UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA DETERMINAR EL PRECIO DE ENVÍO DE CAJAS Y CILINDROS, PARA LA EMPRESA ORIONLOGISTICS, EN FUNCIÓN DEL CÁLCULO DEL PESO VOLUMÉTRICO Y LA COMPARACIÓN CON EL PESO REAL MEDIDO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

PEDRO ANTONIO ROMÁN CISNEROS

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS PARRA MENA, M.Sc.

D.M. Quito,

2017

DECLARACIÓN

Yo, PEDRO ANTONIO ROMÁN CISNEROS, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por su Normativa institucional vigente.

Pedro Antonio Román Cisneros

C.C. 1717797169

CERTIFICACIÓN

El docente de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas Ingeniero Juan Carlos Parra Mena

CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación "Diseño y Construcción de un Prototipo para Determinar el precio de envío de cajas y cilindros, para la empresa Orionlogistics, en función del cálculo del peso volumétrico y la comparación con el peso real medido", fue desarrollado por: Pedro Antonio Román Cisneros y ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

Ing. Juan Carlos Parra Mena, M.Sc.

C.I. 1802313781

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mi familia, en especial a mi madre Raquel Cisneros, a mi padre Carlos Román y a mi hermana Carla Román, por su constante apoyo, confianza, motivación y amor brindado a lo largo de mi vida. Por permitirme creer que soy capaz de cumplir mis objetivos sin importar los obstáculos que se presenten.

Agradezco a mi director de este proyecto de titulación Ing. Juan Carlos Parra, M.Sc., por su valiosa guía durante el desarrollo de este proyecto y por demostrarme que un ingeniero, no solo demuestra su calidad de forma teórica, sino que también debe ser creativo para buscar soluciones a los problemas que se presentan y debe saber evaluar las diferentes alternativas con criterio basándose en su conocimiento.

Agradezco también al Ing. Esteban Montufar, M.Sc., por su apoyo y guía durante el desarrollo de este proyecto y a lo largo de toda la carrera.

A mis amigos y amigas, por el tiempo compartido, las aventuras vividas dentro y fuera de las aulas. Por el apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

A la empresa Orionlogistics por abrirme sus puertas y confiar en mi capacidad para desarrollar este proyecto. En especial a la familia Lalangui - Bucheli.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

SISTEMAS DE PESAJE Y CUBICAJE.....1

1.1 PRELIMINARES.....1

1.1.1 TEMA 1

1.1.2 OBJETIVOS 1

1.1.2.1 OBJETIVO GENERAL 1

1.1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....1

1.1.3 HIPÓTESIS 2

1.2 SISTEMAS DE PESAJE 2

1.3 SISTEMAS DE CUBICAJE 4

1.3.1 SISTEMAS DE CUBICAJE O DIMENSIONAMIENTO ESTÁTICO 6

1.3.2 SISTEMAS DE CUBICAJE O DIMENSIONAMIENTO DINÁMICO 7

1.3.3 DESCRIPCIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS DE CUBICAJE 8

1.3.3.1 CUBISCAN 150.....8

1.3.3.2 CUBISCAN 200-TS.....9

1.3.3.3 PARACELCUBE 900 10

1.4 MÉTODO DE CÁLCULO DE LA TARIFA A COBRAR POR EL ENVÍO DE UN PAQUETE (LTL LESS THAN TRUCKLOAD) 12

1.5 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.....14

1.5.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL 15

1.6 ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE VOLUMETRÍA Y PESAJE 17

1.6.1 DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE VOLUMETRÍA A NIVEL MUNDIAL ..17

1.6.2 DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE VOLUMETRÍA EN AMÉRICA LATINA 18

1.6.3 APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE VOLUMETRÍA EN EL ECUADOR 19

CAPÍTULO II

ANÁLISIS, ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....21

2.1 DESARROLLO DEL DISEÑO BASÁNDOSE EN LA CALIDAD.....21

2.1.1 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.....21

2.1.1.1 ESQUEMA DE LOS SISTEMAS DE VOLUMETRÍA Y PESAJE.....22

2.1.1.2 CASA DE LA CALIDAD 24

2.1.1.2.1 VOZ DEL USUARIO 25
2.1.1.2.2 VOZ DEL INGENIERO.....26
2.1.1.2.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....26
2.2 DISEÑO CONCEPTUAL.....28
2.2.1 ANÁLISIS FUNCIONAL 28
2.2.2 DEFINICIÓN DE MÓDULOS FUNCIONALES 31
2.2.3 SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO FUNCIONAL.....32
2.2.4 MATRIZ MORFOLÓGICA.....40
2.3 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS 41
2.3.1 MATRIZ DE CRITERIOS PONDERADOS 41
2.3.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA 44

CAPÍTULO III
DISEÑO DEL SISTEMA DE PESAJE.....45
3.1 DISEÑO MECÁNICO 45
3.1.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA.....46
3.1.1.1 DISEÑO DEL CHASIS 46
3.1.1.2 DISEÑO DEL RECUBRIMIENTO DE LA BANDEJA DE PESAJE.....51
3.1.1.3 DISEÑO DE LA PLETINA DE SOPORTE DE LA CELDA DE CARGA. 54
3.1.1.4 DISEÑO DE LOS PERNOS DE SUJECIÓN DE LA MESA LATERAL. 59
3.1.1.5 DISEÑO DEL CARRO VERTICAL.....63
3.1.1.6 DISEÑO DEL TORNILLO DE POTENCIA PARA EL CARRO VERTICAL. ...67
3.2 DISEÑO ELECTRÓNICO 73
3.2.1 MÓDULO CENTRAL DE CONTROL PLC.....73
3.2.2 MÓDULO DE MEDICIÓN DE PESO 75
3.2.3 MÓDULO DE MEDICIÓN DE ALTURA (DISTANCIA) 76
3.2.4 MÓDULO DE MOVIMIENTO DEL EJE VERTICAL.....77
3.2.5 ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS 79
3.2.5.1 FIN DE CARRERA.....79
3.2.5.2 BOTONES.....80
3.2.5.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....81
3.2.5.4 CONEXIONES 83
3.2.6 PLACA ELECTRÓNICA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....84
3.3 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS.....85

3.4 DISEÑO DE LA INTERFAZ 86
3.6 ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN 97
3.6.1 ALGORITMO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA 97
3.6.2 ALGORITMO DE CALIBRACIÓN 98
3.6.3 ALGORITMO DE INGRESO DE LA INFORMACIÓN DE ENVÍO 98
3.6.4 ALGORITMO DE MEDICIÓN DE PESO Y VOLUMEN 99
3.6.5 ALGORITMO DE PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN 100
3.6.6 ALGORITMO ESTÁNDAR DE CÁLCULO DE LA TARIFA A COBRAR PARA EMPRESAS DE TRANSPORTE.....102
3.7 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN CON VISIÓN ARTIFICIAL 103
3.7.1 ADQUISICIÓN DE LA IMAGEN.....104
3.7.2 PRE PROCESAMIENTO Y SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES 104
3.7.3 MEDICIÓN O EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN.....106

CAPÍTULO IV
CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS.....108
4.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....108
4.1.1 CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS O SOPORTE PRINCIPAL 108
4.1.2 CONSTRUCCIÓN DE LA SECCIÓN DEL VERTICAL DE MEDICIÓN.....109
4.1.3 CONSTRUCCIÓN DE LA BANDEJA DE PESAJE.....110
4.1.4 CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DEL COMPUTADOR E IMPRESORA.. 111
4.1.5 ENSAMBLAJE FINAL 113
4.2 PRUEBAS Y RESULTADOS 116
4.2.1 PRUEBAS Y RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE PESO 116
4.2.2 PRUEBAS Y RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE ALTURA.....122
4.2.3 PRUEBAS Y RESULTADOS DE LAS MEDICIONES CON VISIÓN ARTIFICIAL …… 127
4.3 CERTIFICACIÓN DE LA BALANZA 132

CONCLUSIONES 134
RECOMENDACIONES.....136
ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 a) Balanza b) Báscula 3
Figura 1.2 Básculas Electrónicas 3
Figura 1.3 Pesaje Dinámico 4
Figura 1.4 Sistema de Cubicaje Cubiscan 150 6
Figura 1.5 Sistema de Cubicaje Cubiscan 210-DS 7
Figura 1.6 Cubiscan 150 con el brazo de soporte para el computador 8
Figura 1.7 Cubiscan 200-TS 10
Figura 1.8 a) ParacelCube 900 b) Interfaz de ParacelCube para PC 11
Figura 1.9 Ejemplo de un Sistema de visión artificial para el llenado y colocación de tapas de botellas. 16
Figura 1.10 a) CubiScan 150 midiendo b) Software de Recepción de paquetes de Montra SA 18
Figura 1.11 CubiScan 150 implentado en el sistema de recepción de paquetes de Siati Group 20

Figura 2.1 Esquema general de un sistema de volumetría y pesaje 23
Figura 2.2 Esquema del sistema de volumetría y pesaje propuesto 24
Figura 2.3 Módulo Nivel 0 28
Figura 2.4 Módulo Nivel 1 29
Figura 2.5 Módulo Nivel 2 30
Figura 2.6 Paracelcube 900 33
Figura 2.7 Cubiscan 150 33
Figura 2.8 Combinación del sensor ultrasónico y visión artificial 34
Figura 2.9 Sensor Infrarrojo. 34
Figura 2.10 Galga Extensiométrica. 35
Figura 2.11 Celda de Carga Hidráulica. 35
Figura 2.12 PLC LOGO 8. 36
Figura 2.13 PLC ARDBOX ANALOG. 36
Figura 2.14 Logo Python. 37
Figura 2.15 Logo Netbeans. 37
Figura 2.16 Logo MySQL. 38
Figura 2.17 Logo Progress KB. 38

Figura 2.18 Label Printer Brother QL-700.....39
Figura 2.19 HP Officejet Pro K8600.....39

