alimentación	
Condensadores cerámicos	Circuito alimentación y microcontrolador	

Regulador de voltaje LM317	Circuito alimentación	
Regulador de voltaje LM7805	Circuito microcontrolador	
Resistencias	Circuito alimentación y microcontrolador	
TIP41	Circuito microcontrolador	
Leds	Circuito alimentación y microcontrolador	

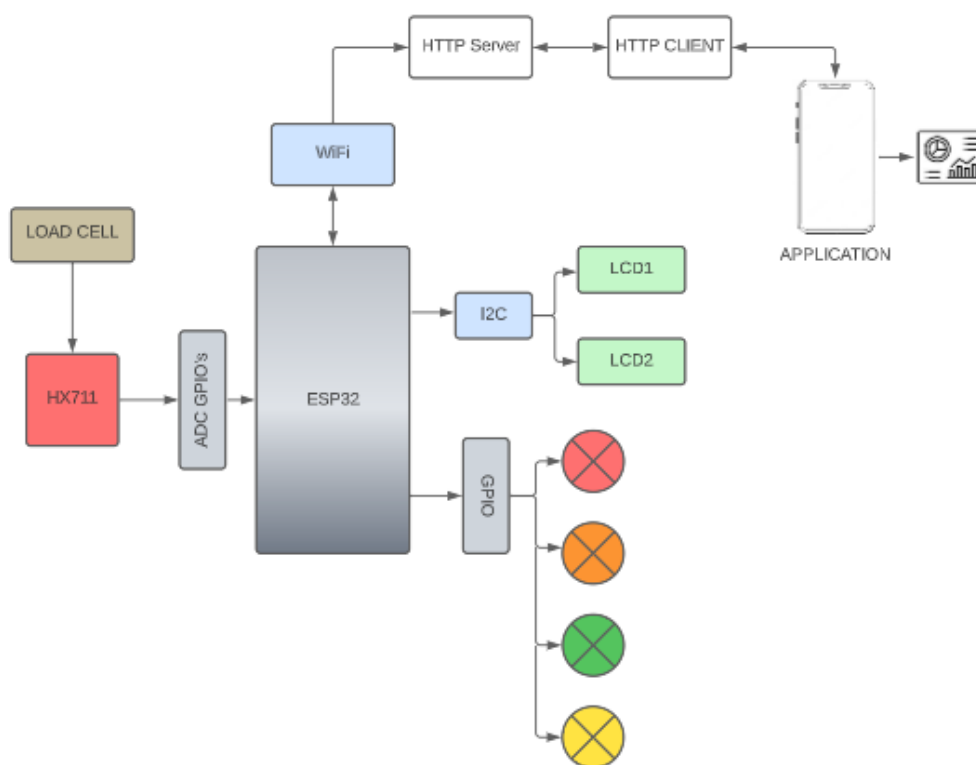
2.5 Diseño de software

Con el fin de lograr un desarrollo integral de las partes electrónica y mecánica, resulta esencial contar con un diseño de programación que pueda vincular y coordinar ambas áreas de

manera efectiva. Por consiguiente, en esta sección se exploran las distintas áreas que se tomaron en consideración para cumplir este propósito.

Figura 2.15

Diagrama de conexiones



En la Figura 2.15 se pueden observar algunos de los componentes principales como la ESP32, la cual, a través de sus pines de entrada analógica, recibe la información proveniente de su conexión con el módulo HX711. A su vez el módulo está conectado directamente a la celda de carga con la cual podemos hacer la lectura del peso. Por otro lado 4 pines GPIO deben estar

conectados hacia 4 luces pilotos, y por medio de una lógica de encendido y apagado en la programación se puede polarizar las luces piloto.

La conexión I2C desempeñará un papel fundamental al permitirnos visualizar la información obtenida de las mediciones realizadas con la celda de carga mediante pantallas LCD. Además, se cuenta con un módulo WiFi integrado en la ESP32 que se utilizará para establecer un servidor local con protocolo HTTP. Este servidor puede ser accedido desde una aplicación conectada a la misma red local, lo que permite realizar las solicitudes necesarias.

Con relación a la aplicación, esta presenta una interfaz intuitiva y de fácil manejo, manteniendo los datos simples y precisos para cualquier análisis requerido por el cliente en ese momento. Los datos son obtenidos mediante solicitudes al servidor HTTP para descargar un archivo .TXT, que posteriormente se lee y se almacena en una base de datos interna. De esta manera, se logrará mostrar la información a través de diversos paneles de control (Dashboards).

La aplicación mantendrá un formato sencillo y de fácil entendimiento para el cliente. Se mostrará únicamente los valores principales de la producción, también mostrará una sección con más información relevante y la opción a descargar un archivo .pdf o .xlsx para cualquier tipo de análisis posterior.

Esta aplicación hará uso de consultas a través del servidor http de la ESP32, por la cual descargará la información de la producción y posteriormente filtrará los datos necesarios.

Figura 2.16

Diseño inicial de la aplicación

CAPÍTULO 3

3.1 Diseño Mecánico

Para esta sección, se hará una descripción de los componentes que forman el ensamble final de la balanza electrónica. Para información más detallada en cuanto al diseño, referirse a la sección de apéndices.

Figura 3.1

Listado de componentes del diseño mecánico

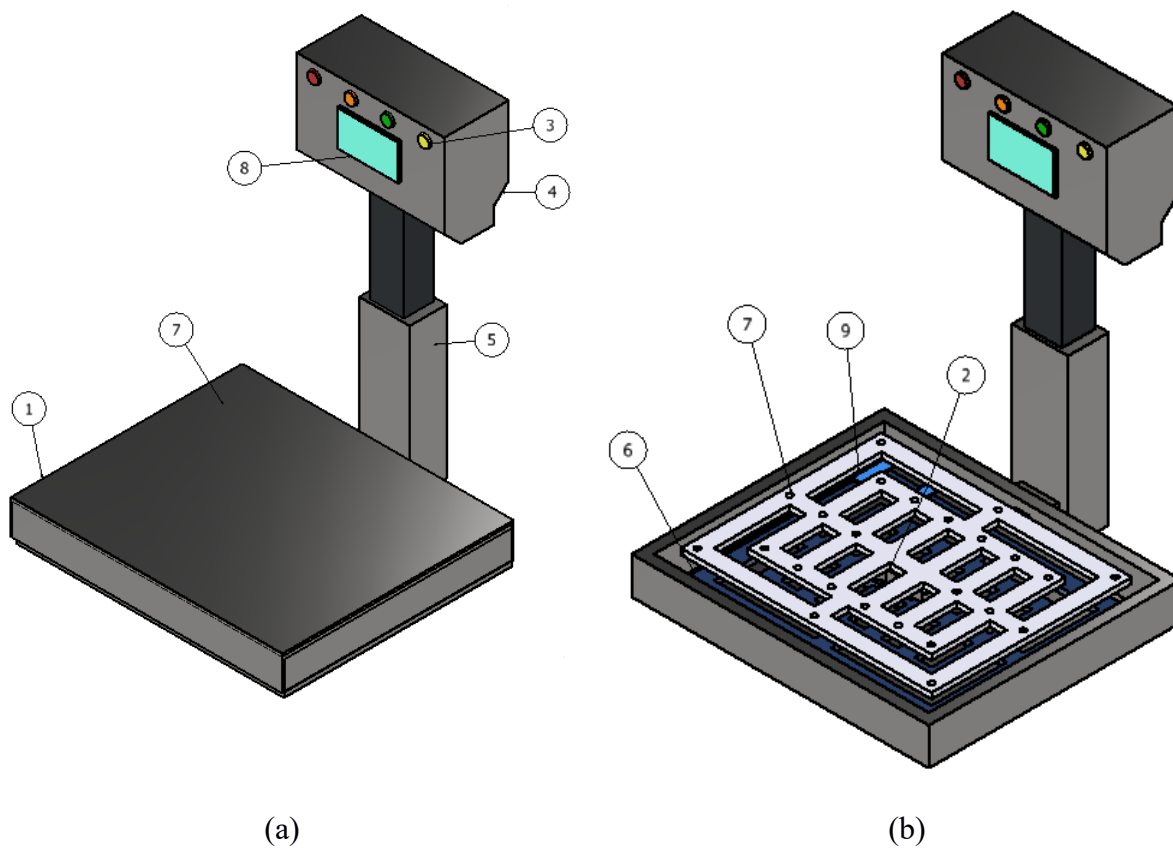


Tabla 3.1*Listado de materiales del diseño mecánico*

ID	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	1	Carcaza	Tapa Superior de la balanza, donde se coloca el producto
2	1	Celda_Carga	Celda de carga
3	4	Luz_Piloto	Luces piloto
4	1	Pantalla	Parte superior de la balanza, sirve de soporte de LCD, luces piloto y electrónica interna
5	1	Soporte_Base	Base de la balanza
6	1	Parrilla_Inferior	Parrilla inferior para distribuir la fuerza en un solo punto
7	1	Parrilla_Superior	Parrilla superior para distribuir la fuerza en un solo punto
8	2	LCD	Pantalla LCD
9	2	Soporte_Placa	Pieza de soporte para la placa PCB

3.1.1 Análisis de esfuerzo

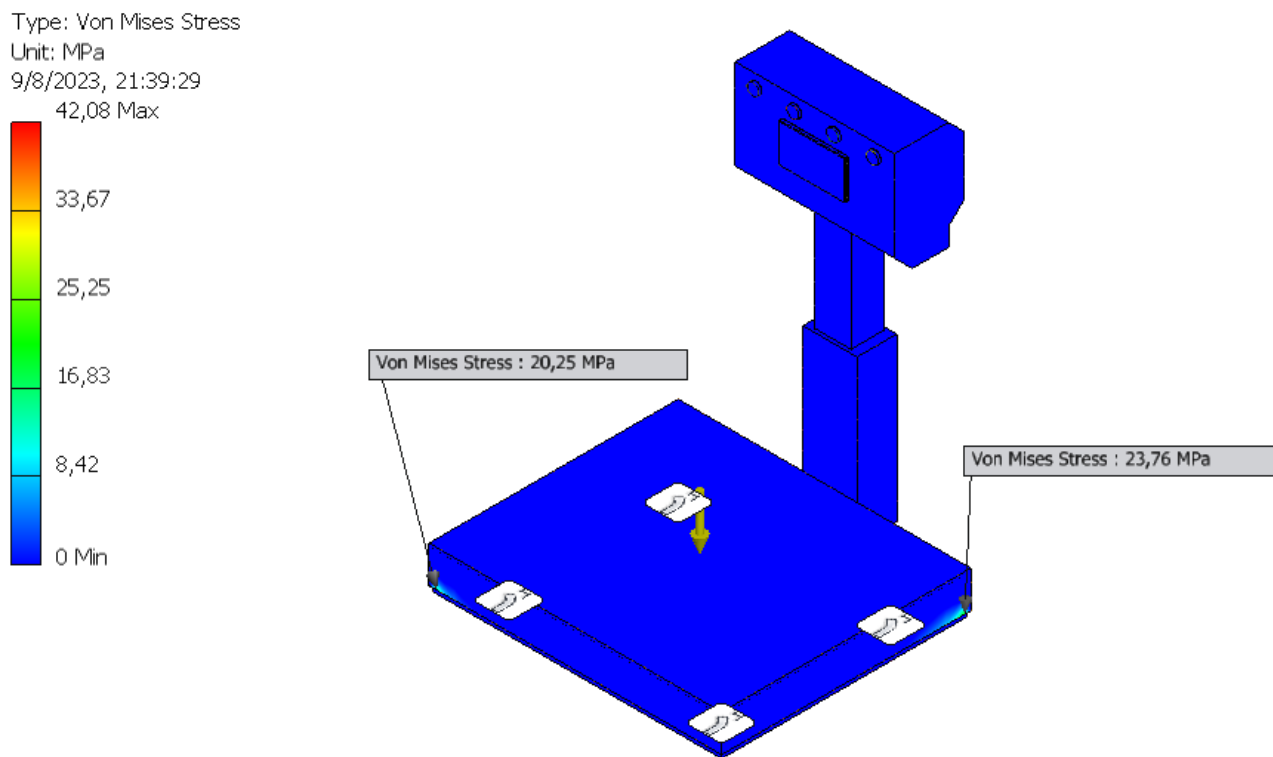
Dado que es un diseño mecánico que estará expuesto a constantes cargas es necesario realizar un análisis de esfuerzo para conocer los puntos de mayor inflexión, esfuerzo u estiramientos y ajustar el diseño para reducir los mismos. Se partieron de varias asunciones como

la selección de una carga de 30 kg en el punto central de la balanza, los 4 soportes inferiores son tomados como restricciones fijas y el acero en la simulación es el acero AISI 304L.

Una vez ejecutado el análisis de esfuerzos, se encontraron los puntos donde existe mayor concentración de esfuerzos mostrados en la Figura 3.2.

Figura 3.2

Análisis de esfuerzos



Los datos presentados revelan las áreas de máxima concentración de esfuerzo, con un pico de 23.76 MPa. Sin embargo, la magnitud de este valor, que queda por debajo del esfuerzo máximo posible de 564 MPa, resulta insignificante gracias a la elección del acero inoxidable como material

principal. Este componente metálico seleccionado desempeña un papel crucial, ya que su robustez contrarresta cualquier efecto de inflexión en la balanza.