Figura 3.1 Esquema de la Máquina 45
Figura 3.2 Esquema de una Viga empotrada en los extremos con una carga distribuida uniformemente 47
Figura 3.3 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexionante de una viga empotrada en sus extremos con una carga distribuida uniformemente.....48
Figura 3.4 Extracto del Catálogo de Tubería Estructural Cuadrada.....49
Figura 3.5 Extracto de las iteraciones para el diseño de la viga horizontal doblemente empotrada sometida a una carga uniformemente distribuida.....50
Figura 3.6 Diagrama de Deflexión ante la Carga Distribuida en una viga horizontal doblemente empotrada 50
Figura 3.7 Esquema del recubrimiento de la bandeja de pesaje 51
Figura 3.8 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexionante del recubrimiento de la bandeja de pesaje 52
Figura 3.9 Extracto del Catálogo de Planchas Laminada en Caliente. 53
Figura 3.10 Iteraciones para el diseño del Recubrimiento de la Bandeja de Pesaje (viga horizontal, doblemente empotrada sometida a una carga uniformemente distribuida).....53
Figura 3.11 Diagrama de Deflexión de la cubierta de la bandeja de pesaje 54
Figura 3.12 Esquema de diseño de la pletina de soporte de la celda de carga.....55
Figura 3.13 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexionante del diseño de la pletina de soporte de la celda de carga 57
Figura 3.14 Extracto del Catálogo de Productos Laminados Pletina 57
Figura 3.15 Extracto de las iteraciones para el diseño de la pletina de soporte de la celda de carga.....58
Figura 3.16 Diagrama de Deflexión de la pletina de soporte de la celda de carga....58
Figura 3.17 Esquema de diseño de los pernos de sujeción de la mesa lateral 60
Figura 3.18 Diagrama de Fuerzas cortantes en los Pernos 61
Figura 3.19 Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero.....62
Figura 3.20 Esquema de diseño del carro vertical 64

Figura 3.21 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexionante del diseño del carro vertical 65
Figura 3.22 Extracto del Catálogo de Planchas de Aluminio Liso 66
Figura 3.23 Extracto de las iteraciones para el diseño del carro vertical 66
Figura 3.24 Diagrama de Deflexión del carro vertical 67
Figura 3.25 Características principales del tornillo de potencia y del collarín 68
Figura 3.26 Descripción de las características del tornillo de potencia y collarín utilizados para el diseño 68
Figura 3.27 Coeficientes de rozamiento estático y cinético 69
Figura 3.28 Columna cargada excéntricamente 70
Figura 3.29 Características del Acero Inoxidable AISI 304 72
Figura 3.30 Diagrama General del Diseño Electrónico 73
Figura 3.31 PLC ARDBOX Analog 74
Figura 3.32 Representación del protocolo de comunicación 76
Figura 3.33 Funcionamiento del Sensor Ultrasónico 77
Figura 3.34 Distribución de los Fines de Carrera 80
Figura 3.35 Distribución de los botones 81
Figura 3.36 Calibre de Cables AWG 83
Figura 3.37 Diagrama general de conexiones 84
Figura 3.38 Diagrama de la Estructura de la Base de Datos 85
Figura 3.39 ADV Ingreso (Log In) 87
Figura 3.40 ADV Pantalla Principal 87
Figura 3.41 ADV Información del Paquete 88
Figura 3.42 ADV Etiqueta Caja 88
Figura 3.43 ADV Etiqueta Cilindro 89
Figura 3.44 ADV Barra de Herramientas 89
Figura 3.45 ADV Menú Editar 90
Figura 3.46 ADV Menú Consultas 90
Figura 3.47 ADV Agregar Clientes 91
Figura 3.48 ADV Modificar Clientes 91
Figura 3.49 ADV Listado Clientes 92
Figura 3.50 ADV Agregar Rutas 92
Figura 3.51 ADV Modificar Rutas 93
Figura 3.52 ADV Lista de Rutas 93

Figura 3.53 ADV Información del Sistema 94
Figura 3.54 ADV Consulta por Número de Guía 94
Figura 3.55 ADV Consulta de Envíos por Remitente 95
Figura 3.56 ADV Consulta de Envíos por Destinatario 95
Figura 3.57 ADV Consulta de Envíos por Fecha 96
Figura 3.58 ADV Consulta de Envíos por Ruta 96
Figura 3.59 Diagrama de Flujo del Funcionamiento de la Máquina 97
Figura 3.60 Diagrama de Flujo de la Calibración.....98
Figura 3.61 Diagrama de Flujo del Ingreso de Información de Envío 99
Figura 3.62 Diagrama de Flujo del Proceso de Medición de Peso y Volumen 100
Figura 3.63 Diagrama de Flujo del Procesamiento de la Imagen 101
Figura 3.64 Diagrama de Flujo del Pre-Procesamiento de la Imagen.....102
Figura 3.65 Diagrama de Flujo del cálculo de la tarifa de envío 103
Figura 3.66 Cámara ELP, 2megapixeles, con lentes de amplio ángulo 170 grados 104
Figura 3.67 Pre-procesamiento de la Imagen 105
Figura 3.68 Segmentación de la Imagen 106
Figura 3.69 Resultado de la Extracción de Características.....107

Figura 4.1 Diagrama de Construcción del Chasis 108
Figura 4.2 Chasis de la Máquina 109
Figura 4.3 Diagrama de Construcción de la Sección Vertical de Medición.....109
Figura 4.4 Sección Vertical de Mediciones.....110
Figura 4.5 Diagrama de Construcción de la Bandeja de Pesaje.....111
Figura 4.6 Construcción de la Bandeja de Pesaje.....111
Figura 4.7 Diagrama de Construcción del Soporte de la Computadora e Impresora 112
Figura 4.8 Soporte de la Computadora e Impresora 112
Figura 4.9 Máquina de pesaje y volumetría ensamblada 115
Figura 4.10 Gráfico del Error en las mediciones de 10 libras.....117
Figura 4.11 Carta de Control de Promedios de pruebas con la pesa de 10 libras...117
Figura 4.12 Patrones Fuera de Control 118
Figura 4.13 Gráfico del Error en las mediciones de 50 lb.....119
Figura 4.14 Carta de Control de Promedios de pruebas con la pesa de 50 lb 120

Figura 4.15 Gráfico del Error en las mediciones de 50.4 kg.....121
Figura 4.16 Carta de Control de Promedios de pruebas con la pesa de 50.4 kg 121
Figura 4.17 Gráfico del Error en las mediciones de altura 7.2 cm 123
Figura 4.18 Carta de Control de Promedios de las mediciones de Altura de 7.2 cm 123
Figura 4.19 Gráfico del Error en las mediciones de altura 30.4 cm 124
Figura 4.20 Carta de Control de Promedios de las mediciones de Altura de 30.4 cm 125
Figura 4.21 Gráfico del Error en las mediciones de altura 51 cm 126
Figura 4.22 Carta de Control de Promedios de las mediciones de Altura de 51cm.126
Figura 4.23 Mediciones de 9.2 cm con el Sistema de VA 128
Figura 4.24 Mediciones de 23.2 cm con el Sistema de VA 129
Figura 4.25 Mediciones de 40 cm con el Sistema de VA 130
Figura 4.26 Mediciones de 40 cm con el Sistema de VA recalibrado 131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Máquinas de Cubicaje y sus características.....8
Tabla 1.2 Factor Volumétrico 12

Tabla 2.1 Especificaciones para el desarrollo del diseño del producto.....27
Tabla 2.2 Descripción del Nivel 1.....28
Tabla 2.3 Descripción del Nivel 2.....29
Tabla 2.4 Opciones para la Estructura de Soporte.....33
Tabla 2.5 Opciones para el proceso de Toma de Dimensiones.....34
Tabla 2.6 Opciones para el proceso de Medición de Peso. 35
Tabla 2.7 Opciones para el proceso de control e interpretación de señales 36
Tabla 2.8 Opciones para desarrollar la interfaz de control y visualización de datos..37
Tabla 2.9 Opciones para desarrollar la Base de Datos 38
Tabla 2.10 Opciones para la impresión de Etiquetas. 39
Tabla 2.11 Matriz Morfológica.....40
Tabla 2.12 Ponderación de los Criterios. 42
Tabla 2.13 Análisis de la Precisión en las diferentes Alternativas 42
Tabla 2.14 Análisis de la Velocidad en las diferentes Alternativas. 43
Tabla 2.15 Análisis de la Utilidad en las diferentes Alternativas 43
Tabla 2.16 Análisis de Costo de las diferentes Alternativas. 43
Tabla 2.17 Análisis de Innovación de las diferentes Alternativas.....43
Tabla 2.18 Tabla de Prioridades. 44

Tabla 3.1 Límite de Flexión Recomendados. 46
Tabla 3.2 Carga total y fuerza total para el diseño del chasis. 47
Tabla 3.3 Cargas y fuerzas para el diseño del recubrimiento de la balanza.....51
Tabla 3.4 Cargas y Fuerzas para el diseño de la pletina de soporte de la celda de carga.....55
Tabla 3.5 Cargas y Fuerza total para el diseño de los pernos a cortante con una carga excéntrica. 59
Tabla 3.6 Cargas y Fuerza total para el diseño del Carro Vertical. 63
Tabla 3.7 Cargas y Fuerza total para el diseño del tornillo de potencia.....67

Tabla 3.8 Principales Elementos del Módulo de medición de Peso.....76
Tabla 3.9 Sensor Ultrasónico para medir Altura. 77
Tabla 3.10 Módulo de Movimiento Vertical.....78
Tabla 3.11 Funcionalidad de los Botones.....80
Tabla 3.12 Elementos Electrónicos del Sistema de Volumetría y Pesaje. 81
Tabla 3.13 Clasificación de Consumo por Voltaje 82

Tabla 4.1 Ensamblaje de la Estructura 113
Tabla 4.2 Mediciones realizadas con la pesa de 10 lb o 4.54 kg. 116
Tabla 4.3 Mediciones realizadas con la pesa de 50 lb o 22.68 kg. 119
Tabla 4.4 Mediciones realizadas con 50.4 kg. 120
Tabla 4.5 Mediciones de Altura 7.2 cm. 122
Tabla 4.6 Mediciones de Altura 30.4 cm. 124
Tabla 4.7 Mediciones de Altura 51 cm. 125
Tabla 4.8 Mediciones de 9.2 cm con el sistema de VA. 127
Tabla 4.9 Mediciones de 23.2 cm con el sistema de VA. 128
Tabla 4.10 Mediciones de 40 cm con el sistema de VA. 129
Tabla 4.11 Mediciones de 40 cm con el sistema de VA corregido.....131

ABREVIATURAS

A	Ancho
ADV	Diagramas de Vista de Datos Abstractos
CCD	Coupled Charge Device, Dispositivo de Carga Acoplada
cm	Centímetro
D	Diámetro
fps	frames per second, cuadros por segundo
FV	Factor Volumétrico
g	Gravedad
GF	Factor de Galga
H	Altura
HMI	Interfaz Hombre Máquina
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
IR	Infrarrojo
kg	Kilogramo
L	Longitud
LTL	Less-than-truckload (Menor a la carga del camión)
m	Metro
min	Minuto
mm	Milímetro
PC	Computadora Portátil
PCB	Printed Circuit Board, Placa de Circuito Impreso
PEU	Precio de Envío por Unidad

PR	Peso Real
PT	Peso Tasable
PV	Peso Volumétrico
s	Segundo
T	Tiempo
USD	Dólares Americanos
V	Volumen
VA	Visión Artificial

RESUMEN

Se presenta el diseño y construcción de un sistema de volumetría, pesaje y cálculo de la tarifa de envío mediante un método estándar, para la empresa Orionlogistics dedicada al transporte de carga a nivel nacional (Quito-Machala-Huaquillas) e internacional hacia Tumbes-Perú. La máquina permite medir el peso y las dimensiones del paquete a enviarse y mediante la implementación de un software se presentan los resultados de las mediciones, se estandariza el método de cálculo de la tarifa de envío del paquete utilizando el método LTL (Less Than Truckload), el sistema también es capaz de generar reportes de los envíos realizados y permite la impresión de una etiqueta adhesiva de identificación para cada paquete con sus datos de envío como: dimensiones, peso, tarifa de envió, número de guía, destino, prioridad, datos del remitente y destinatario.

El sistema de pesaje tiene un error de medición del 2% con una precisión de 0.02 kg, mientras que el sistema de volumetría tiene una precisión de 1 cm en sus mediciones de las dimensiones.

Para registrar el envío de un paquete se sigue el siguiente proceso:

- El operador ingresa la información del remitente, destinatario, prioridad y destino en el software.
- El paquete a enviar se debe colocar en la bandeja de medición, donde se procede a determinar su peso y dimensiones, la medición de peso se realiza utilizando una celda de carga resistiva, mientras que las dimensiones del paquete se obtienen mediante la combinación del uso de un sensor ultrasónico y un sistema de visión artificial.
- Después de visualizar las mediciones en el software del sistema de volumetría y pesaje, se procede a calcular la tarifa de envío utilizando el método LTL, tomando en cuenta el volumen del paquete, su peso y su destino.
- Finalmente se procede a registrar el envío en la base de datos e imprimir la etiqueta de identificación del paquete, la cual debe ser pegada manualmente por el operador.

El software del sistema de volumetría y pesaje se encuentra interconectado con una base de datos donde se almacena la información de los clientes, rutas de envío y se

registran los envíos realizados, esto permite al software generar reportes de los paquetes enviados según el número de guía, el destinatario, el remitente, la ruta de envío o según su fecha de registro.

Es importante mencionar que al utilizar un sistema de visión artificial para adquirir las dimensiones del paquete, existe la ventaja de que el paquete puede ser colocado en cualquier sentido o dirección sobre la bandeja de mediciones y esto no influye en los resultados.

ABSTRACT

These document shows the design and construction of a system of volumetry, weighing and calculation of the shipping rate using a standard method, presented for Orionlogistics company dedicated to the transportation of cargo at the national level (Quito-Machala-Huaquillas) and international to Tumbes-Peru . The machine allows to measure the weight and dimensions of the package and through the implementation of a software, it shows results of the measurements, the method of calculation of the package shipping rate is standardized using the LTL method (Less Than Truckload) , the system is also able to generate reports of the shipments and allows to print an identification sticker for each package with its shipping data such as: dimensions, weight, shipping rate, guide number, sender and recipient data .

The weighing system has a measurement error of 2% with an accuracy of 0.02 kg, while the volumetric system has an accuracy of 1 cm.

The following is the process for the registration of a new shipment:

- The operator enters the information related to the sender, recipient, priority, and destination into the software.
- The package must be placed in the measuring tray, where the machine measures its weight and dimensions, the weight measurement is performed using a resistive load cell, while the dimensions of the package are obtained by combining the use of an ultrasonic sensor and an artificial vision system.
- After visualizing the measurements in the software, the shipping rate is calculated using the LTL method, taking into account the volume of the package, its weight and its destination.
- Finally, the shipment has to be recorded in the database and the machine prints the identification label for the package, which must be manually pasted by the operator.

The volumetric and weighing system software is interconnected with a database where customer information is stored, shipping routes and shipments are recorded, this allows the software to generate reports of the shipments according to the guide number, the recipient, the sender, the shipping route or according to the date of registration.

It is important to mention that using an artificial vision system to acquire the dimensions of the package gives some advantages that the package can be placed in any direction on the measurement tray and this does not affect the measurement results.

INTRODUCCIÓN

En la industria de transporte de carga existen diferentes empresas que estandarizan sus tarifas al calcularlas en base al peso facturable que es el mayor valor entre el peso volumétrico y el peso real, ya que los aviones, camiones y contenedores que transportan la mercancía suelen llenarse por el volumen de la carga antes de llegar a su límite de peso, esto indica que los medios de transporte comúnmente se ven limitados por el volumen de sus paquetes, más no por el peso máximo que se puede transportar. Este método de cálculo de la tarifa es denominado menor a la carga del camión, LTL por sus siglas en inglés less tan truckload, es utilizado por diferentes empresas a nivel nacional e internacional como: DHL, FedEx, USPS, UPS, Siati Express entre otras.

Conforme se ha desarrollado la tecnología en función del tiempo, las empresas de transporte han ido mejorando sus procesos de almacenamiento, recepción y transporte interno, mediante la adquisición de nuevas herramientas tecnológicas como lo son las bandas transportadoras, los sistemas de volumetría y pesaje, estas herramientas permiten optimizar tiempos y mejorar la producción de las empresas.

Los sistemas de cubicaje y pesaje, permiten tomar las dimensiones y peso de diferentes paquetes en segundos de forma automática. Un sistema similar al descrito anteriormente pero con la capacidad de calcular la tarifa de envío e imprimir un etiqueta de identificación, es el que se propone desarrollar en este proyecto de investigación, el cual tiene como objetivo estandarizar el método de determinación de precios, obtener mediciones confiables de los paquetes procesados por la empresa Orionlogistics y facilitar el trabajo de los operadores en el momento de la recepción de paquetes.

En el Capítulo I se presentan los objetivos del proyecto, también se explica en qué consisten los sistemas de pesaje y cubicaje, se muestra los tipos de máquinas de volumetría, la descripción de varios sistemas que se encuentran actualmente en el mercado y el estado del arte de los sistemas de volumetría y pesaje. Adicionalmente se explica de forma general el método de cálculo de la tarifa a cobrar por el envío de un paquete LTL (less than truckload), las características generales y los componentes de un sistema de visión artificial.

En el Capítulo II se presenta el análisis, estudio y selección de la mejor alternativa para el diseño y construcción de la máquina. Se desarrolla el diseño basado en la calidad, donde se obtiene los requerimientos técnicos de la máquina en función de la relación y análisis entre la voz de usuario y del ingeniero por medio de la casa de la calidad QFD (Quality Function Deployment). Se muestra también el diseño conceptual de la máquina donde se describen los diferentes módulos funcionales del sistema, la matriz morfológica y la selección de la mejor solución basada en el análisis de las alternativas según el método de criterios ponderados.

En el Capítulo III se presenta el diseño del sistema de pesaje y volumetría, esto implica el diseño mecánico de la máquina, el diseño electrónico para la adquisición de datos, control del sistema y envío de la información hacia la computadora, el diseño de la interfaz o HMI, el diseño de la base de datos y los algoritmos de programación para el sistema de visión artificial.

En el Capítulo IV se expone el proceso de construcción de la máquina, su ensamblaje, las pruebas realizadas al sistema de pesaje, al sistema de cubicaje y se exponen los resultados obtenidos de estas pruebas. El objetivo de estas pruebas y análisis de resultados es determinar el porcentaje de error de la máquina y su precisión en las diferentes mediciones.

.

CAPÍTULO I
SISTEMAS DE PESAJE Y CUBICAJE

1.1 PRELIMINARES

En esta sección se presenta concretamente el tema, alcance y objetivos del proyecto desarrollado, que corresponde a un sistema de pesaje y cubicaje para cajas y cilindros que permita determinar la tarifa de envío de un paquete en función de su destino, volumen y peso.

1.1.1 TEMA

Diseño y Construcción de una máquina para determinar el precio de envío de cajas y cilindros, para la empresa Orionlogistics, en función del cálculo del peso volumétrico y la comparación con el peso real medido.

1.1.2 OBJETIVOS

1.1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo para determinar el precio de envío de cajas y cilindros, para la empresa Orionlogistics, en función del cálculo del peso volumétrico y la comparación con el peso real medido.

1.1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una estructura de soporte para colocar el sistema de pesaje y de toma de dimensiones, considerando un máximo de 50 kg o en función de sus dimensiones para una caja de 40x40x40 cm o un cilindro de 40 cm de diámetro por 40 cm de largo del mismo peso.
- Implementar mediante elementos electrónicos y de control el sistema de medición de peso, ancho, alto y profundidad de las cajas, o en el caso de los cilindros el peso, diámetro y largo.
- Desarrollar y programar los algoritmos necesarios para el cálculo del peso volumétrico con implementación de visión artificial.
- Implementar el cálculo del precio en función del peso volumétrico o el peso real para la mejora del sistema de cobro por el envío de cajas y cilindros en la empresa Orionlogistics.

- Crear una interfaz que muestre las dimensiones del paquete, su peso real, su peso volumétrico calculado en función de sus dimensiones y la densidad promedio establecida por diferentes entidades de transporte, su destino y el precio calculado en función de las variables mencionadas anteriormente.
- Imprimir la etiqueta de identificación del paquete a enviarse, que indique las variables medidas y su destino.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema de medición y de los algoritmos de cálculo del precio a cobrar.