Figura 3.3

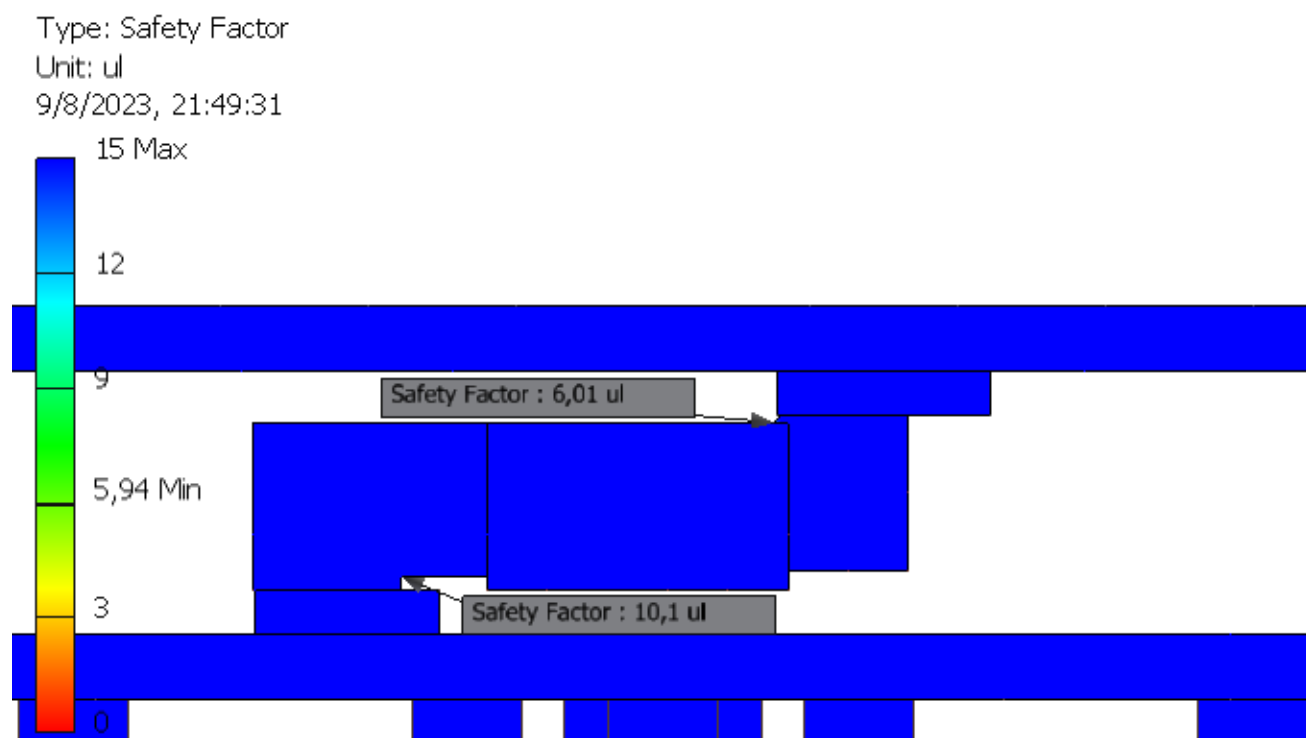
Esfuerzo máximo en la celda de carga



En la Figura 3.3 se pueden observar los puntos de mayor inflexión generados en la celda de carga, estos puntos son congruentes con los puntos de soporte de la celda y aunque ambos puntos son insignificantes, se puede concluir que la estructura de la celda de carga está siendo afectada correctamente con la carga de 30 kg. Por otro lado, el factor de seguridad es bastante alto para este tipo de uso como se puede ver en la Figura 3.4 con un valor mínimo de 6, por lo que se puede asegurar el uso constante del mecanismo.

Figura 3.4

Factor de seguridad del mecanismo



3.2 Diseño electrónico

3.2.1 Circuito electrónico de la balanza

Figura 3.5

Diagrama esquemático circuito de alimentación

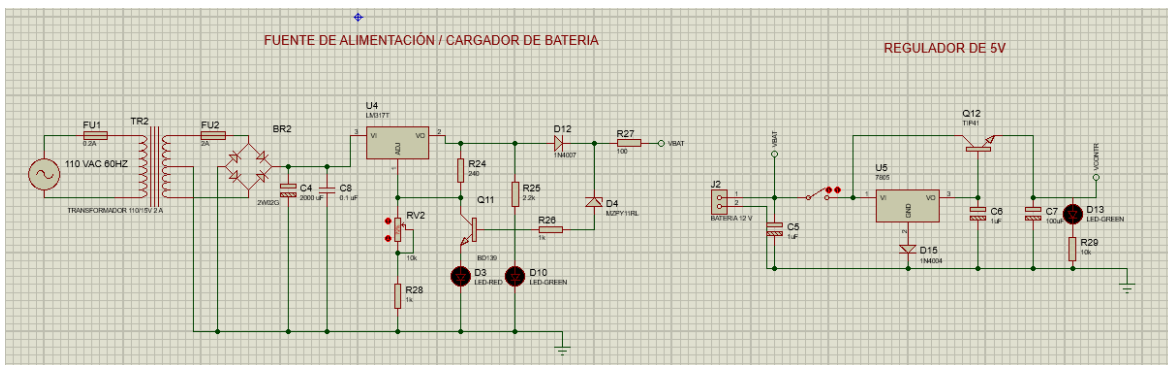
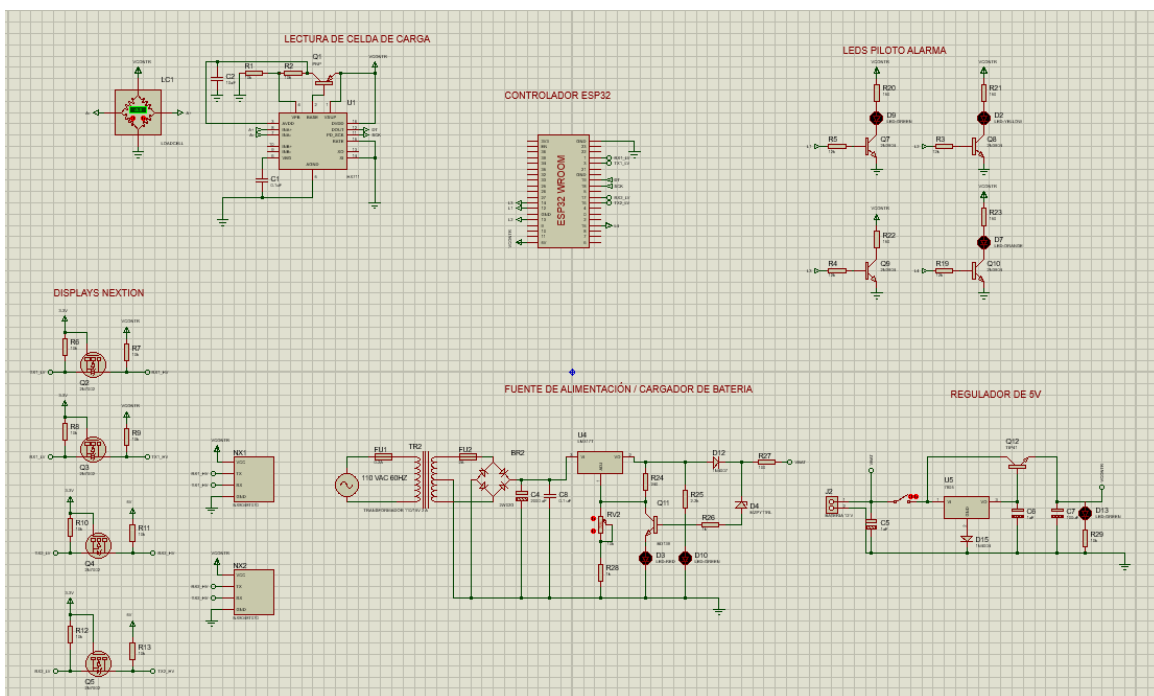


Figura 3.6

Diagrama esquemático circuito completo de la balanza



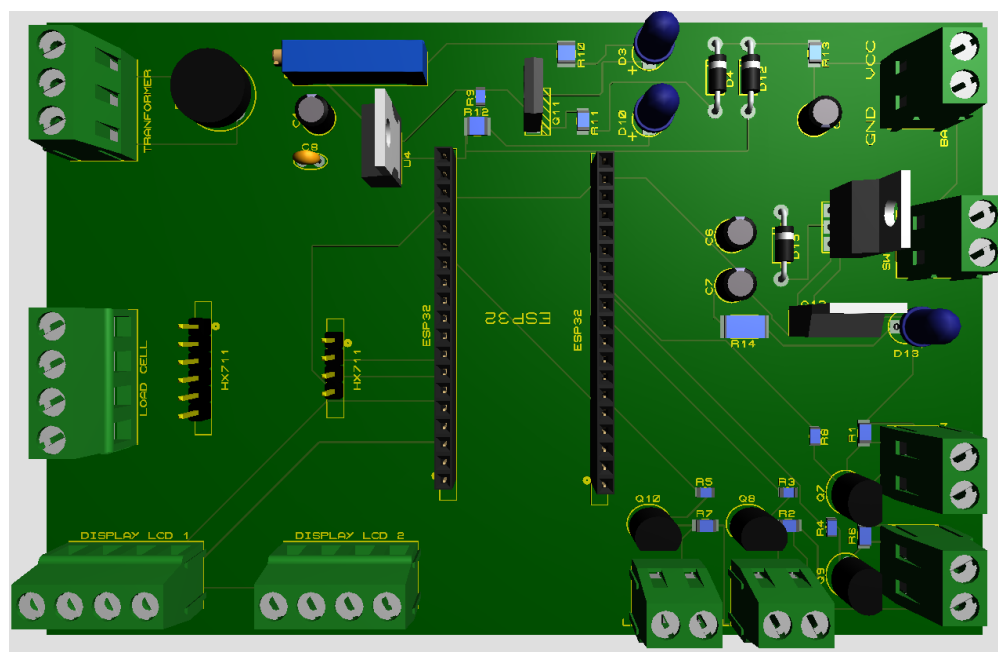
En la Figura 3.5 y Figura 3.6 se pueden observar los diagramas esquemáticos del circuito de alimentación y cargador de batería, y el circuito del microcontrolador, respectivamente.

3.2.2 Placa PCB del circuito de la balanza

A partir del diagrama esquemático final del circuito de la balanza se realizó el diseño de la PCB, en esta se puede observar que se incluyeron la mayoría de los componentes eléctricos presentes en las Tabla 2.8 y Tabla 2.10 excluyendo aquellos componentes con cableado y componentes montables. Para las conexiones con cableado como el transformador, celda de carga, LCDs, batería, luces piloto e interruptor, se colocaron borneras de tornillo para ajustar los cables a la placa. Para los componentes montables como el microcontrolador ESP32, módulos HX711 y LCDs, se colocaron borneras para agregar estos periféricos.

Figura 3.7

Diseño 3D placa PCB del circuito de balanza electrónica



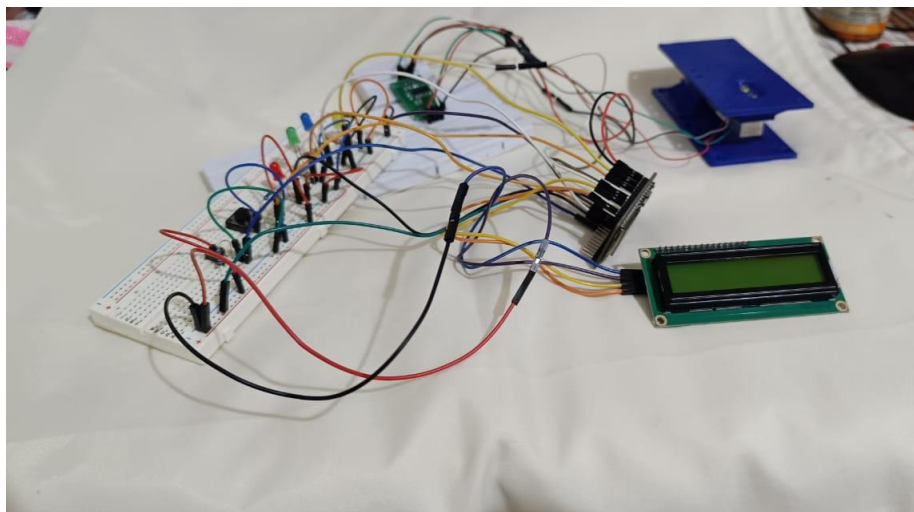
3.2.3 Simulación electrónica

Para esta sección se realizó una simulación a pequeña escala de la balanza electrónica, partiendo de elementos similares o iguales a los necesarios y otros que servirán como reemplazo de los materiales, pero nos permitirán tener el mismo alcance de la simulación.

En la Figura 3.8 se pueden observar los distintos componentes utilizados en la simulación, entre los cuales se tienen: Microcontrolador ESP32, Pantalla LCD, celda de carga de 5 kg, convertidor ADC HX711, leds, entre otros. Estos componentes básicos nos permitirán realizar la operación esperada del comportamiento de la balanza electrónica a menor escala.

Figura 3.8

Materiales usados para simulación electrónica



En la Figura 3.9 se tiene la configuración inicial del proceso, donde los Leds no están encendidos y la lectura del peso es 0 debido a que el plano de la celda de carga no tiene ningún peso sobre él, en la Figura 3.10 se puede observar la primera etapa del pesado, donde con un peso

mínimo se encenderá los leds (Luces piloto) necesarios de acuerdo con las condiciones establecidas.

Figura 3.9

Inicio de la simulación

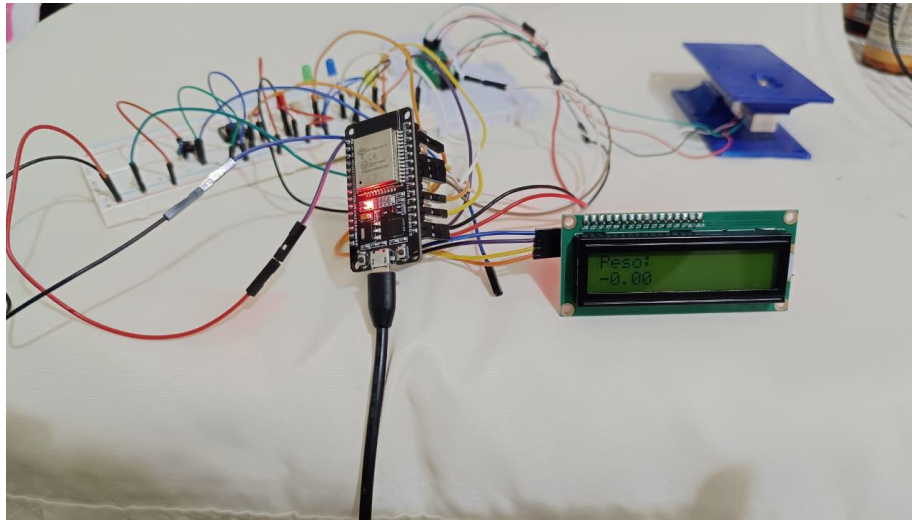
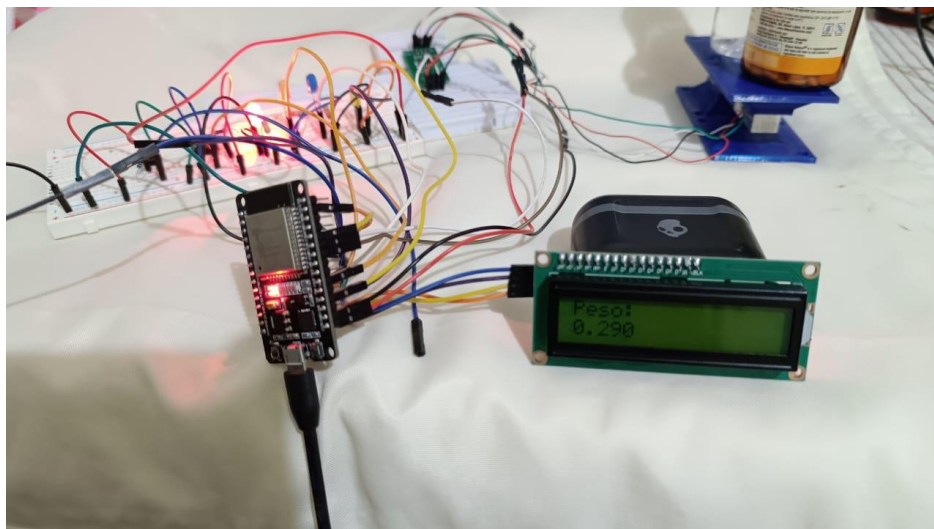


Figura 3.10

Primera etapa del pesado



Para el final de la etapa de pesado se encenderá un led indicador (verde) y se mostrará por pantalla el envío de los datos, tal como se puede ver en la Figura 3.6 Diagrama esquemático circuito completo de la *balanza*. Finalmente, los estados de los leds indicadores cambiarán y se realizara el guardado automático de la información en el almacenamiento interno del microcontrolador, véase Figura 3.12.

Figura 3.11

Peso en el rango correcto

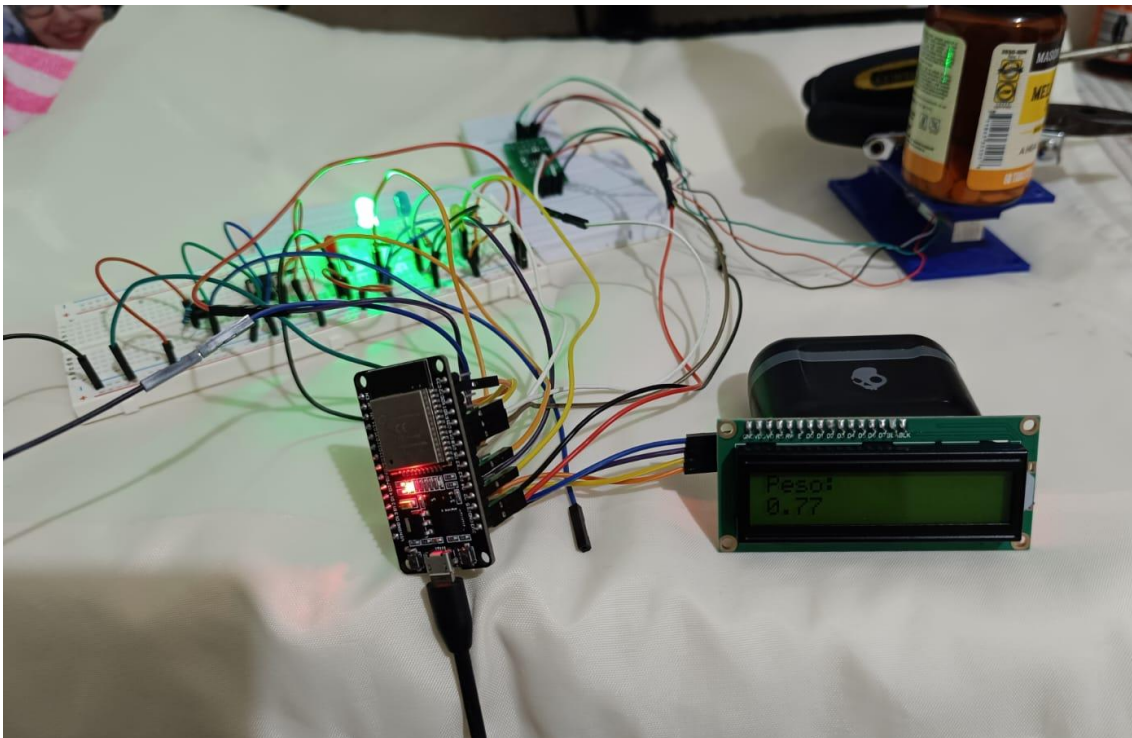
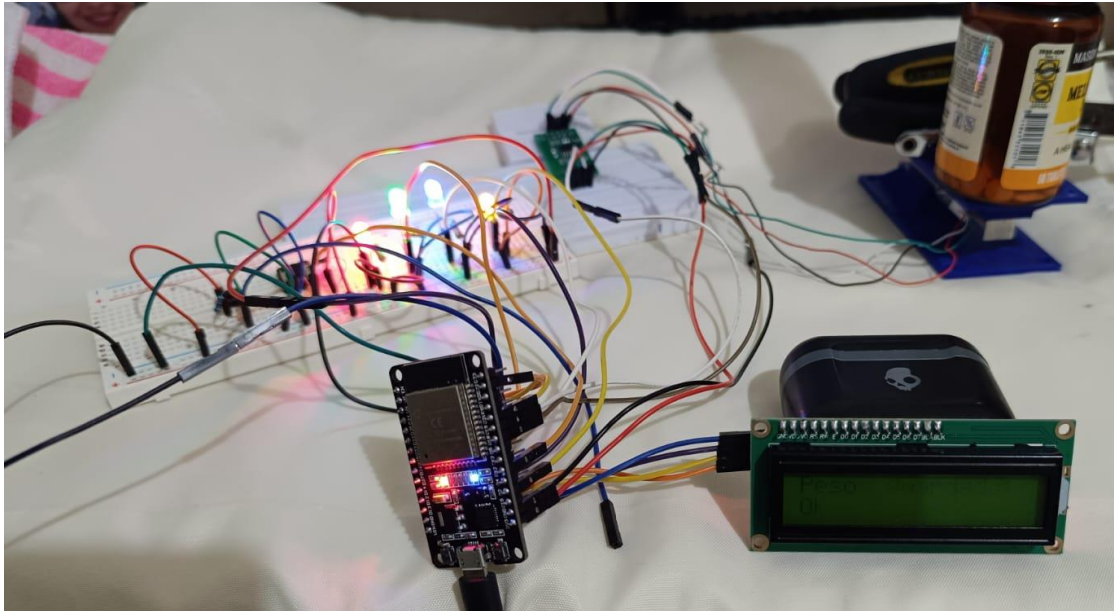


Figura 3.12

Guardado de datos en memoria SPIFFS



3.3 Diseño de software

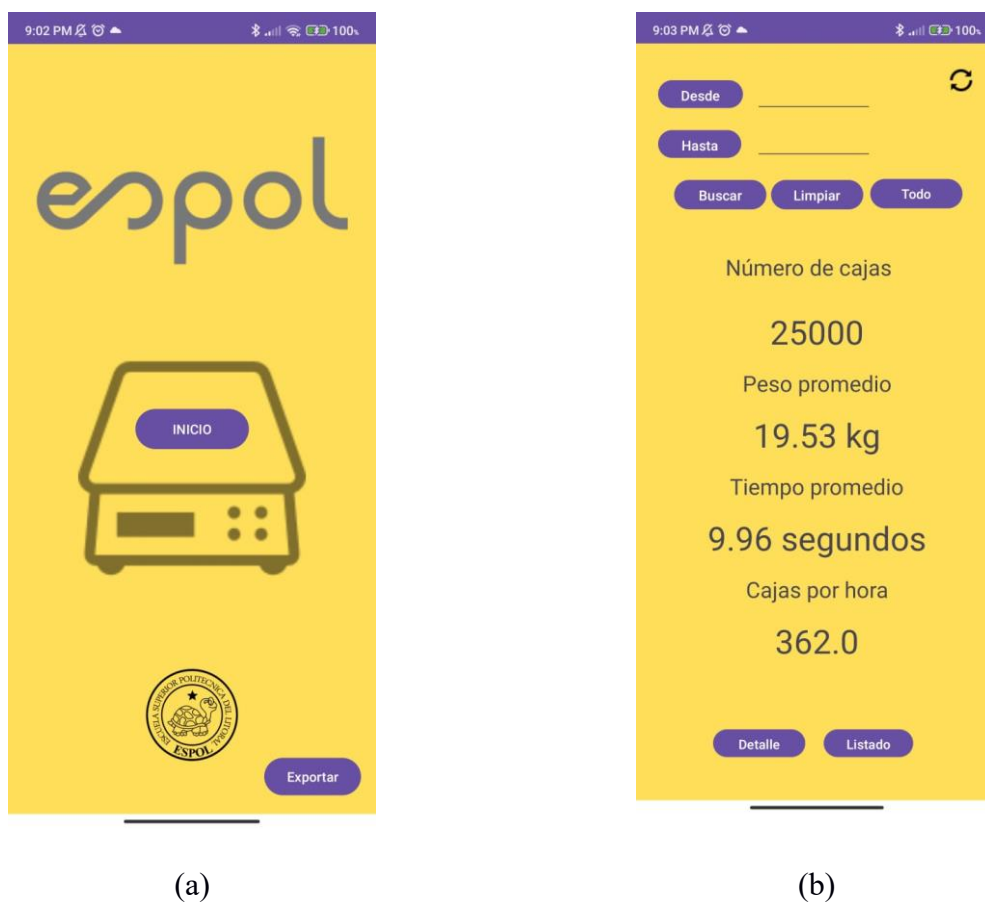
Para el diseño de software se optó por realizar una programación de etapas, en las que se tuvieron en cuenta establecer la conexión con el microcontrolador, recibir datos por medio de un protocolo específico, tratado de datos y presentación en la interfaz. En el caso del microcontrolador se siguió el diagrama de proceso de la Figura 2.10.

3.3.1 Simulación de la aplicación

Para esta sección se describirá la aplicación y programación realizada mostrando las distintas pantallas de interfaz de usuario que fueron elaboradas, se describirán sus componentes y sus principales funciones.

Figura 3.13

(a) Vista principal (b) Vista de datos

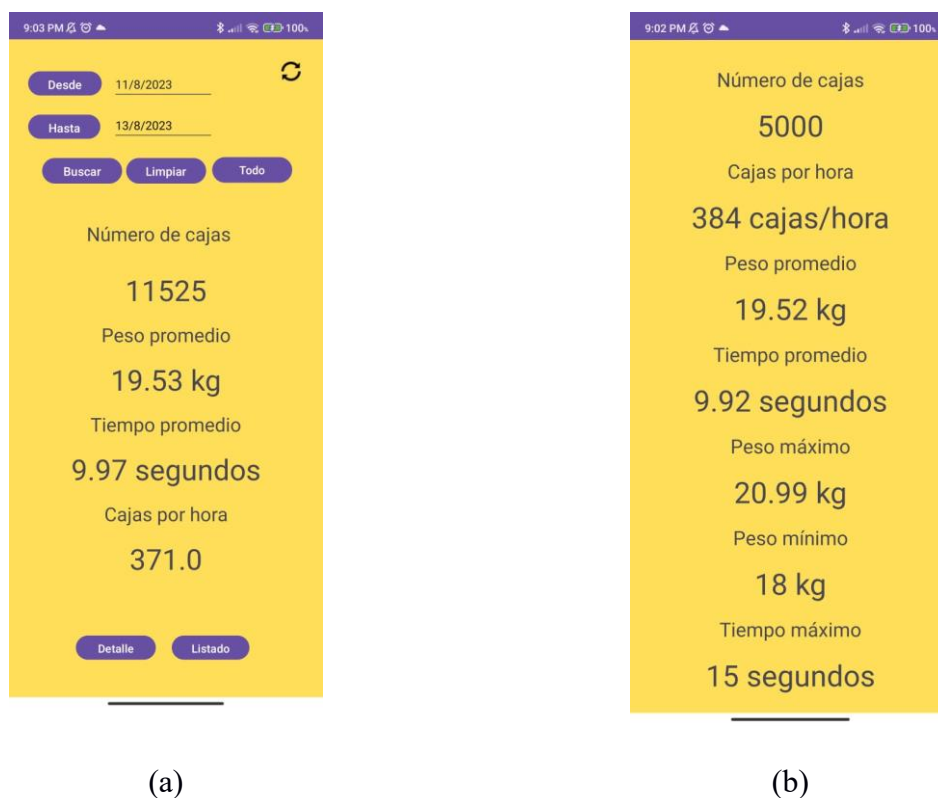


En la Figura 3.13(a) se puede observar la pantalla inicial de la aplicación, en la cual tiene los elementos sencillos y descriptivos, entre los cuales están los logos de la ESPOL, y botones de acción como “Iniciar” y “Exportar”, el primer botón nos llevará a una nueva vista que nos mostrará los datos y el segundo realizará un respaldo en forma de documento descargable para almacenar los datos. En la Figura 3.13(b) se tiene la vista de datos, la cual contiene los valores o datos de mayor interés para el cliente, entre ellos se encuentran los valores promedios y números totales, estos datos pueden ser actualizados por medio del botón superior derecho circular de la Figura

3.13(b). Por otro lado, en la Figura 3.14(a) se tiene una pequeña sección para realizar una búsqueda en base a fechas y mostrar los datos correspondientes a esta búsqueda, a su vez cuenta con un botón para mostrar mayor detalle del resultado obtenido, tal como se puede ver en la Figura 3.14 (b).

Figura 3.14

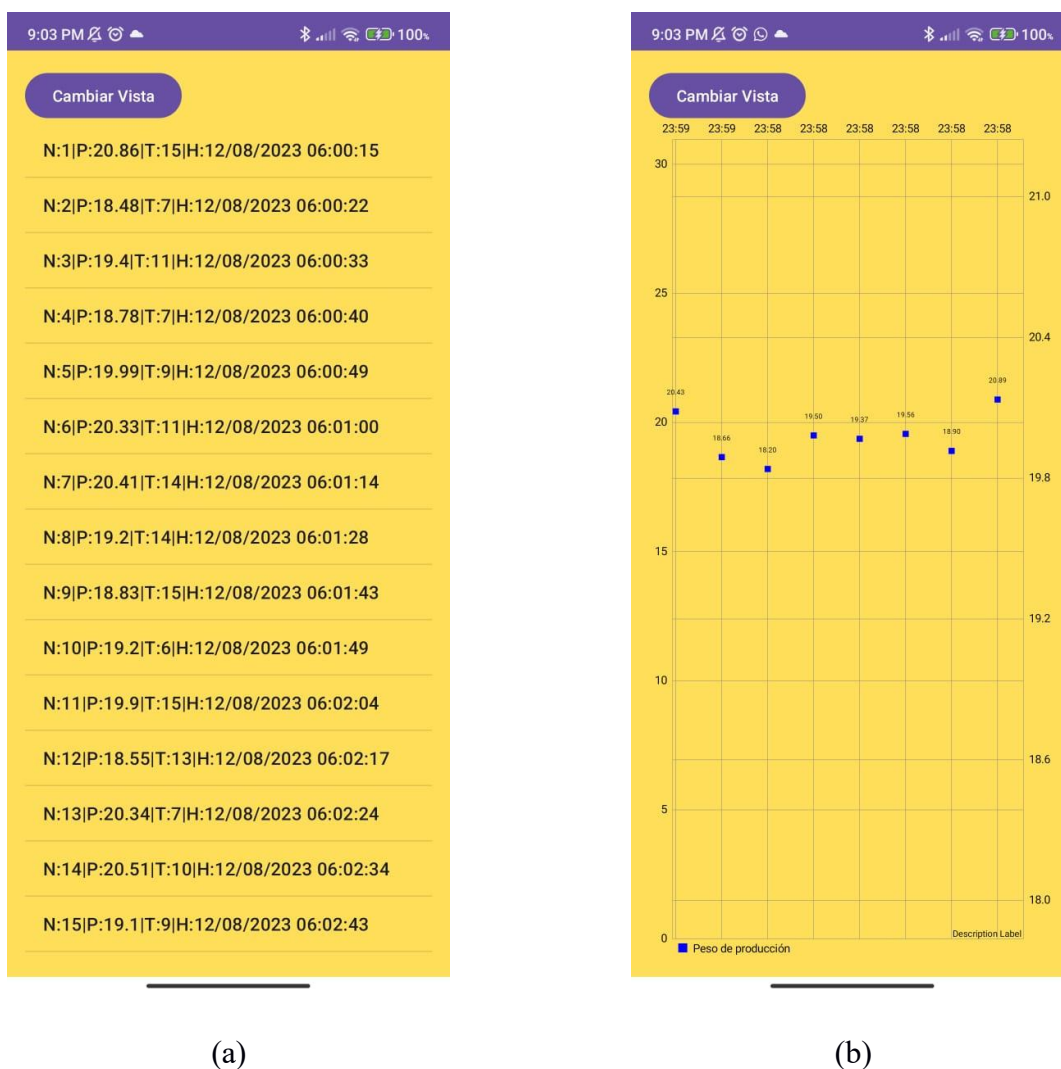
(a) Vista de datos con búsqueda (b) Vista de detalles



En la Figura 3.14(b) se muestran valores más detallados sobre la producción total medida en los intervalos de fecha seleccionados, en caso de que no exista selección, se mostrará la última fecha de producción, entre los valores mostrados, se encuentran los máximos y mínimos, producciones totales y promedios (Se mantuvieron los datos básicos dado el gusto del cliente).