1.1.3 HIPÓTESIS

El prototipo diseñado y construido para determinar el precio de envío de cajas y cilindros, para la empresa Orionlogistics, en función del cálculo del peso volumétrico y la comparación con el peso real medido, mejora el proceso para establecer el precio adecuado a cobrar por un paquete, optimizando el proceso actual de la empresa por cada envío y facilitando el trabajo a los operadores al realizar las mediciones automáticamente y generando una etiqueta para la caja o cilindro. El software será capaz de generar reportes de los ingresos realizados en un determinado periodo.

Los sistemas de pesaje y cubicaje son utilizados en la industria como instrumentos para reducir tiempos y mejorar la precisión en el proceso de medición de un objeto.

1.2 SISTEMAS DE PESAJE

Los sistemas de pesaje sirven para determinar la cantidad de materia que contiene un cuerpo, su unidad de medida según el Sistema Internacional es el kilogramo (kg) y estos instrumentos de medición de masa se clasifican según su forma de operar como: manuales o automáticos; según su señal de salida pueden ser analógicos, digitales, o simplemente cuentan con indicadores visuales.

La tecnología de pesaje es importante en varias áreas de la industria como la logística, el comercio, empaque y embalaje, etiquetado, control de calidad entre otras. En base a las básculas automáticas con salidas electrónicas se han desarrollado sistemas automáticos más complejos dependiendo del requerimiento de la empresa, por ejemplo pueden crearse sistemas de llenado o carga, sistemas de evaluación y clasificación etc. [1].

Entre los instrumentos más comunes para medir la masa se encuentran:

Balanza: constituida por dos brazos que se basan en el principio de obtener el equilibrio utilizando pesas de dos elementos, lo cual permite determinar la masa del cuerpo en análisis.

Báscula: se constituye por una base en posición horizontal, en la cual se ubica el cuerpo a pesar y mediante un sistema de palancas se transmite el peso a un brazo que se equilibra con una pesa y por medio de un indicador se marca el peso. Gracias a este sistema, es posible establecer el peso de elementos de gran magnitud de manera sencilla.

Figura 1.1 a) Balanza b) Báscula
Fuente: HBM Instrumentos [2]

Actualmente en la industria se ocupan básculas como la de la Figura 1.2 que permiten determinar la masa de un cuerpo utilizando células de carga digitales, la señal resultante puede ser enviada hacia un sistema de control o a un visualizador. Estos instrumentos de medida suelen integrarse a sistemas automatizados o controladores como PLCs [2], por medio de los diferentes protocolos de comunicación que manejan estos instrumentos de medición.

Figura 1.2 Básculas Electrónicas
Fuente: HBM Instrumentos [2]

Según [3] los sistemas de pesaje industrial se presentan en forma de diferentes productos como:

- Básculas para almacenaje y recepción
- Básculas para montacargas
- Básculas contadoras de elementos en relación al peso unitario
- Balanzas industriales de alta precisión
- Básculas envasadoras
- Verificadores de peso en bandas transportadoras
- Verificador de peso estático
- Pesaje dinámico de flujo continuo

Como sensores de medición principales para estos sistemas existen:

- Células de carga a base de galgas extensiométricas.
- Células de carga hidráulicas.
- Células de carga neumáticas.

La selección de estos sensores depende de la carga máxima a medir y el ambiente de trabajo [4].

Los sistemas de pesaje dinámico son innovadores ya que permiten determinar la masa de un elemento mientras el mismo se transporta de un lugar a otro. Está compuesto principalmente por un pesómetro, que según [5] se refiere a una estación de pesaje montada en una cinta donde se transporta el producto, consta de un sensor de velocidad, un puente de pesaje (utilizando celdas de carga), la cinta transportadora y un integrador para determinar el peso. Un diagrama de estos sistemas se puede observar en la Figura 1.3.

1.3 SISTEMAS DE CUBICAJE

Los sistemas de cubicaje son herramientas que permiten tomar las dimensiones de diferentes productos, ya sean estos de forma regular o irregular. En el caso de los elementos irregulares se toman las dimensiones máximas y se forma una figura regular que contenga el elemento irregular en su interior.

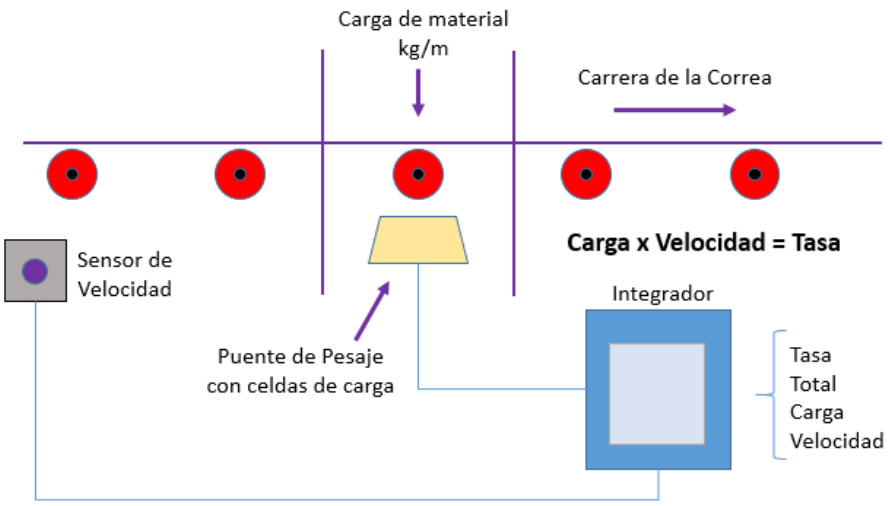


Figura 1.3 Pesaje Dinámico
Fuente: Revista Electro Industria [5]

Estos sistemas de cubicaje son muy útiles para optimizar las operaciones de las industrias de paquetería, distribución y almacenamiento. Determina datos útiles para optimizar el uso y organización de los almacenes, camiones, contenedores de envío y aviones, tomando en cuenta que el espacio que ocupa un producto tiene un costo.

La toma de datos volumétricos y de peso, realizada de forma manual a través de la historia ha sido lenta, imprecisa y requiere de personal para realizar las mediciones, los trabajadores deben trabajar con reglas o cintas métricas y su apreciación visual. Por estos motivos se crearon los sistemas de cubicaje que son herramientas de escaneo de dimensiones de forma automática, que tratan de evitar problemas de precisión y reducen la cantidad de personal requerido para tomar dimensiones. Estos sistemas automáticos permiten tomar las dimensiones rápidamente, con precisión y sin retrasar la producción.

Según [1] estos sistemas de volumetría utilizan elementos tecnológicos para la detección y medición, entre estos elementos se pueden mencionar: sensores ultrasónicos, láser, cámaras de visión, luz infrarroja o sensores de luz para escanear la longitud, ancho y altura de la mercancía. En la industria estos sistemas se combinan con otras tecnologías como los códigos de barras, impresoras de etiquetas y sistemas de pesaje en línea o estáticos, de esta forma crean un sistema más completo para obtener, mostrar y almacenar la información sobre la mercancía que se maneja.

Aplicaciones de los sistemas de dimensionamiento según [1]:

- Diseño de una instalación (Bodegas o lugares de almacenamiento) en función del tamaño, peso y cantidad de las cosas que almacenarán
- Optimización de espacio de almacenamiento
- Mejorar el proceso de agrupamiento de mercancía y aprovechamiento de espacio
- Selección del tamaño de caja óptima para almacenar un producto
- Verificación de dimensiones
- Optimización de embalajes, evitar gran cantidad de desechos
- Facturación de productos a enviarse
- Construcción de la carga en camiones, aviones, tráiler, entre otros.

De acuerdo a diferentes modelos de sistemas de cubicaje en el mercado según [6], [7], [8] y [9] existen diferentes instrumentos y métodos para tomar las medidas de los paquetes en análisis como los sensores infrarrojos, sensores ultrasónicos y sistemas de visión artificial, mientras que para determinar el peso real se pueden utilizar galgas extensiométricas o células de carga. Los sistemas que cuentan con visión artificial se utilizan para tomar las dimensiones de paquetes con formas irregulares, y construyen un cubo con las dimensiones máximas del paquete. Varios de estos sistemas cuentan con pantallas LCD donde se indica la información de las mediciones, pero algunos también cuentan con módulos de transmisión de información.

Concluyendo según [6], [7], [8] y [9] existen diferentes sistemas de cubicaje y pesaje en el mercado, se pueden dividir en dos categorías: los sistemas de análisis estático, y sistemas de análisis dinámico.

1.3.1 Sistemas de cubicaje o dimensionamiento estático

Los sistemas estáticos analizan el tamaño y peso del producto, mientras el mismo se encuentra inmóvil en una estructura de soporte. Un ejemplo de estos sistemas es el Cubiscan 150, que se puede visualizar en la Figura 1.4.

Figura 1.4 Sistema de Cubicaje Cubiscan 150
Fuente: Cubiscan150 Datasheet [10]

1.3.2 SISTEMAS DE CUBICAJE O DIMENSIONAMIENTO DINÁMICO

Los sistemas dinámicos permiten tomar las dimensiones de tamaño y peso del producto, de forma simultánea mientras el elemento en análisis se transporta de un lugar a otro especialmente por medio de bandas transportadoras, por ejemplo se puede mencionar el Cubiscan 210-DS que se muestra en la Figura 1.5.

Figura 1.5 Sistema de Cubicaje Cubiscan 210-DS
Fuente: Cubiscan 210 Datasheet [11]

En la Tabla 1.1 se presentan diferentes sistemas de cubicaje disponibles en el mercado y sus características principales, como las dimensiones y peso de la máquina de cubicaje, las limitaciones de medición de los sistemas y los sensores que utilizan.