Figura 3.15

(a) Vista Listado 1 (b) Vista Listado 2



En la Figura 3.15(a) se muestra una lista de las capturas realizada por la balanza y se accede a través del botón “Listado” que se encuentra en la anterior vista, ver la Figura 3.14(a). Por otro lado, también se puede cambiar la forma en que se observa el listado a un gráfico a través del tiempo que muestra la varianza del peso a lo largo del día, como se puede observar en la Figura 3.15(b).

Finalmente se colocaron validaciones básicas para evitar cualquier anomalía en la aplicación, como las descritas a continuación:

- Mostrar los datos encontrados en la base de datos interna del dispositivo de forma inicial.
- En caso de no tener datos, realizar una actualización de la información a través de la petición HTTP a la balanza.
- En caso de que no se pueda establecer una conexión directa con el microcontrolador se muestra un mensaje al cliente indicando esta novedad.
- Validaciones internas sobre la estructura de los datos a manipular.

3.4 Análisis de costos

En esta sección se procederá a detallar el costo total para el diseño de la balanza electrónica considerando los rubros claves relacionados con los componentes, materiales y recursos necesarios para la fabricación de la balanza. Se presentarán los costos totales de forma desglosada individualmente según el tipo de rubro correspondiente.

3.4.1 Costos de diseño mecánico

En este rubro se presentan los costos del diseño mecánico considerando la fabricación del diseño de la balanza, materiales a utilizar y la mano de obra requerida.

Tabla 3.2

Costos de diseño mecánico

Componentes mecánicos			
Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Plancha acero inoxidable AISI 304L	1		\$ 150.00
Tubo de perfil rectangular 6 metros	1	\$ 15.00	\$ 15.00
Patas regulables	4	\$ 1.25	\$ 5.00
Mano de obra			\$ 50.00
TOTAL			\$ 220.00

3.4.2 Costos de diseño electrónico

En este tipo de rubro se presentan los costos relacionados con los componentes electrónicos del circuito de la balanza.

Tabla 3.3

Costos de diseño electrónico

Componentes electrónicos				
Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
Pantalla LCD 20X4 e Interfaz I2C	2	\$ 13.49	\$	26.98
Microcontrolador ESP32	1	\$ 12.99	\$	12.99
Batería SB-12120	1	\$ 33.00	\$	33.00
Celda de carga B6N-C3-50kg-1B6	1	\$ 168.00	\$	168.00
Módulo HX711	1	\$ 1.99	\$	1.99
Módulo convertidor de voltaje	1	\$ 2.99	\$	2.99
Gebildet Lampara impermeable 5V	4	\$ 8.99	\$	35.96
Regulador de voltaje LM7805	1	\$ 0.53	\$	0.53
Regulador de voltaje LM317	1	\$ 0.64	\$	0.64
Fusible de vidrio cristal 2A 250V	1	\$ 0.10	\$	0.10
Fusible de vidrio cristal 0.2A 250V	1	\$ 0.10	\$	0.10
Puente rectificador 2A 250V	1	\$ 0.75	\$	0.75
Condensador electrolítico 470uF	1	\$ 0.10	\$	0.10

Condensador cerámico 0.1uF	1	\$	0.10	\$	0.10
Potenciómetro 10K	1	\$	0.53	\$	0.53
Resistencia 1K	2	\$	0.05	\$	0.10
Resistencia 240	1	\$	0.05	\$	0.05
Transistor BD139	1	\$	0.10	\$	0.10
Diodo LED 3mm	3	\$	0.09	\$	0.27
Diodo Zener 11V 1W	1	\$	0.30	\$	0.30
Diodo 1N4007	1	\$	0.10	\$	0.10
Resistencia 2.2K	1	\$	0.05	\$	0.05
Resistencia 100 Ohm	1	\$	0.05	\$	0.05
Interruptor ON/OFF 3A 250V	1	\$	0.50	\$	0.50
Placa PCB	1	\$	15.00	\$	15.00
Transformador 110VAC/15V 2A	1	\$	16.99	\$	16.99
TOTAL				\$	318.27

3.4.3 Costo total de fabricación de la balanza electrónica

A partir de los costos obtenidos en los rubros del proceso de diseño mecánico y diseño electrónico se procedió a obtener el costo total de la producción individual de la balanza electrónica resultante. Adicionalmente se incluye a estos costos el costo de diseño ingenieril el cual se encarga del desarrollo técnico del diseño final de la balanza, incluyendo los procesos de análisis, modelado, prototipado y programación de software del microcontrolador.

Tabla 3.4*Costos totales de la fabricación de balanza electrónica*

Fabricación balanza electrónica		
Diseño mecánico	\$	220.00
Diseño electrónico	\$	318.27
Diseño de software	\$	100.00
TOTAL	\$	638.27

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones y Recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- Se realizó el diseño mecánico de la balanza tomando en consideración distintos factores como los esfuerzos por cargas constantes en la plataforma y en la celda de carga, la disponibilidad de los materiales en el mercado ecuatoriano como la selección de la plancha de acero inoxidable AISI 304L, y las condiciones ambientales a las que se encontrará expuesta la balanza.
- Se realizó el diseño electrónico de la balanza seleccionando el microcontrolador ESP32 y la celda de carga B6N como sensor de peso y al módulo HX711 como convertidor ADC para la lectura de la medición de la celda. Al circuito final se le añadió una batería recargable que fue capaz de convertir a la balanza en un dispositivo portátil con un circuito de alimentación y cargador de batería interno.
- Se realizó una simulación de la lectura de celda de carga demostrando la capacidad del diseño de una balanza electrónica utilizando una ESP32, su memoria como SPIFFS y protocolo HTML validando y obteniendo un tiempo de estabilización inferior a 2 segundos mostrando que es viable para su implementación.

- Se observó que la combinación del display LCD y luces LEDs como interfaz visual para el operador mejora significativamente la experiencia del usuario. El LCD proporciona información detallada del peso, mientras que las luces LEDs brindan una retroalimentación visual rápida y clara sobre el estado del proceso de pesaje.
- Se destacó la capacidad del microcontrolador ESP32 para actuar como un punto de acceso Wi-Fi y comunicarse directamente con una aplicación en un dispositivo móvil permitiendo obtener datos instantáneos de la producción según se requiera en un ambiente donde se requiere una conexión local sin acceso a internet.

4.1.2 Recomendaciones

- Es recomendable implementar protocolos de seguridad más avanzados para evitar el acceso no deseado a la información de la producción tales como el uso de protocolos seguros (HTTPS) y la protección de la red Wi-Fi con contraseñas sólidas.
- Con los datos obtenidos se recomienda realizar análisis de tendencias, variabilidad de datos, rendimiento y uso de recursos más profundos obteniendo una vista más específica del proceso productivo en la bananera con sus fortalezas y debilidades.

- Se recomienda realizar pruebas para identificar fallos o cuellos de botellas como proponer escenarios críticos, variar las condiciones de entrada, o abarcar todo el ciclo de producción y comprobar su funcionamiento, posteriormente realizar mejoras a través de la retroalimentación de dichas pruebas.
- Antes de realizar la implementación física de la placa PCB es recomendable realizar una simulación en una placa de pruebas Protoboard con el fin de poder probar el circuito realizado sin necesidad de soldar todos los componentes y exponerlos a posibles daños por soldadura o mal uso de estos.
- Es recomendable un mantenimiento periódico a la implementación final de la balanza con el fin de evitar posibles daños en los componentes del circuito, así como evitar acortar la vida de la batería seleccionada y la obtención de errores en la medición del peso debido a la descalibración de la celda de carga.

REFERENCIAS

- [1] J. J. Prado *et al.*, “Informe Mensual Del Boletín De Cifras”, *Boletín de Cifras*, dic. 2022, [En línea]. Disponible en: www.produccion.gob.ec
- [2] Corporación Financiera Nacional, “Ficha Sectorial Banano Y Plátano Subgerencia De Análisis De Productos Y Servicios”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Banano.pdf>
- [3] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Acuerdo Ministerial NO.103”, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu201720.pdf>
- [4] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Acuerdo Ministerial NO.125”, 2023. [En línea]. Disponible en: https://uqa.com.ec/wp-content/uploads/2022/12/Acuerdo-Ministerial-125-2022.pdf?fbclid=IwAR15PuJO9gaDbsQcvgVkVz_ICifVMNqbx343yydOR1pkZGmFobg wjFWwiTI
- [5] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Acuerdo Ministerial NO.057”, 2021. <https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/057-2021oct.pdf>
- [6] Ministerio de comercio exterior, “Informe sector bananero Ecuatoriano”, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-español-04dic17.pdf>
- [7] M. Alexander *et al.*, “Análisis De La Participación Del Banano En Las Exportaciones Agropecuarias Del Ecuador Periodo 2015-2019”, 2021, [En línea]. Disponible en:

<https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/379#:~:text=Los%20resultados%20demuestran%20que%20su,la%20pobreza%20de%20este%20sector.>

- [8] Instituto de Estudios Ecuatorianos, “Estado Del Banano En Ecuador: Acumulación, Desigualdad Y Derechos Laborales”, 2022, Consultado: el 14 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/quito/19562-20220927.pdf>
- [9] Banco Central del Ecuador, “Balanza De Pagos Del Ecuador”, 2021. <https://www.bce.fin.ec/boletines-de-prensa-archivo/cuenta-corriente-2020-registro-un-resultado-positivo-de-usd-2-473-6-millones> (consultado el 14 de abril de 2023).
- [10] Observatorio de Complejidad Económica (OEC), “Ecuador (ECU) Exports, Imports, and Trade Partners | OEC - The Observatory of Economic Complexity”, 2023. <https://oec.world/en/profile/country/ecu> (consultado el 9 de junio de 2023).
- [11] El Comercio, “Precio de Caja de Banano 2019”, 2018. <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/caja-banano-precio-exportacion-productores.html> (consultado el 9 de junio de 2023).
- [12] A. G. Herrera Freire, A. H. Herrera Freire, G. J. Chávez Cruz, A. G. Herrera Freire, A. H. Herrera Freire, y G. J. Chávez Cruz, “Precio de Caja de Banano 2020”, *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 13, núm. 3, pp. 100–109, 2021, Consultado: el 9 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000300100&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- [13] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Precio de Caja de Banano 2021”, 2020. <https://www.agricultura.gob.ec/ministerio-de-agricultura-y-ganaderia-establece-el-precio-minimo-de-sustentacion-del-banano-en-6-25-para-2022/> (consultado el 9 de junio de 2023).
- [14] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Precio de Caja de Banano 2022”, 2021. <https://www.agricultura.gob.ec/ministerio-de-agricultura-y-ganaderia-establece-el-precio-minimo-de-sustentacion-del-banano-en-6-25-para-2022/> (consultado el 9 de junio de 2023).
- [15] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Precio de Caja de Banano 2023”, 2022. <https://www.agricultura.gob.ec/por-primera-vez-productores-y-exportadores-acuerdan-precio-de-la-caja-de-banano-2/> (consultado el 9 de junio de 2023).
- [16] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Reglamento A La Ley Para Estimular Y Controlar La Producción Y comercialización Del Banano, plátano”, 2003. [En línea]. Disponible en: www.lexis.com.ec
- [17] Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador, “Reporte Estadístico Febrero 2023”, 2023. Consultado: el 14 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: https://f4cd675b-3f71-47d5-8daa-725c5f8789e5.usrfiles.com/ugd/f4cd67_865ecdb5bae44254b2d98af6b5923a83.pdf
- [18] Ing. Otero Valladares Patricia, “Diseño y construcción de una balanza electrónica con una interfaz gráfica para visualización”, 2007. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11835>

- [19] J. Alejandro, A. Palacio, J. Benjamín, D. Duarte, N. Q. Peña, y E. Parra Orduz, “Prototipo De Balanza Electrónica Con Comunicación Al Pc, Aplicada A La Realización De Gráficos De Control”, 2004. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6299746>
- [20] “Celdas de carga: Guía de funcionamiento”. <https://www.flintec.com/co/sensores-de-peso/celdas-de-carga/what-is-a-load-cell-and-how-does-it-work> (consultado el 14 de junio de 2023).
- [21] M. Sowmiya y S. Prabavathi, “Smarte Agriculture Using Iot and Cloud Computing”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v7i6s3/F1049376S19.pdf>
- [22] “Model DSX-3 DSX-6 DSX-15 DSX-30”.
- [23] Zemic Europe, “Ficha Técnica Celda de Carga Tipo B6N”, 2023, Consultado: el 14 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/B6N_Datasheet.pdf
- [24] D. Métrologie Légale, “ORGANISATION INTERNATIONALE Edition 2000 (E) ERRATUM: INTERNATIONAL RECOMMENDATION Metrological regulation for load cells”.
- [25] “ESP32-DevKitC V4 Getting Started Guide - ESP32 - — ESP-IDF Programming Guide latest documentation”. <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html> (consultado el 20 de julio de 2023).

- [26] “Módulo HX711 Transmisor de celda de carga”. <https://naylampmechatronics.com/fuerza-peso/147-modulo-hx711-transmisor-de-celda-de-carga.html> (consultado el 20 de julio de 2023).
- [27] “Velasco | Sonido y Electrónica - BATERÍA SECA 12V-12A”. <http://www.velasco.com.ec/velasco/producto.php?id=1190> (consultado el 16 de agosto de 2023).

APÉNDICES

APÉNDICE A

Potencia requerida de componentes seleccionados

A partir de los componentes electrónicos seleccionados, se realizan los cálculos de potencia. Estos valores son indispensables para el diseño del circuito de alimentación ya que es necesario saber la potencia que disipan los componentes del circuito para la selección una batería con una potencia nominal igual o mayor que el total resultante.

Fórmula de potencia en corriente continua

$$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

Celda de carga

$$V_{celda} = 5 V$$

$$R_{entrada} = 384 \Omega$$

$$R_{salida} = 350 \Omega$$

$$P_{celda} = \frac{V_{celda}^2}{R_{salida} + R_{entrada}} = \frac{5^2}{350 + 384}$$

$$P_{celda} = 0.034Watts$$

ESP32- DevKit V1

$$V_{esp32} = 5 V$$

$$I_{esp32} = 500 \text{ mA}$$

$$P_{esp32} = V_{esp32} I_{esp32} = 12 * 0.50$$

$$P_{esp32} = 2.5 \text{ Watts}$$

Display LCD 1

$$V_{LCD1} = 5 \text{ V}$$

$$I_{LCD1} = 40 \text{ mA}$$

$$P_{LCD1} = V_{LCD1} I_{LCD1} = 5 * 0.04$$

$$P_{LCD1} = 0.2 \text{ Watts}$$

Display LCD 2

$$V_{LCD2} = 5 \text{ V}$$

$$I_{LCD2} = 40 \text{ mA}$$

$$P_{LCD2} = V_{LCD2} I_{LCD2} = 5 * 0.04$$

$$P_{LCD2} = 0.2 \text{ Watts}$$

Módulo HX711

$$V_{HX711} = 5 \text{ V}$$

$$I_{HX711} = 10 \text{ mA}$$

$$P_{HX711} = V_{HX711} I_{HX711} = 5 * 0.01$$

$$P_{HX711} = 0.05 \text{ Watts}$$

Regulador LM7805

$$V_{entrada} = 12 \text{ V}$$

$$V_{salida} = 5 \text{ V}$$

$$I_{LM7805} = 1 \text{ A}$$

$$P_{LM7805} = (V_{entrada} - V_{salida}) * I_{LM7805} = 7 * 1$$

$$P_{LM7805} = 7 \text{ Watts}$$

Potencia total del circuito de la celda de carga

$$P_{Total} = P_{celda} + P_{esp32} + P_{LCD1} + P_{LCD2} + P_{LED1} + P_{LED2} + P_{LED3} + P_{LED4} + P_{HX711} \\ + P_{LM7805}$$

$$P_{Total} = 0.034 + 2.5 + 0.2 + 0.2 + 0.06 + 0.06 + 0.06 + 0.06 + 0.05 + 7 \text{ Watts}$$

$$P_{Total} = 10.22 \text{ Watts}$$

A partir del valor de Potencia total se puede conocer que el circuito de la celda de carga consume 10.22 Watts de energía.

Corriente requerida para el circuito de los componentes seleccionados

Una vez obtenido el valor de potencia total del circuito al que va a alimentar la batería de 12V es necesario la corriente requerida de los componentes considerando que de los 10.22 Watts resultantes, el regulador LM7805 es alimentado por 12V y consume 7 Watts mientras que el resto de los componentes es alimentado por 5V y consumen 3.22 Watts.

Ecuación de corriente directa

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I_{total} = \frac{P_{total}}{V_{total}}$$

$$I_{total} = \frac{7 W}{12 V} + \frac{3.22 W}{5 V}$$

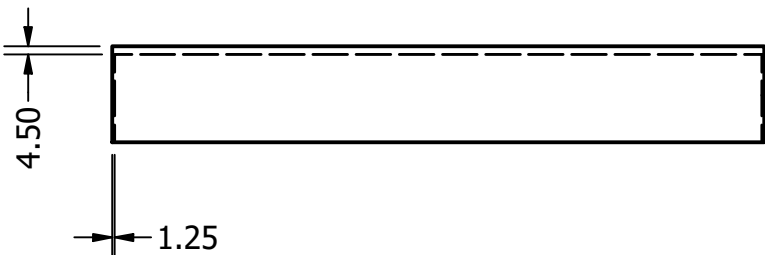
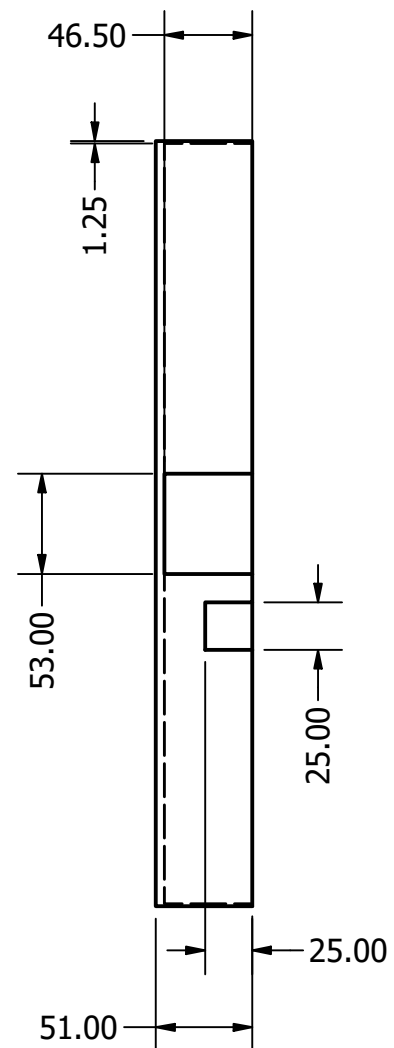
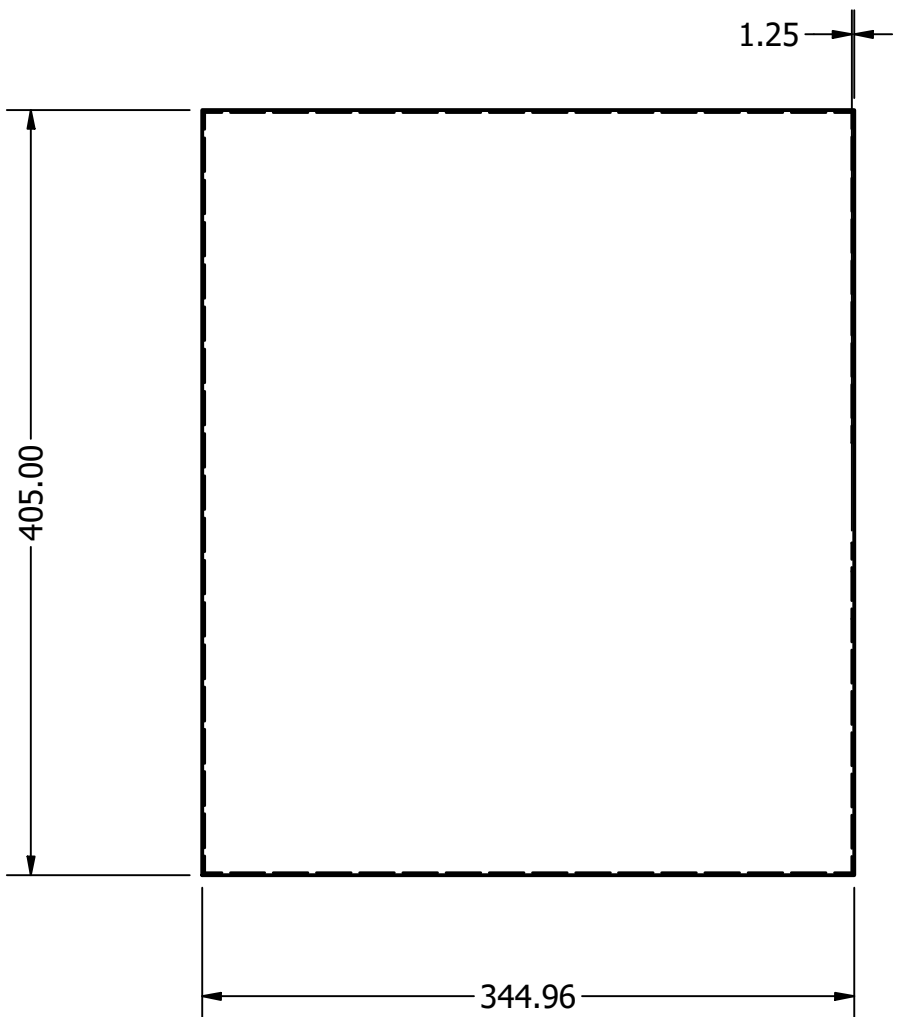
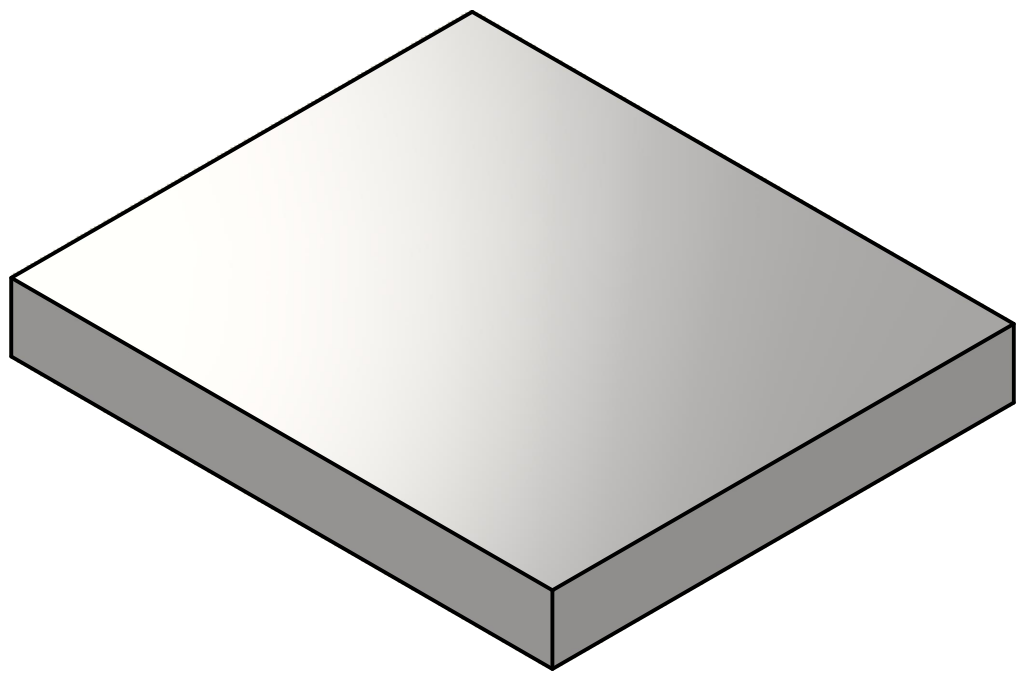
$$I_{total} = 0.5833 + 0.644 A$$

$$I_{total} = 1.22 A$$

A partir del valor total de corriente obtenido, es posible determinar los valores para el circuito de alimentación de la batería y la corriente necesaria para alimentar el circuito del microcontrolador y lectura de celda de carga.