Tabla 1.1 Máquinas de Cubicaje y sus características

Sistemas de Cubicaje y Pesaje	Especificaciones del Equipo		Especificaciones de Medición						
	Dimensiones	Peso	L	A	H	Peso	Tipo de Sensor Distancia	Tipo de Sensor Peso	Tipo de Máquina
	L x A x H mm	kg	mm	mm	mm	Kg			
Cubiscan 110 [5]	1105 x 864 x 1194	32	13-762	13-610	13-914	50	Ultrasónico	Celda de Carga	Estática
Cubiscan 150 [6]	162 x 107 x 221	195	120	100	100	70	Ultrasónico	Celda de Carga Resistiva	Estática
ParacelCube 900 [7]	680 x 680 x 1130	28	620	620	940	55	Ultrasónico	Celda de Carga	Estática
Cubiscan 25 [8]	813 x 712 x 597	28	450	350	305	6	Infrarrojo	4 Celdas de Carga	Estática
SKP-1000 [9]	485 x 540 x 1000	17	540	940	640	50	Infrarrojo	Celda de Carga	Dinámica
Cubiscan 200 TS [10]	1735 x 1360 x H[1]	360	1530	1220	920	50	Infrarrojo	Celda de Carga	Dinámica

1.3.3 Descripción de Diferentes Sistemas de Cubicaje

En la siguiente sección se describen 3 diferentes sistemas de cubicaje que aplican diferentes técnicas de medición, se analizan sistemas estáticos y dinámicos.

1.3.3.1 CubiScan 150

El Cubiscan 150 es un equipo de volumetría creado por la empresa Quantronix, tiene un rango máximo de medición de 1000 x 1000 x 1200 mm y una capacidad de peso neto de 70 kg (150 lb). Tiene una resolución de medición de 5 mm y una resolución de peso de 0.02 kg, estos valores son indicadores de la precisión del producto. Su velocidad de operación oscila entre 1-2 segundos por medición según [12].

El CubiScan 150 es un sistema que se encuentra montado sobre ruedas que se pueden bloquear, lo cual permite moverlo con facilidad y volver a fijarlo cuando sea necesario. Tiene disponible 2 puertos seriales para la comunicación, un puerto serial específicamente para la impresión directa de las mediciones y un puerto Ethernet que permiten la conexión de red y la transferencia de datos (ASCII). Para la medición utiliza sensores ultrasónicos de 50 KHz, mientras que para determinar el peso se utiliza una celda de carga resistiva, el sistema para energizarse requiere una conexión monofásica de 100 a 240 VAC con una frecuencia de 47 a 63 Hz.

[1] Altura regulable desde 700 a 1000 milímetros

Físicamente el equipo tiene 1620 mm de longitud, 1070 mm de ancho, 2210 mm de altura y pesa 195 kg. La estructura del equipo cuenta con un alojamiento opcional para colocar un brazo de soporte para sostener una computadora en caso de que sea necesario. Una representación del CubiScan 150 se puede observar en la Figura 1.6.

Figura 1.6 Cubiscan 150 con el brazo de soporte para el computador
Fuente: Cubiscan150 Manual de Usuario [10]

Cuenta con un software para computadoras llamado Qbit, esta interfaz es opcional ya que se puede visualizar los valores de las mediciones en una pantalla en la propia máquina. El CubiScan 150 tiene la capacidad de almacenar miles de registros de información, puede funcionar en conjunto con equipos de escaneo de códigos de barras, dispositivos de impresión de etiquetas y se puede comunicar directamente con el sistema de inventarios o gestión de almacén por medio del puerto serial.

1.3.3.2 CubiScan 200-TS

Según [13] el Cubiscan 200-TS es un sistema integrado de dimensionamiento y pesaje dinámico. Permite medir y pesar rápidamente un producto mientras este se transporta de un lugar a otro. Cuenta con una banda transportadora que puede ser de 1220 mm o 910 mm, con la capacidad de 1520 mm de longitud. La banda transportadora puede alcanzar una velocidad de operación de hasta 70 m/min, en ella se incorpora la tecnología multi-básculas en una misma plataforma de pesaje al mismo tiempo, lo cual permite que más de un paquete sea pesado simultáneamente.

El sistema cuenta con una pantalla a color de matriz activa que provee de numerosas estadísticas operativas y de diagnóstico, así como botones táctiles de control. Puede

interactuar con equipos de lectura de código de barras, dispositivos de impresión de etiquetas y software de gestión de inventarios, embarques, facturación, etc.

El CubiScan 200-TS utiliza tecnología de luz infrarroja para tomar las dimensiones de los productos mientras que para determinar el peso utiliza una celda de carga, para energizarse requiere de 110 VAC a 60 Hz. Su rango de medición en longitud está entre 150 a 1530 mm, de acuerdo al ancho varía entre 100 a 1220 mm, según la altura entre 60 y 920 mm, mientras que tiene una capacidad de pesaje de 0.5 a 50 kg. Cuenta con puertos de comunicación RS-232, 422 bidireccionales y programables según requiera el usuario para realizar la conexión.

Físicamente el sistema tiene una longitud de 1735 mm, 1681 mm de ancho, una altura variable del transportador y un peso de 360 kg. Una representación del CubiScan 200-TS se puede observar en la Figura 1.7.

Figura 1.7 Cubiscan 200-TS
Fuente: Cubiscan200-TS Manual de Usuario [14]

1.3.3.3 ParacelCube 900

Según [7] el ParacelCube 900 es un sistema de volumetría de bajo costo, que es confiable, preciso y eficiente para tomar las dimensiones, peso y registrar una Identificación ID de un producto.

Este sistema cuenta con un software para PC que permite transferir la información en tiempo real, su interfaz permite manejar la información registrada por el sistema de medición para cualquier aplicación. Adicionalmente es capaz de almacenar una

fotografía en su registro y puede ser conectado con un lector de código de barras o una impresora de etiquetas.

ParacelCube no necesita de un mantenimiento o calibración física, estos procesos pueden realizarse de forma remota con el equipo de soporte técnico. Cuenta con una estructura diseñada para trabajar en la industria, hecha de aluminio de 5 mm. Físicamente la máquina tiene 680 mm de longitud, 680 mm de ancho, 1130 mm de altura y pesa 28 kg.

Sus rangos de medición son los siguientes:

- Longitud 40 – 620 mm
- Ancho 40 – 620 mm
- Alto 40 – 940 mm
- Peso 0.01 - 55 kg

La precisión del sistema para las mediciones de longitud, ancho y alto es de +/- 5 mm estas mediciones se realizan por medio de sensores ultrasónicos, mientras que para el sensor de peso la precisión es de 0.001 kg y se utiliza una celda de carga. Para energizar el sistema se requiere 100 - 240 VAC. El sistema cuenta con un puerto USB para la conexión a la PC para transferir la información.

En la Figura 1.8 se presenta la máquina y su interfaz para la PC.

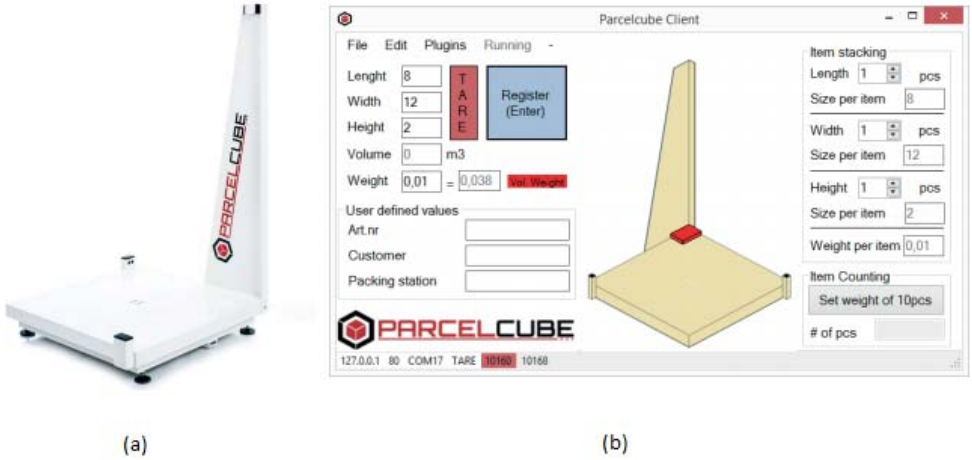


Figura 1.8 a) ParacelCube 900 b) Interfaz de ParacelCube para PC
Fuente: Hoja de Especificaciones del ParacelCube [7]

1.4 MÉTODO DE CÁLCULO DE LA TARIFA A COBRAR POR EL ENVÍO DE UN PAQUETE (LTL LESS THAN TRUCKLOAD)

En la industria de carga existen diferentes empresas ya sea de transporte aéreo, terrestre o marítimo que estandarizan sus tarifas al calcularlas en base al peso tasable o facturable que es el mayor valor entre el peso volumétrico y el peso real, ya que los aviones, camiones y contenedores que transportan la mercancía suelen llenarse antes de llegar a su límite de peso, esto indica que los medios de transporte comúnmente se ven limitados por el volumen de sus paquetes, más no por el peso máximo que se puede transportar. Este mismo método de determinación del precio es utilizado por diferentes empresas de transporte nacional e internacional como: Röhlig Logistics, DHL, FedEx, Correos del Ecuador, entre otras.

Para determinar el peso tasable se debe comparar el peso real del paquete que se obtiene realizando la medición con un instrumento adecuado, y el peso volumétrico que se calcula en función de las dimensiones del paquete y un factor volumétrico que implica un cálculo de relación entre el peso de la carga y el volumen que ocupa, este factor varía según el medio de transporte, ya sea este aéreo, terrestre o marítimo. Este método para determinar el peso tasable se utiliza cuando los medios de transporte llevan una carga menor a la que puede transportar, pero se ven limitados por el volumen de los paquetes, estos envío se denominan como LTL por sus siglas en inglés Less-than-truckload según [15].