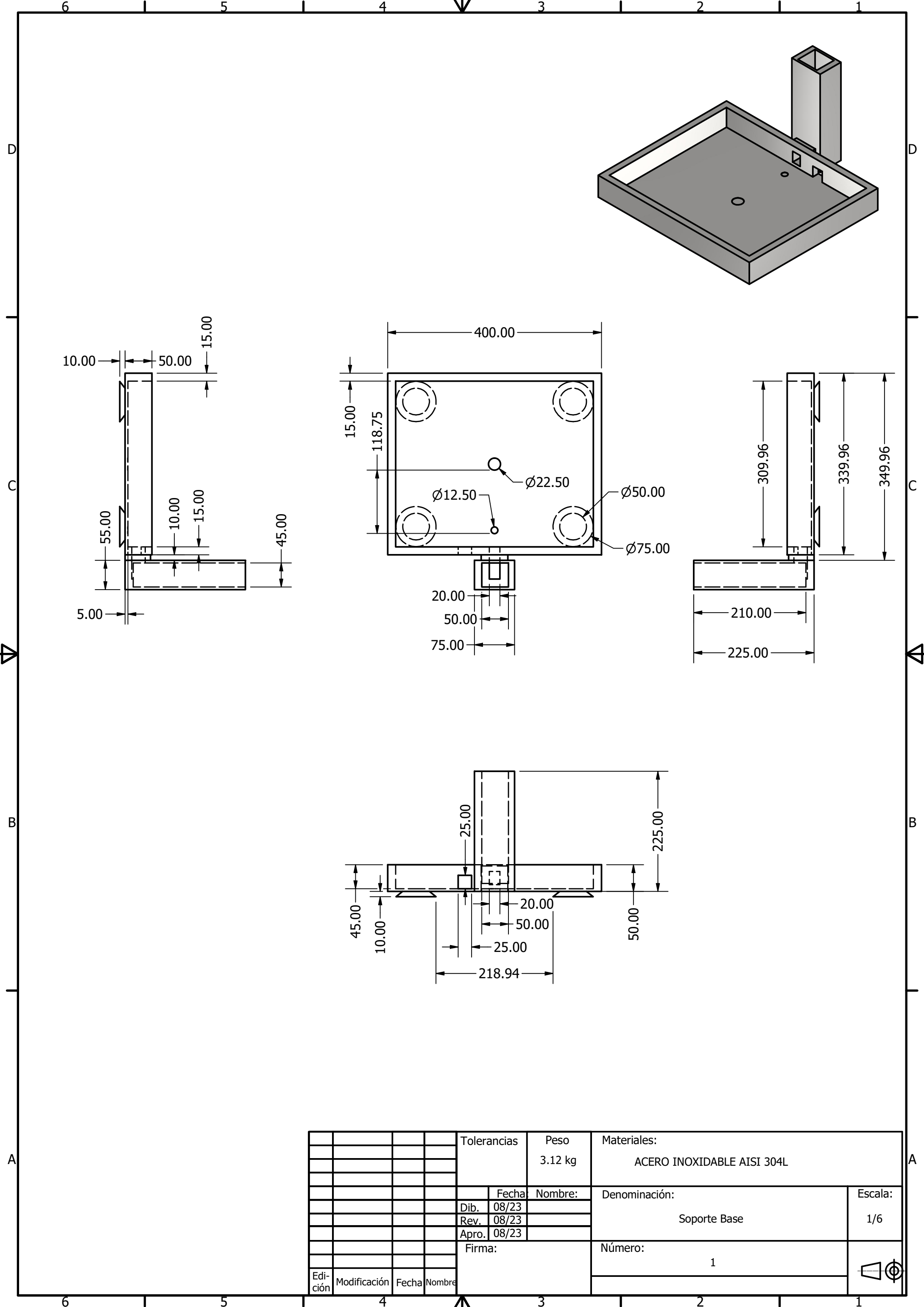
APÉNDICE B

Planos mecánicos de la balanza

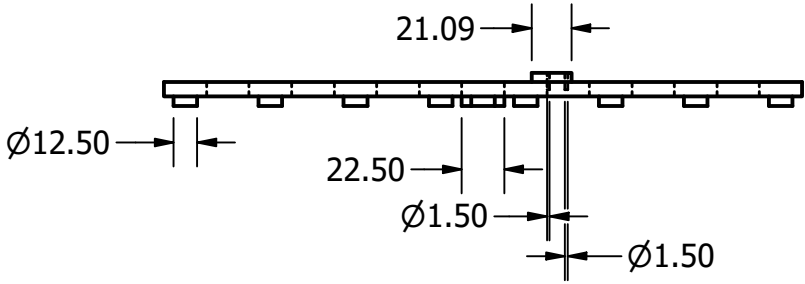
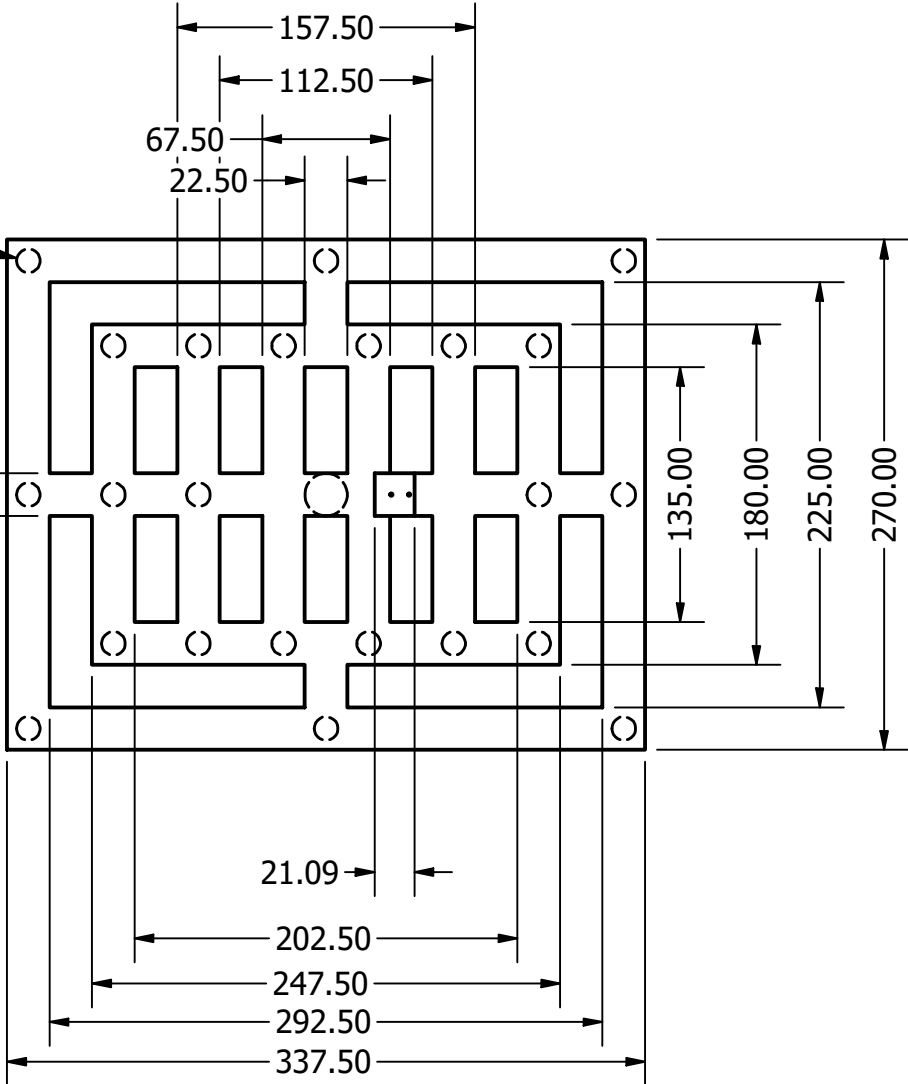
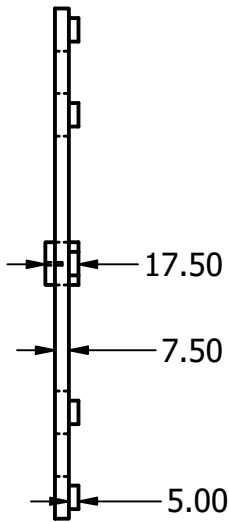
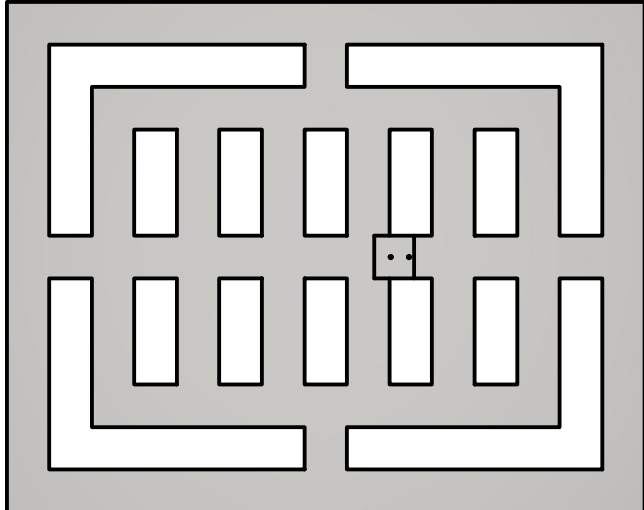
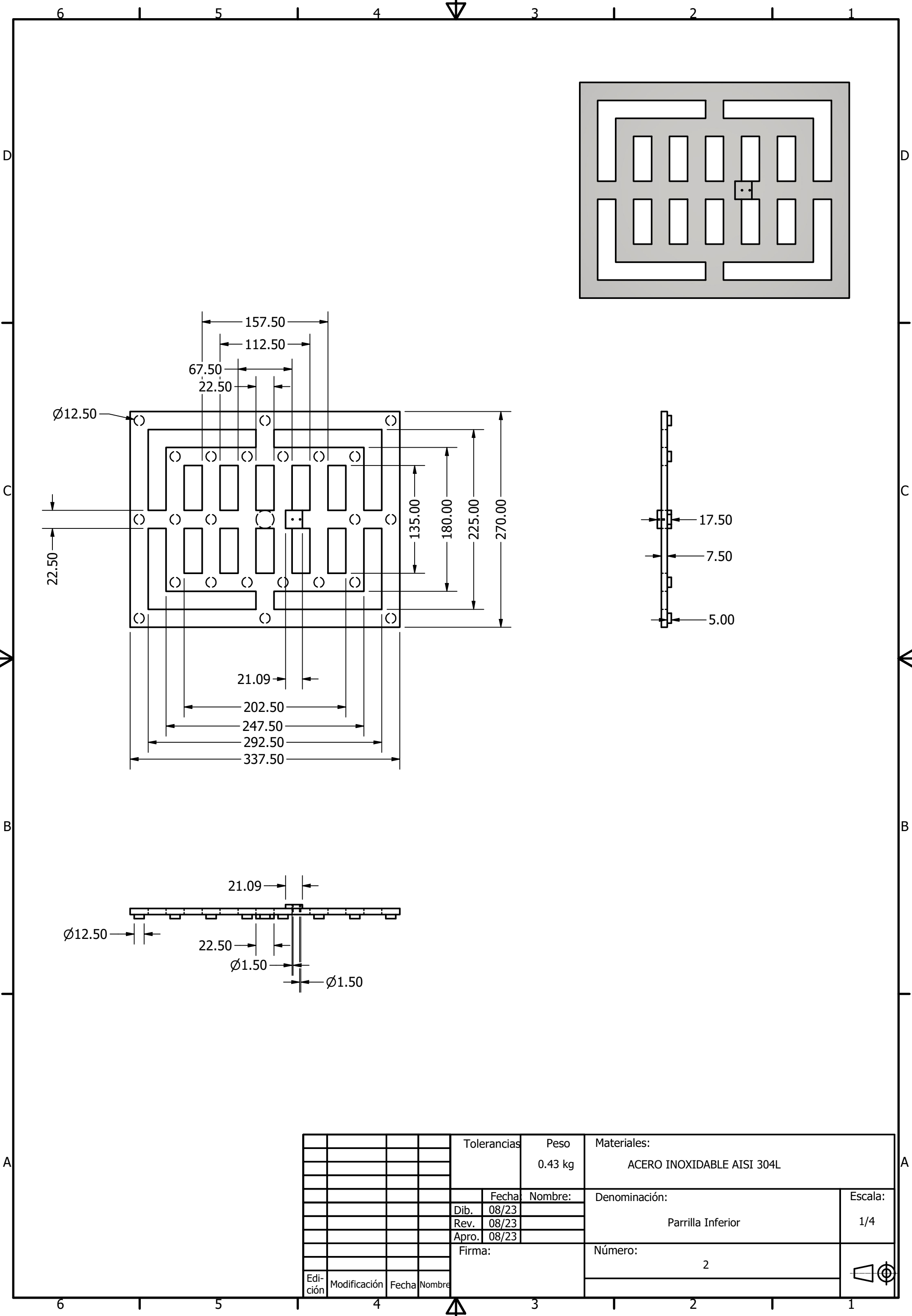


				Tolerancias	Peso 0.72 kg	Materiales: ACERO INOXIDABLE AISI 304L	
					Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dib. 08/23		Carcaza	1/4
				Rev. 08/23			
				Apro. 08/23			
				Firma:		Número:	
						4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

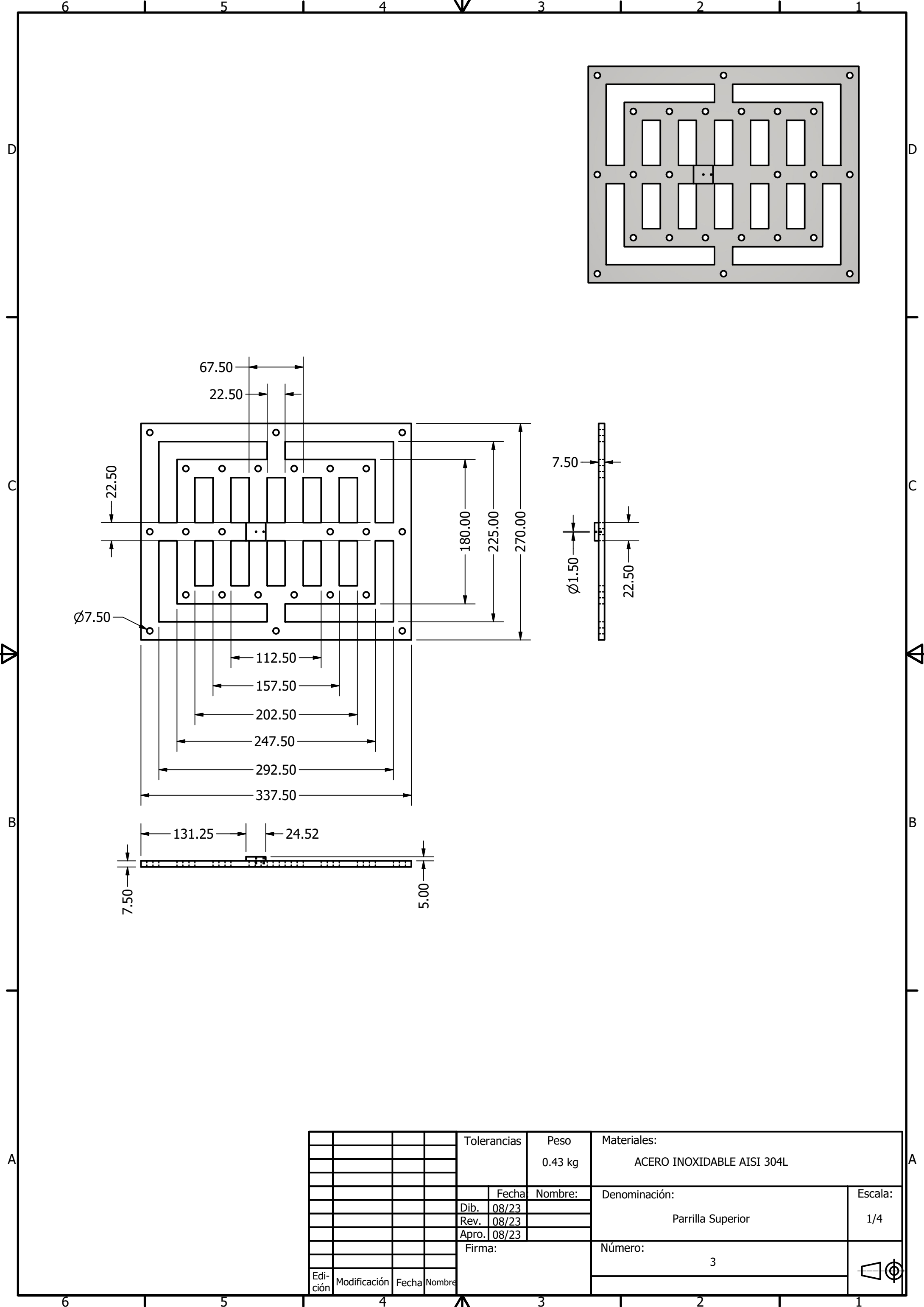
Technical drawing frame with grid lines and labels A, B, C, D on the sides and 1, 2, 3, 4, 5, 6 on the top and bottom.