De acuerdo con [16] y [17] la relación actual del Peso/Volumen, llamado también factor volumétrico FV, según el tipo de transporte se indica en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Factor Volumétrico

Tipo de Flete	Relación P/V	Factor Volumétrico
Aéreo	1 m^3 → 167 kg	6000 cm^3/kg
Terrestre	**1 m^3 → 333 kg**	**3000 cm^3/kg**
Marítimo	1 m^3 → 1000 kg	1000 cm^3/kg

Aplicando los valores de la Tabla 1.2 y las dimensiones del paquete en la expresión (1) se puede calcular el peso volumétrico.

$$PV = \frac{L \ x \ A \ x \ H}{FV \ [cm^3/kg]} \tag{1}$$

Dónde:

$PV = \text{peso volumétrico, en kg;}$

$L = \text{longitud, en cm;}$

$A = \text{ancho, en cm;}$

$H = \text{altura, en cm.}$

Para determinar la tarifa a cobrar se debe aplicar la expresión (2), tomando en cuenta que el peso tasable (PT) es el mayor valor entre el peso volumétrico (PV) y el peso real (PR) del paquete a enviarse.

$$Tarifa = PT \ x \ PEU \tag{2}$$

Dónde:

$Tarifa = \text{Tarifa o precio a cobrar, en USD;}$

$PT = \text{Peso Tasable o Facturable, en kg;}$

$PEU = \text{Precio de Envío Unitario, en USD/kg.}$

Este método de cálculo de la tarifa y los valores correspondientes al factor volumétrico son utilizados por varias empresas a nivel nacional e internacional, entre estas se puede mencionar a DHL, Röhlig Logistics, FedEx, USPS, UPS, Servientrega, Siati Express, entre otras; motivo por el cual se puede decir que este método de cálculo y los valores del factor volumétrico son un estándar que permite una competencia equilibrada en el mercado.

Dentro de las empresas de transporte normalmente la medición de las dimensiones se realiza manualmente, pero mientras aumenta la competitividad de las empresas y su capacidad de producción, se requiere que los procesos logísticos sean mucho más rápidos, para lo cual se demanda el uso de nuevas tecnologías o máquinas automáticas que agiliten las operaciones. Existen sistemas que permiten medir el peso y las dimensiones de diferentes paquetes, por medio del uso de sensores electrónicos, luego muestran sus resultados en pantallas o también pueden enviar esta información en protocolos de comunicación estándar (Serial, RS232 o RS485). Estos sistemas pueden utilizarse para auditar y revisar paquetes de los productos producidos en una

empresa. Estos sistemas automáticos que permiten tomar los datos de las dimensiones y peso de un paquete son llamados también sistemas de volumetría y pesaje.

Para seleccionar el sistema de volumetría adecuado se debe analizar el proceso actual, la mejora que se requiere o se planea obtener con la implementación del sistema automático, las dimensiones máximas que se requiere medir, las diferentes formas geométricas de los diferentes paquetes a medir, analizar sí la tecnología debe ser estática o dinámica en función del proceso, determinar sí se requiere transmitir información y con qué protocolos de comunicación, analizar los diferentes modelos de máquinas y tomar en cuenta las limitaciones de espacio de la máquina. Los sistemas automáticos de volumetría o cubicaje permiten tener una información más precisa sobre las dimensiones de un paquete, de forma más rápida que al realizarlo manualmente.

1.5 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Visión Artificial es un campo de la Inteligencia Artificial, donde mediante herramientas y técnicas adecuadas se puede obtener, procesar y analizar información captada a través de imágenes digitales [18].

En forma general el análisis de imágenes consiste en 5 etapas [19]:

- Adquisición de la imagen
- Pre procesamiento (mejorar la calidad de la imagen aplicando filtros)
- Segmentación (identificar el objeto de estudio en la imagen)
- Medición o Extracción de Características
- Interpretación de Resultados o Clasificación

Las aplicaciones de los sistemas de visión artificial se dividen en 3 grupos: control de procesos, el control de calidad, y las aplicaciones no industriales.

Dentro de las aplicaciones de control de calidad se encuentran sistemas para:

- Inspección Geométrica
- Lectura de Datos o Decodificación (código de barras, marcaciones industriales típicas)

- Conteo
- Localización
- Inspección de superficies
- Reconocimiento y Clasificación de objetos
- Inspección de dimensiones

La visión artificial tiene una gran cantidad de áreas de investigación como la medicina, biometría, biomecánica, seguridad, entre otros, pero este proyecto se enfoca en la inspección de dimensiones de objetos ya que se pretende utilizar el sistema de visión artificial para tomar las medidas de los paquetes a enviarse.

1.5.1 Componentes de un sistema de visión artificial

Para tener un buen sistema de visión se han desarrollado diferentes elementos que permiten capturar y analizar las imágenes de mejor forma, por lo cual se presenta a continuación de forma genérica los componentes de un sistema de visión artificial según [18]:

- Iluminación (opcional depende de la cámara)

  La iluminación es una de las partes más críticas e incidentes en los sistemas de visión artificial, por lo cual es muy importante seleccionar correctamente la luz y geometría, para así revelar las características de la pieza y minimizar la información no valiosa. Es un componente muy importante ya que sí las características de una pieza no pueden ser vistas por la cámara, tampoco podrán ser analizadas.
- Lentes

  La función de los lentes también es importante ya que de estos depende el campo de visión de la cámara, permite distribuir la imagen al sensor.
- Cámara o Sensor

  La cámara o sensor tiene la función de capturar y convertir la imagen en formato digital. De la resolución del sensor dependerá la precisión del análisis de la imagen, ya que mientras mayor resolución tenga el sensor se podrá apreciar más claras las características del objeto en análisis.

- Tarjetas de Adquisición (opcional)

  Llamadas también grabbers, son tarjetas de adquisición especiales que permiten tomar las imágenes con una mejor calidad y enviarlas al ordenador con el fin de procesarlas, analizarlas o visualizarlas.

- Computador (Rutina de Inspección, Software)

  Permite extraer la información útil de las imágenes, comienza con la adquisición de la imagen, después la pre-procesa mediante filtros para obtener una imagen más clara para posteriormente analizar, comparar y entregar los resultados.

- Comunicación

  Los elementos de comunicación permiten informar sobre los resultados de la inspección o análisis de la imagen, pueden ser elementos que permitan entregar señales digitales, como también permitan la transferencia de datos a través de determinados protocolos de comunicación.

En la siguiente figura se puede apreciar un sistema de visión artificial que comprueba el llenado y la colocación de la tapa en botellas.

Figura 1.9 Ejemplo de un Sistema de visión artificial para el llenado y colocación de tapas de botellas. Fuente: sivartsl.com [20]

1.6 ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE VOLUMETRÍA Y PESAJE

En esta sección se presenta un análisis del desarrollo tecnológico, la disponibilidad y el uso de los sistemas de volumetría. Se presenta un análisis global a nivel mundial, para después profundizar en el desarrollo continental a nivel de América y por último se analiza la situación del Ecuador en relación al desarrollo y uso de estos sistemas.

1.6.1 Desarrollo de los Sistemas de Volumetría a Nivel Mundial

A nivel mundial existen varias empresas enfocadas en el desarrollo de sistemas de volumetría y soluciones de logística como Cubiscan de Quantronix, Mettler Toledo, ParacelCube, entre otras.

ParacelCube [7] es una multinacional de Finlandia, que tiene la misión de producir sistemas de dimensionamiento que sean amigables con el usuario y que tengan un precio razonable. Esta empresa cuenta con una red global de 18 importadores en Asia, África, Australia, Europa, América Latina y Norte América. Esta empresa ha trabajado en sistemas de pesaje, dimensionamiento y cubicaje desde el año 2009. Su primer producto salió en el año 2012 con el objetivo de entregar un producto de calidad a bajo precio. Esta empresa ha desarrollado sistemas de volumetría estáticos, teniendo como su producto estrella el ParacelCube 900.

La empresa Cubiscan de Quantronix [21] se encuentra en la ciudad de Farmington, Utah en Estados Unidos de Norte América, su misión principal es el desarrollo de sistemas automáticos para analizar las dimensiones, sistemas de volumetría o cubicaje y sistemas de pesaje. En 1987 crearon un prototipo automático de dimensionamiento y pesaje en conjunto con la Agencia de Defensa y Logística de los Estados Unidos DLA, poco a poco mejoraron el prototipo y en 1989 Quantronix se convirtió en el contratista primario para la DLA para la instalación y producción de varios sistemas de dimensionamiento con su producto Cubiscan 100. Desde el desarrollo de este producto Quantronix ha sido el pionero en el desarrollo de sistemas automáticos de volumetría, hoy en día ofrece sistemas estáticos, dinámicos y software para estos sistemas. Cuentan con una amplia línea de productos que incluyen el CubiScan 100, CubiScan 150, CubiScan 50-PS, CubiScan 30, CubiScan 1000-VS, CubiScan 1200-AKL, CubiScan 200-B, CubiScan-LC, CubiScan 200-TL, y CubiScan

200-XIR. Estos productos son desarrollados con diferentes tecnologías dependiendo de sus aplicaciones, de esta forma tratan de satisfacer las necesidades para las diferentes aplicaciones de cubicaje y pesaje. Esta empresa tiene una gran red de importadores y vendedores a nivel mundial.

Mettler Toledo [22] es una multinacional que cuenta con instalaciones de fabricación ubicadas en EE.UU., Alemania, Reino Unido, Suiza y República Popular China, pero se pueden adquirir sus productos en más de 100 países a nivel mundial. Esta empresa produce una gran variedad de instrumentos, sensores, transmisores, medidores y sistemas como básculas industriales, sistemas de inspección de productos en línea, soluciones de transporte y logística, sistemas de cubicaje, equipos de inspección, entre otros productos de análisis de variables industriales. Mettler Toledo produce sistemas estáticos y dinámicos para realizar el control volumétrico, pesaje y escaneo de paquetes; sus productos principales son el Cargoscan para análisis estático y el TLX MultiCapture para un análisis dinámico de paquetes.

1.6.2 Desarrollo y Aplicación de los Sistemas de Volumetría en América Latina

En América Latina en relación a proyectos de volumetría el país que más desarrollo ha presentado es México, donde se encuentra ubicada la empresa Montra S.A. [23], la cual está especializada en el desarrollo y venta de montacargas eléctricos, básculas y sistemas de cubicaje electrónico de alta tecnología, para dar soluciones a problemas de almacenaje y logística en la industria.