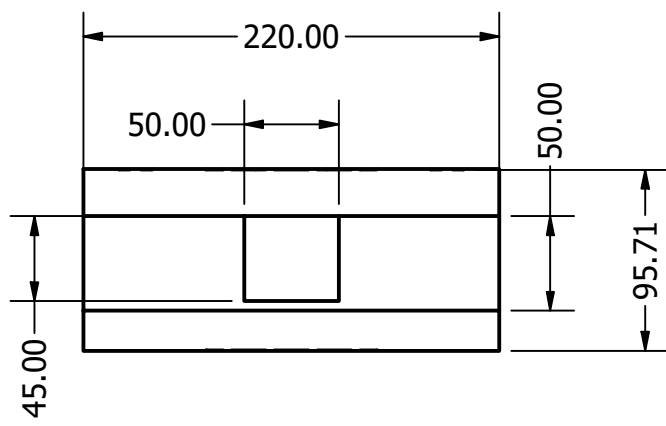
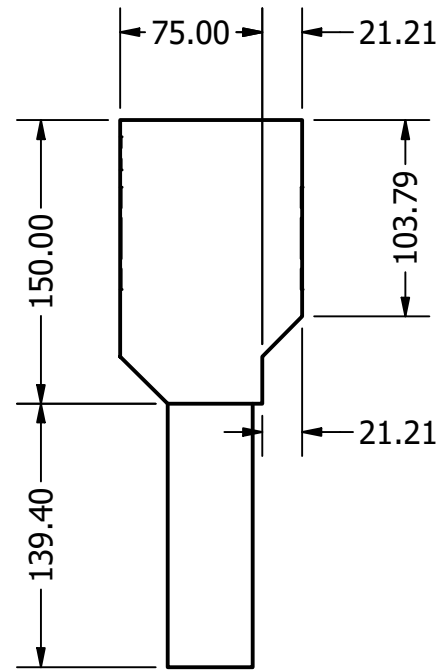
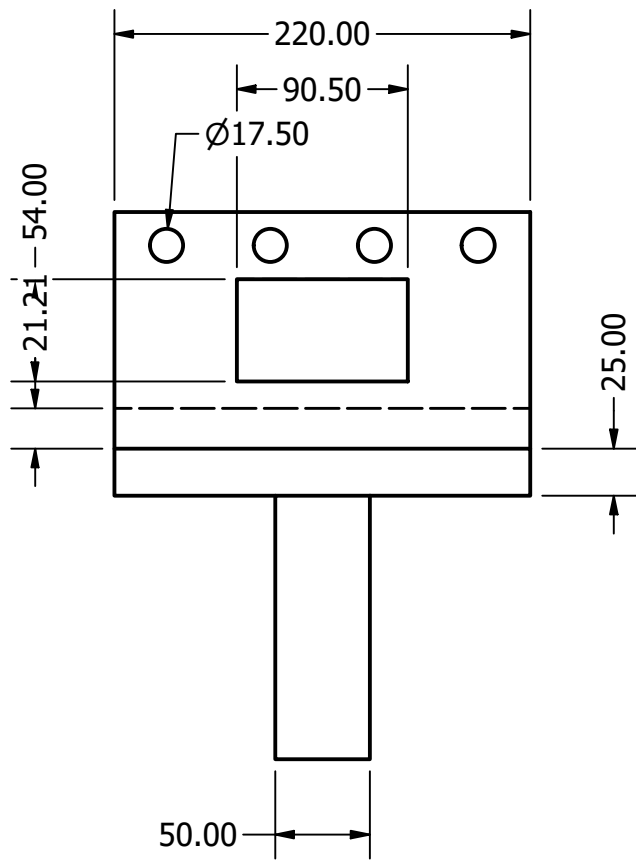
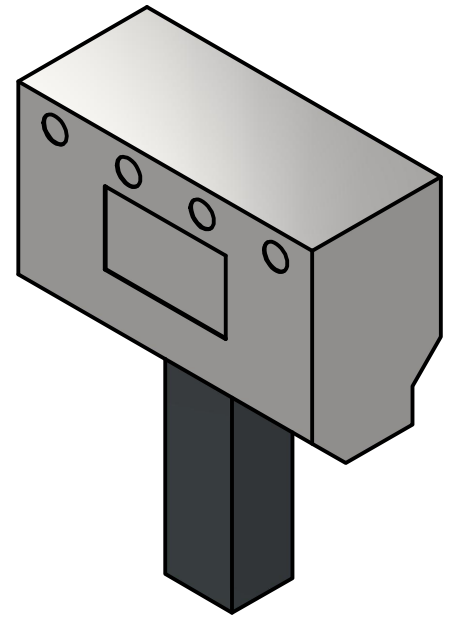
				Tolerancias	Peso 3.12 kg	Materiales: ACERO INOXIDABLE AISI 304L	
					Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dib. 08/23		Soporte Base	1/6
				Rev. 08/23			
				Apro. 08/23			
				Firma:		Número:	
						1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



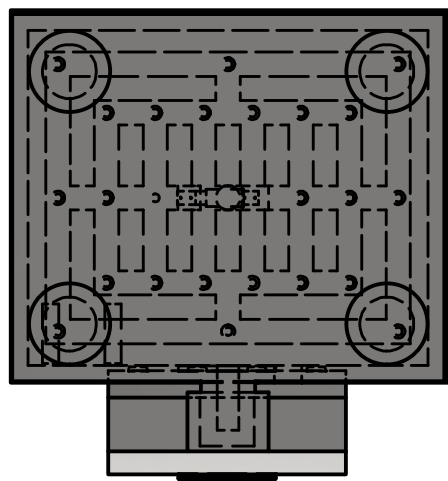
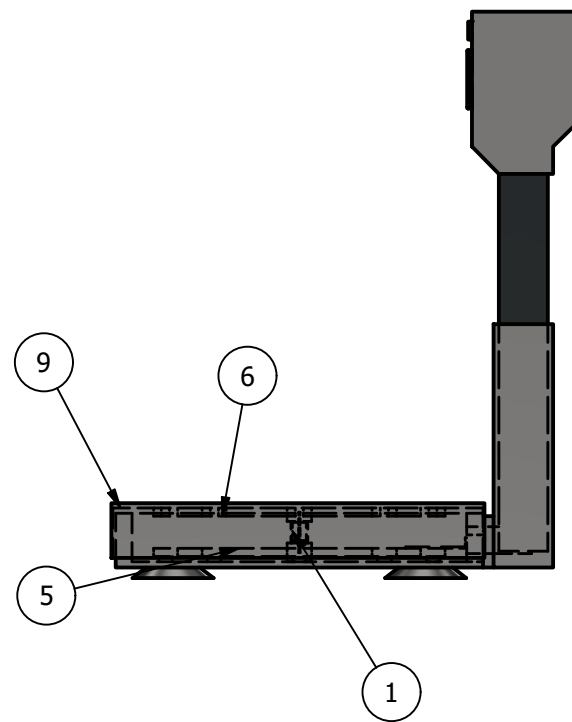
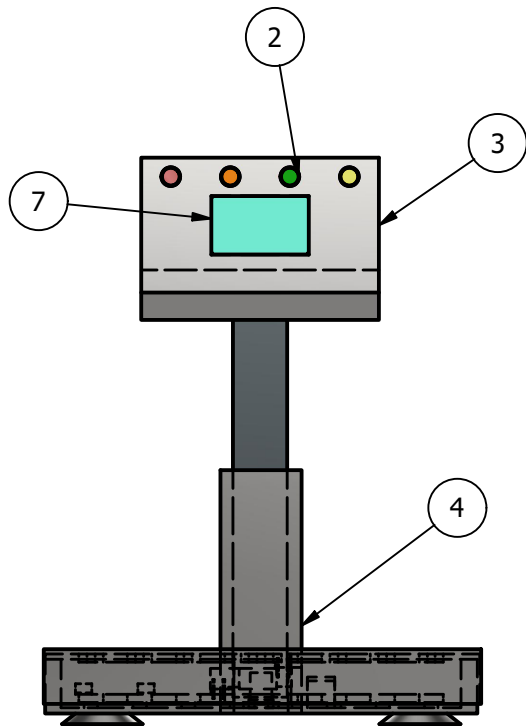
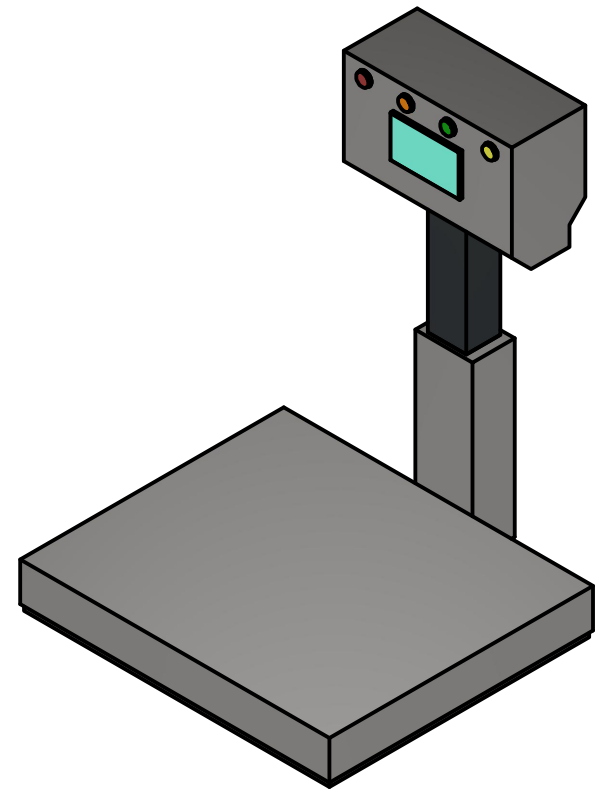
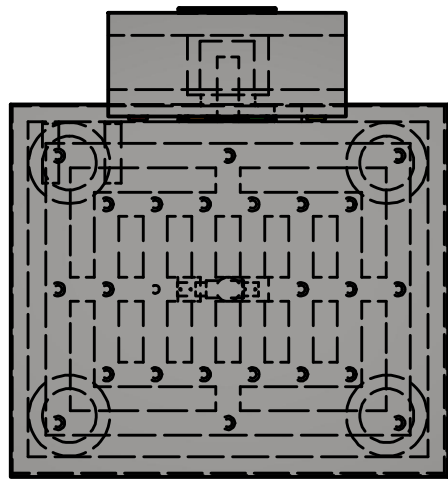
				Tolerancias	Peso 0.43 kg	Materiales: ACERO INOXIDABLE AISI 304L	
					Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dib. 08/23		Parrilla Inferior	1/4
				Rev. 08/23			
				Apro. 08/23			
				Firma:		Número:	
						2	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancias	Peso 0.43 kg	Materiales: ACERO INOXIDABLE AISI 304L	
					Nombre:	Denominación:	Escala:
					Fecha	Parrilla Superior	1/4
				Dib.	08/23		
				Rev.	08/23		
				Apro.	08/23	Número:	
				Firma:		3	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancias	Peso 3.22 kg	Materiales: ACERO INOXIDABLE AISI 304L	
					Nombre:	Denominación: Soporte Pantalla	Escala: 1/4
					Fecha: Dib. 08/23 Rev. 08/23 Apro. 08/23		
					Firma:	Número: 4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Celda_Carga	Celda de carga
2	4	Luz_Piloto	Luces piloto
3	1	Pantalla	Parte superior de la balanza, sirve de soporte de LCD, luces piloto y electrónica interna
4	1	Soporte_Base	Base de la balanza
5	1	Parrilla_Inferior	Parrilla inferior para distribuir la fuerza en un solo punto
6	1	Parrilla_Superior	Parrilla superior para distribuir la fuerza en un solo punto
7	2	LCD	Pantalla LCD
8	2	Soporte_Placa	Pieza de soporte para la placa PCB
9	1	Carcaza_	Tapa superior de la balanza

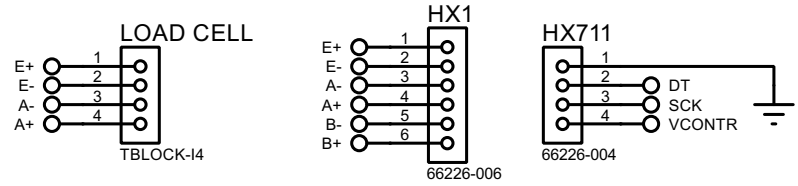
				Tolerancias	Peso 7.52 kg	Materiales: ACERO INOXIDABLE AISI 304L		
					Fecha	Nombre:	Denominación:	Escala:
					Dib. 08/23		Balanza Electrónica	1/7
					Rev. 08/23			
					Apro. 08/23		Número:	
					Firma:		7	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



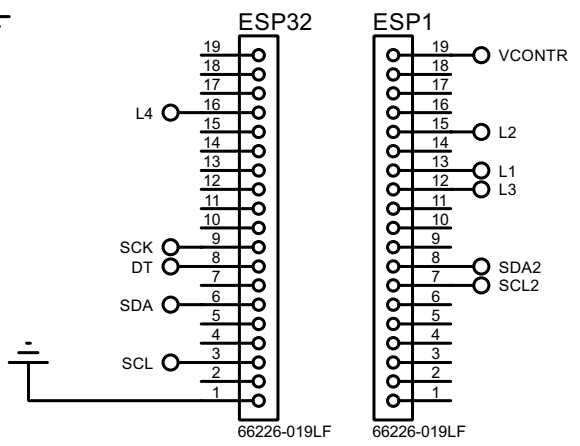
APÉNDICE C

Planos eléctricos circuito final balanza electrónica

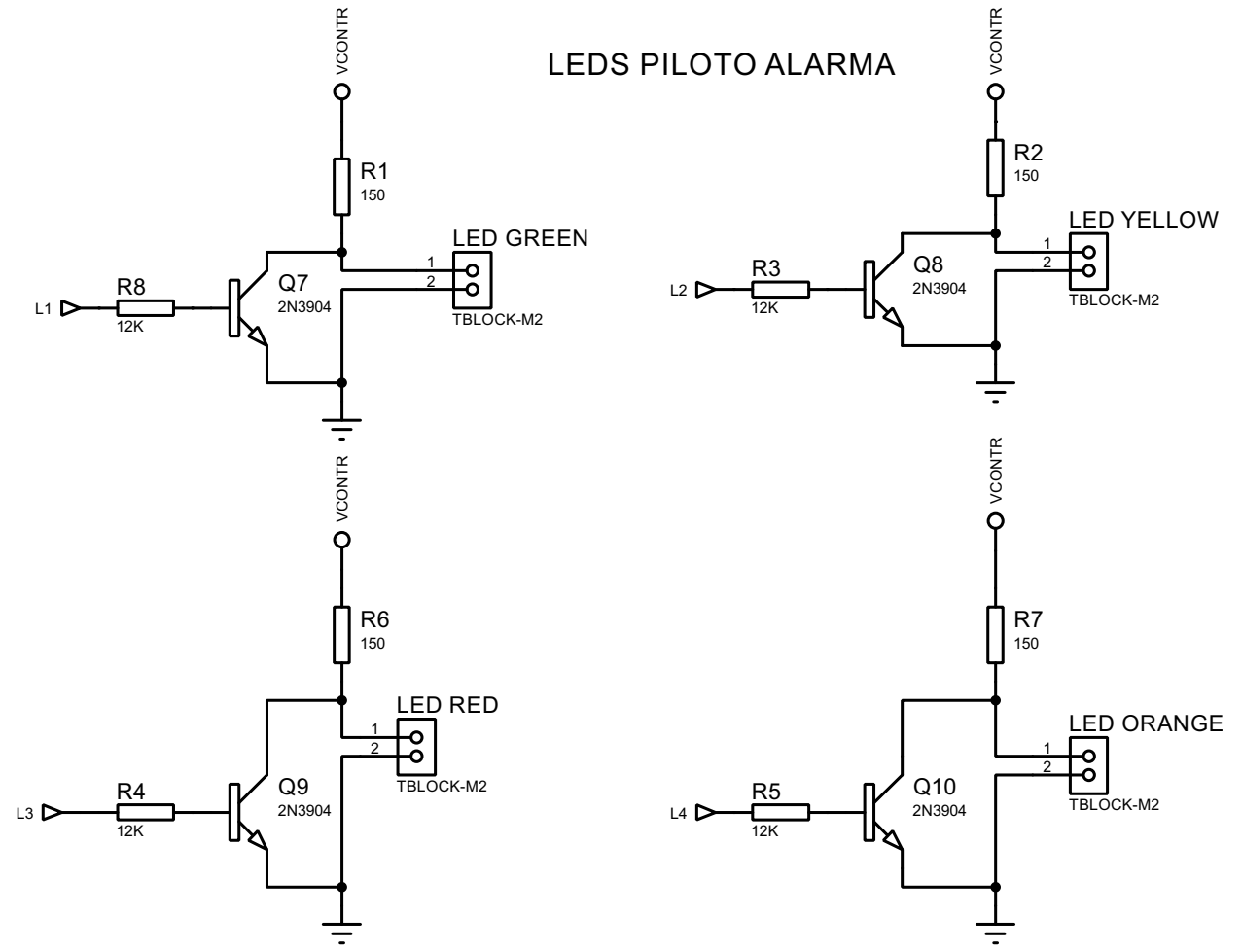
LECTURA DE CELDA DE CARGA



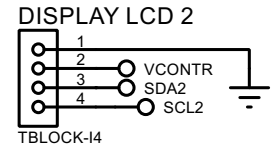
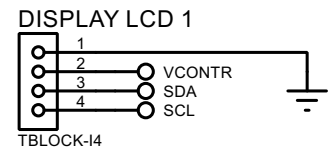
CONTROLADOR ESP32