Montra S.A. ofrece los sistemas de volumetría de la empresa Cubiscan, entre sus productos estáticos se presentan el CubiScan 30, 100, 110,125, 150, 1200 AKL, mientras que las máquinas de dimensionamiento dinámico que se ofrecen son el CubiScan 200-TS, 210-SS, y el 210-DS. Esta empresa mexicana no fabrica, ni estudia métodos nuevos para crear sistemas de volumetría, pero si se dedica a la investigación, desarrollo e implementación de sistemas en los cuales se utilicen como elementos principales de medición los productos mencionados anteriormente, en resumen se dedican a la producción de soluciones de logística utilizando los productos CubiScan.

Un ejemplo importante de los proyectos desarrollados por Montra S.A es un software que mediante su conexión serial al CubiScan 150, puede determinar el precio de envío

de diferentes cajas en dependencia de sus dimensiones y su destino, este es un software de recepción de paquetes que toma las dimensiones que le envía el CubiScan y en base a un algoritmo tomando en cuenta el volumen, destino y peso del paquete se calcula la tarifa a cobrar, para finalmente imprimir un recibo con el peso, dimensiones y costo de envío del paquete. En la Figura 1.10 se puede observar el sistema de recepción de paquetes desarrollado por Montra S.A.

(a) (b)

Figura 1.10 a) CubiScan 150 midiendo b) Software de Recepción de paquetes de Montra SA
Fuente: Canal de YouTube de Montra SA [24]

Montra S.A. se dedica a la venta de sistemas de volumetría, básculas y otros productos, pero también son desarrolladores de aplicaciones empleando estos sistemas como anteriormente se mencionó.

1.6.3 Aplicación de los Sistemas de Volumetría en el Ecuador

Actualmente en el Ecuador no existen investigaciones académicas realizadas que tengan como objetivo desarrollar sistemas de cubicaje y pesaje, pero si se encuentran disponibles investigaciones de gerencia de logística y optimización de procesos donde se utilizan los sistemas propuestos para el mejoramiento de la producción.

Siati Group es una empresa ecuatoriana que cuenta con una sucursal en Miami, dedicada al manejo de paquetes y carga de diferentes clientes que realizan compras en línea y necesitan el envío rápido de sus productos hacia Ecuador. Esta empresa es parte de Siati Express Internacional.

Según [25], una entrevista realizada a Fernando Banderas, gerente general de Siati Group, confirma que su empresa utiliza los sistemas de dimensionamiento de CubiScan conectados a su software llamado Magaya para pesar y medir los paquetes de forma precisa cuando estos son recibidos. Esta empresa ecuatoriana debido a su

rápido crecimiento y gran aumento de clientes y contratos, debió añadir trabajadores adicionales y crear jornadas de trabajo extra para cumplir con el manejo y transporte de los paquetes de sus clientes. Pero su punto de saturación de trabajo se dio en el mes de Diciembre del 2011 donde la empresa procesaba alrededor de 2500 paquetes por día debido a las festividades, lo cual les obligaba a trabajar en 3 turnos con personal y horas extra, los medios de transporte no tenían ningún problema con la carga, la base de datos con la que cuenta la empresa tampoco generaba problemas, pero el personal humano se veía muy agotado, debilitado, razón por la cual debieron buscar alternativas de mejoramiento de sus procesos, y para cumplir con este objetivo Siati Group adquirió 3 sistemas de dimensionamiento CubiScan, para sus trabajos en la casa de almacenamiento, estos sistemas fueron conectados a su base de datos Magaya y de esta manera se registran el peso y las dimensiones del paquete de forma automática, logrando así reducir los errores y acelerar el procesamiento en la recepción de paquetes. El sistema implantado se puede observar en la Figura 1.11.

Figura 1.11 CubiScan 150 implementado en el sistema de recepción de paquetes de Siati Group
Fuente: Magaya.com Casos de Estudio [25]

Según [25] se indica que la adquisición de los sistemas de volumetría y pesaje ayuda a reducir errores y aumenta la velocidad de procesamiento. Al reducir errores en las mediciones en especial en el pesaje, también se reduce la probabilidad de penalizaciones por la medición incorrecta del peso. El departamento de aduanas en Ecuador penaliza si el peso es mayor al 5% del peso declarado.

CAPÍTULO II
ANÁLISIS, ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1 DESARROLLO DEL DISEÑO BASÁNDOSE EN LA CALIDAD

Conseguir calidad a través del diseño es una forma de la ingeniería concurrente, donde se debe tomar en cuenta los requerimientos de calidad desde la etapa inicial de diseño, asegurando que el producto o servicio satisfaga los requerimientos o necesidades del cliente. Para efectuar este tipo de diseño se debe cumplir con 4 fases importantes según [26]:

- La planificación del producto o casa de la calidad
- El despliegue o caracterización de los componentes
- Planificación del proceso de fabricación
- Planificación del proceso de producción

2.1.1 Determinación de los Requerimientos Técnicos

El proyecto en desarrollo tiene como finalidad satisfacer las necesidades y requerimientos de ORIONLOGISTICS CIA. LTDA., la cual es una empresa de capital 100% ecuatoriano, dedicada al transporte, distribución y logística de todo tipo de carga, elaborando soluciones integrales a la medida utilizando vehículos y personal calificado; con el objetivo de brindar tranquilidad a sus clientes asegurando que su mercadería llegue a tiempo y de forma segura. La empresa cuenta con una flota de camiones propia y una red de proveedores calificados de todo tipo de vehículos modernos (tráileres, camiones, furgones y camionetas) con una capacidad máxima de 10 toneladas, los vehículos cuentan con todo el equipamiento regulatorio necesario para cumplir con los requerimientos de los clientes y dar un servicio de calidad. Sus vehículos cuentan con tecnología de rastreo satelital para ser ubicados en cualquier parte del país.

Orionlogistics ofrece a sus clientes transporte de sus exportaciones desde Ecuador a Tumbes-Perú, incluyendo la asesoría en la documentación necesaria, como también ofrecen transporte de carga a nivel nacional, en especial en sus rutas habituales de Quito – Machala - Huaquillas.

La misión de la empresa es transportar mercadería en sus rutas Quito, Machala, Pasaje, Santa Rosa, Arenillas, Huaquillas y Tumbes (Perú), brindando un servicio de calidad, seguridad y puntualidad.

Su visión es ser líderes en el transporte de mercadería hacia la provincia de El Oro y ser competitivos en el mercado nacional, brindando un servicio responsable y de calidad.

La matriz de Orionlogistics se encuentra ubicada en la ciudad de Quito en el Barrio Sto. Domingo de Carretas Pasaje E8A y Calle N76C, Carcelén; también cuenta con sucursales en la ciudad de Machala y Huaquillas.

El proceso de recepción de paquetes en la sede principal de Orionlogistics se realiza de forma manual donde uno de los operarios analiza visualmente el tamaño del paquete, mide su peso y pone un precio al envío en dependencia de su experiencia y el lugar de destino; para mejorar el proceso de recepción de paquetes se plantea crear un sistema de volumetría y pesaje conectado a un software para realizar la recepción del paquete, determinar el valor a cobrar por el envío y generar un identificador para el paquete a transportar.

2.1.1.1 Esquema de los sistemas de volumetría y pesaje

Los equipos de volumetría y pesaje constan de:

- Medidores de las dimensiones del paquete
- Medidor de peso
- Visualizador de las mediciones realizadas
- Transmisor de información (sistema de comunicación)

En la Figura 2.1 se puede observar un esquema general de un sistema de volumetría y pesaje.

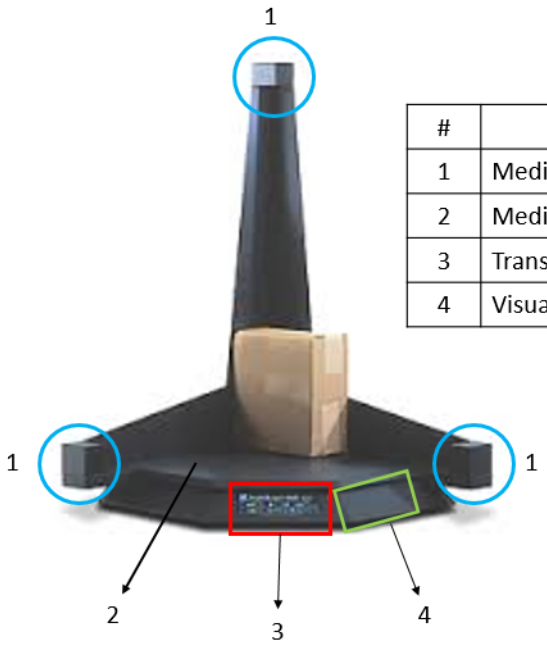
Es importante considerar que no todos los sistemas de volumetría y pesaje tienen una pantalla para visualizar las mediciones, sino que también se pueden transmitir los datos hacia una computadora con un software especializado; el tipo de sensores utilizados para determinar las dimensiones de los paquetes depende de la precisión

requerida, la forma de los paquetes a medir y las dimensiones máximas, mientras que los sensores de peso dependen de la carga máxima a medir y la precisión requerida.

De forma adicional también existen sistemas de volumetría y pesaje que cuentan con bases de datos para almacenar la información, sistemas de identificación de los paquetes por códigos de barra, o sistemas de etiquetado para marcar los paquetes con la información requerida.

Mientras que el sistema de volumetría propuesto se puede observar en la Figura 2.2 y consta de:

- Medición de la altura del paquete con un sensor de distancia
- Sistema de visión artificial para la medición de ancho y largo de los paquetes
- Medidor de peso del paquete
- Software de visualización de las mediciones y cálculo del precio a cobrar
- Base de datos.



#	Descripción
1	Medidores de las dimensiones del paquete
2	Medidor de Peso
3	Transmisor de Información y Consola de Control
4	Visualizador de Información

Figura 2.1 Esquema general de un sistema de volumetría y pesaje

#	Descripción
1	Medidores de las dimensiones del paquete
2	Medidor de Peso
3	Consola de Control
4	Software de para visualizar e ingresar información
5	Base de Datos

Figura 2.2 Esquema del sistema de volumetría y pesaje propuesto

2.1.1.2 Casa de la Calidad

El desarrollo de la función de calidad QFD (Quality Function Deployment), es un método que tiene como objetivo principal asegurar que en la definición del producto o servicio se consideren las necesidades y requerimientos de los usuarios.