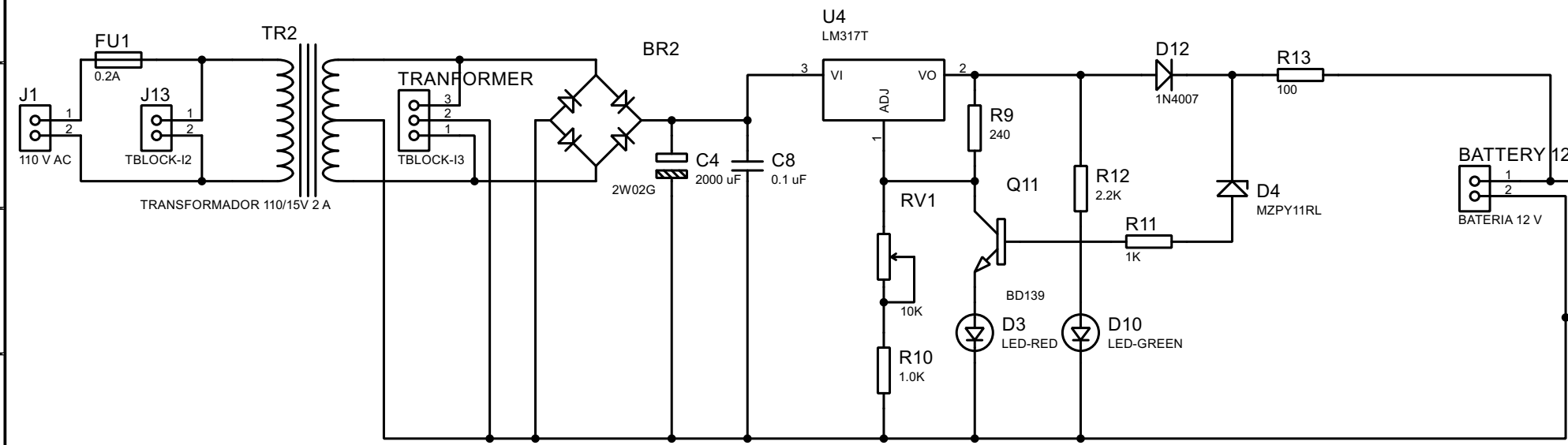
LEDS PILOTO ALARMA



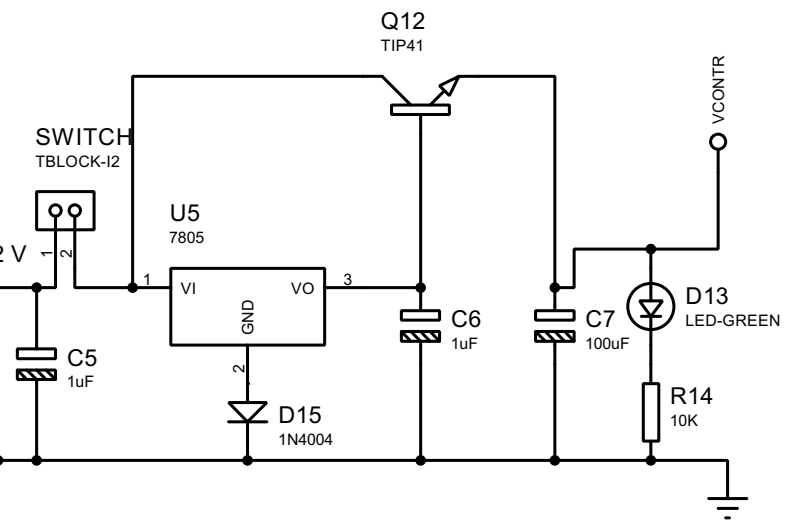
DISPLAYS LCDS



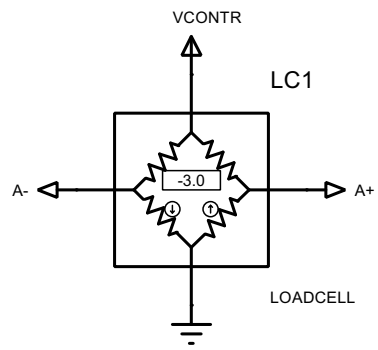
FUENTE DE ALIMENTACIÓN / CARGADOR DE BATERIA



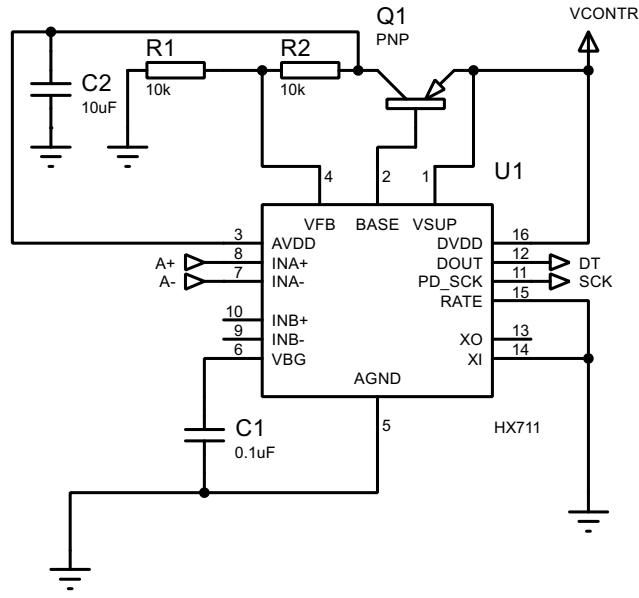
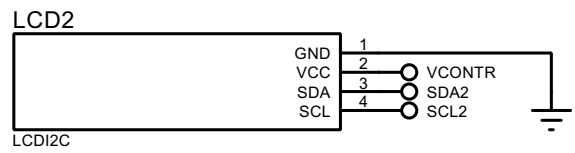
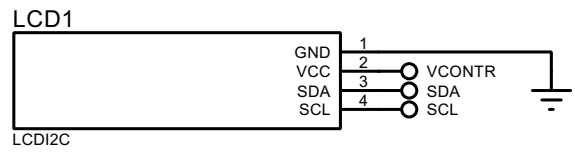
REGULADOR DE 5V



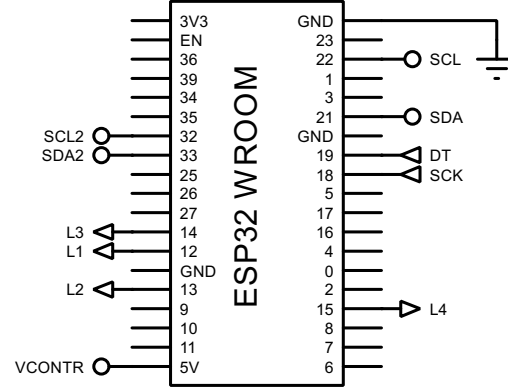
LECTURA DE CELDA DE CARGA



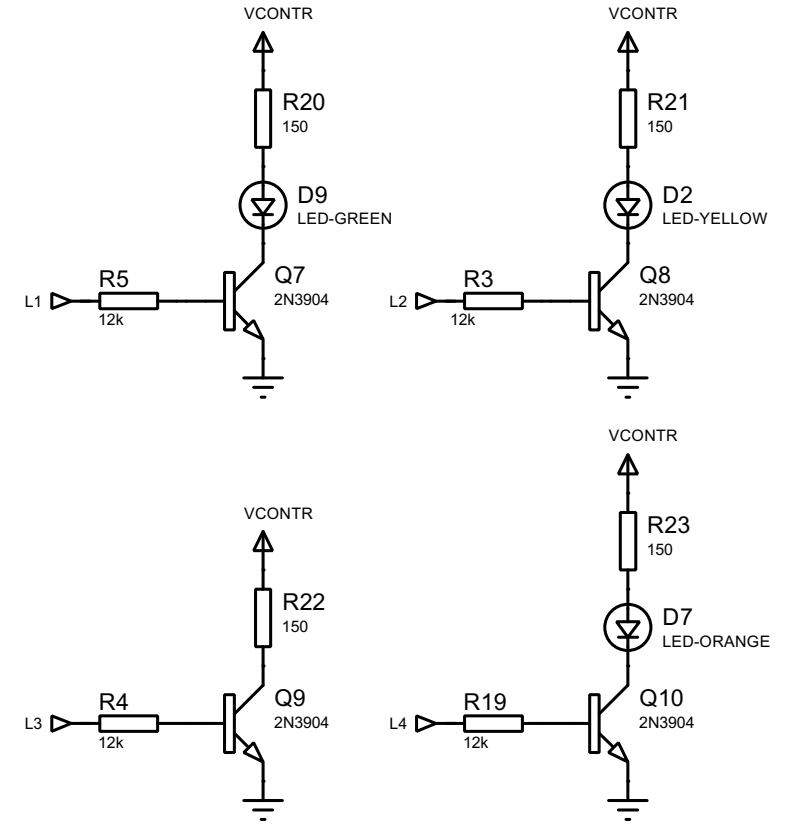
DISPLAYS LCD



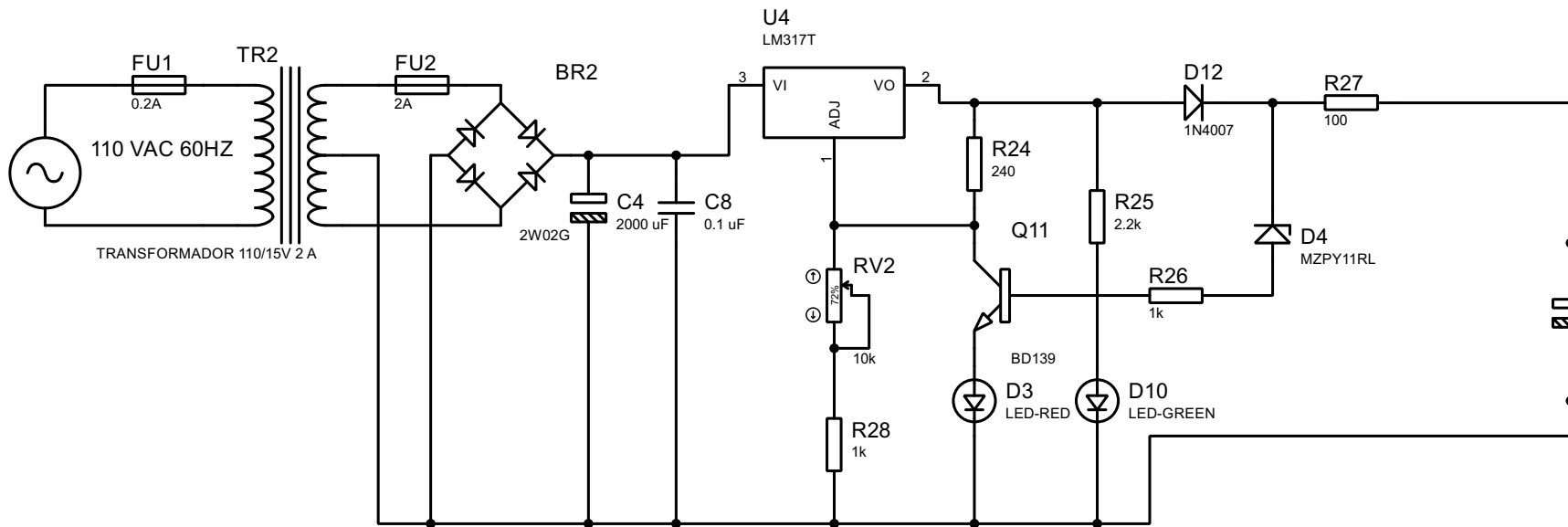
CONTROLADOR ESP32



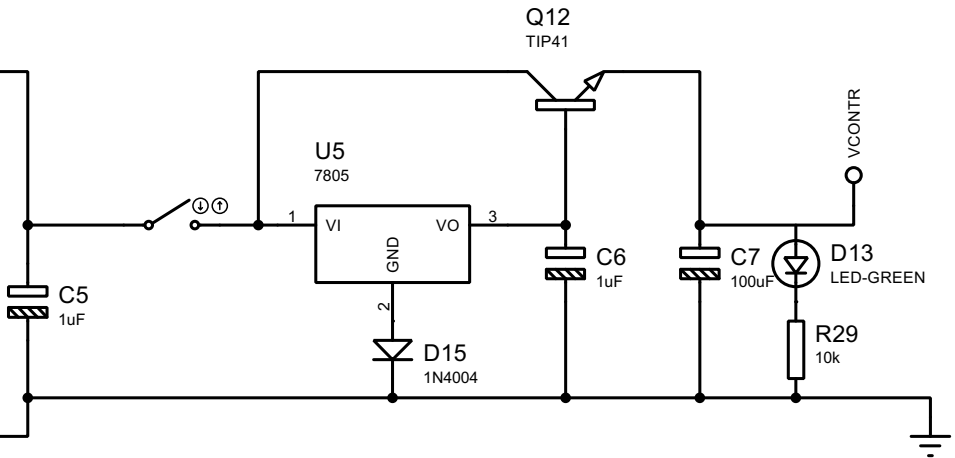
LEDS PILOTO ALARMA



FUENTE DE ALIMENTACIÓN / CARGADOR DE BATERIA



REGULADOR DE 5V



FILE NAME: DIAGRAMA ESQUEMATICO	DATE: 9/9/2023
DESIGN TITLE: DIAGRAMA ESQUEMATICO	PAGE: 1 of 1
PATH: C:\Users\IASUS\Documents\FINAL ESQUEMATICO PCB.pdspd	TIME: 12:23:53
BY: ANDREA SOLA- ANDY RIOS	

APÉNDICE D

Diagrama final placa PCB