Según [26] la casa de la calidad convierte las demandas de los clientes en características técnicas del producto. Para su desarrollo se debe seguir los siguientes pasos:

1) Voz del Usuario
   Describe las demandas, requerimientos, necesidades y deseos de los usuarios o clientes.
2) Análisis de competitividad
   Indica el grado de satisfacción que proporcionan los productos o servicios de la empresa respecto a los de la competencia según el cliente o usuario.
3) Voz del ingeniero
   Describe los requerimientos técnicos que deberán articularse para satisfacer las demandas del usuario.
4) Correlaciones
   Relaciona la voz del usuario con la voz del ingeniero.

5) Comparación técnica
   Compara el producto de la empresa con los de la competencia
6) Compromisos técnicos
   Establece los compromisos potenciales entre las características técnicas del producto.

El objetivo principal de la casa de la calidad o QFD es convertir los deseos y requerimientos del cliente en requerimientos técnicos para realizar el diseño, estos requerimientos también deben ser organizados en función de su importancia (ver Anexo A.1).

2.1.1.2.1 Voz *del Usuario*

En esta fase se expresan las demandas del cliente, que serán los elementos de partida para realizar el diseño del producto o servicio nuevo. Por lo cual a continuación se presenta la lista de demandas de la Empresa Orionlogistics para el desarrollo del sistema de volumetría que permita determinar el precio a cobrar por el envío de cilindros y cajas.

- Que el sistema determine la tarifa a cobrar por el envío, en función de las mediciones realizadas y el destino del paquete.
- Que la máquina mida cajas de máximo 40x40x40 cm.
- Que la máquina sea capaz de medir un peso máximo de 50 kg.
- Que el sistema tenga una conexión a la PC.
- Que se seleccione el destino y se visualice las mediciones y la tarifa de cobro calculada en el computador
- Que se identifique a cada paquete con su información (mediciones, tarifa, destino).
- Que se midan cajas y cilindros
- Que los paquetes sean ingresados a la máquina de forma manual, por un operador.
- Que la fuente de la máquina se alimente de la red pública.
- Que se considere los 4 destinos principales, hacia donde viajan los camiones, para la determinación de la tarifa a cobrar.
- Que se estandarice el método para fijar la tarifa a cobrar.

- Que se mejore el tiempo de mediciones y el cálculo de la tarifa de los paquetes recibidos.

2.1.1.2.2 Voz *del Ingeniero*

En esta fase se describe los requerimientos técnicos que deberán articularse para satisfacer las demandas del usuario mencionadas en el punto anterior. Para esto se deben analizar los requerimientos del cliente y traducirlos en especificaciones técnicas para el diseño.

- Algoritmo de cálculo de la tarifa a cobrar.
- Sistema de sensores para la medición de dimensiones del paquete.
- Celda de carga y estructura de soporte.
- Comunicación de la máquina con la PC.
- Interfaz del sistema de volumetría y pesaje.
- Diseño e impresión de una etiqueta con datos como el peso, dimensiones, destino y tarifa del paquete.
- Regulación y transformación de la alimentación eléctrica del sistema.
- Reducir el tiempo de medición y estandarizar el método de tarifado.

2.1.1.2.3 Especificaciones Técnicas

En la Tabla 2.1 se resumen las especificaciones técnicas necesarias para el diseño del sistema de volumetría:

Tabla 2.1 Especificaciones para el desarrollo del diseño del producto

Empresa: ORIONLOGISTICS Diseñador: Pedro Román		Producto: Sistema de volumetría que calcule la tarifa a cobrar por el envío de cajas o cilindros		Fecha Inicial 6/12/2015 Última Revisión 11/6/2016 Página 1
Especificaciones				
Concepto	**Fecha**	**Propone**	**R/D**	**Descripción**
Función	11/6/2016	C	R	Sistema para determinar la tarifa a cobrar por el envío, en función de las dimensiones, peso y destino del paquete. (Volumen y Peso)
		C+D	R	El sistema debe tomar las dimensiones y peso del paquete
		C+D	R	Generar una etiqueta con la información del paquete para identificarlo. (Etiqueta Ahesiva)
		C+D	R	Tener una interfaz en la computadora, para seleccionar el destino e indicar las mediciones y tarifa a cobrar. (HMI)
		C	R	Incluir los 4 principales destinos de envío de las empresas
Velocidad	11/6/2016	C+D	R	Tiempo de medición: 6 segundos
Automatización	11/6/2016	C	R	El ingreso de los paquetes y el manejo del sistema se controlará por parte de un operador (Manual)
		C+D	R	La medición del peso y dimensiones del paquete se realizará de forma automática.
Mediciones	11/6/2016	C	R	Medir: dimensiones máximas 40x40x40 cm; peso máximo 50 kg.
Energía	11/6/2016	C	R	Alimentación del sistema, usando la red eléctrica pública 110VAC a 60 Hz
Forma	11/6/2016	D	R	Diseño y distribución de elementos (Sensores)
Programación	11/6/2016	D	R	Algoritmo de cálculo de la tarifa a cobrar basandose en un método estándar (LTL)
Mantenimiento	11/6/2016	D	D	Uso de herramientas comunes
		C	D	De fácil limpieza

Propone: C=Cliente; D=Diseñador
R/D: R=Requerimiento; D=Deseo

2.2 DISEÑO CONCEPTUAL

En esta etapa se desarrollan diversas alternativas de solución, basándose en las especificaciones del sistema recogidas en el punto anteriormente indicado. Después estas alternativas se evalúan para elegir la más adecuada.

2.2.1 Análisis Funcional

Dentro de las herramientas del diseño conceptual se encuentra el establecimiento de la estructura funcional del sistema, en donde mediante el uso de diagramas de bloques se representan las funciones que debe realizar el producto, representando el flujo de energía, materiales y señales entre las entradas, las salidas y las funciones.

En el nivel 0 se representa de forma general el proceso que cumple el sistema automático propuesto, observar la Figura 2.3.

Nivel 0

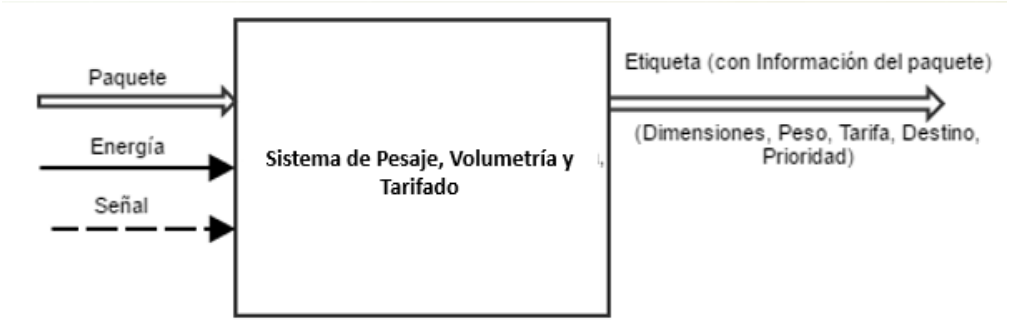


Figura 2.3 Módulo Nivel 0

Nivel 1

El nivel 1 de la Figura 2.4, representa los procesos involucrados en la creación y obtención de resultados del sistema automático de volumetría, pesaje y tarifado de forma general, donde se incluyen todas las partes principales del sistema.

De acuerdo al gráfico del Nivel 1, se presenta la Tabla 2.2 para una mejor comprensión.

Tabla 2.2 Descripción del Nivel 1

	Descripción
Materiales 1	Planchas, perfiles de acero, electrodos, pernos, tornillos, etc.
Materiales 2	Sensores de peso, sensores de distancia, cables, conectores electrónicos, otros.
Materiales 3	Controlador, interfaz de control, cables, conectores electrónicos, fuente de alimentación, impresora de etiquetas, otros.

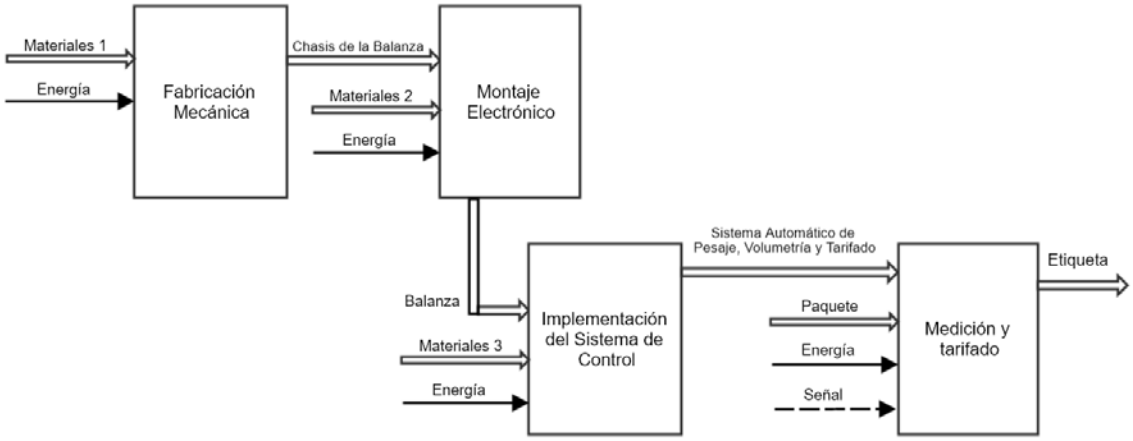


Figura 2.4 Módulo Nivel 1

Nivel 2

El nivel 2 muestra de forma más detallada cada uno de los procesos anteriores con acciones más específicas. Se muestra en la Figura 2.5.

De acuerdo al gráfico del Nivel 2, se presenta la Tabla 2.3 para una mejor comprensión.

Tabla 2.3 Descripción del Nivel 2

	Descripción
Materiales 4	Electrodos, pernos, tornillos, arandelas, soldadoras, remaches.
Materiales 5	Cables, conectores electrónicos, estaño, tornillos, tuercas, amarras plásticas.
Materiales 6	Cable de comunicación, conectores, fuente de alimentación, computador, papel térmico.

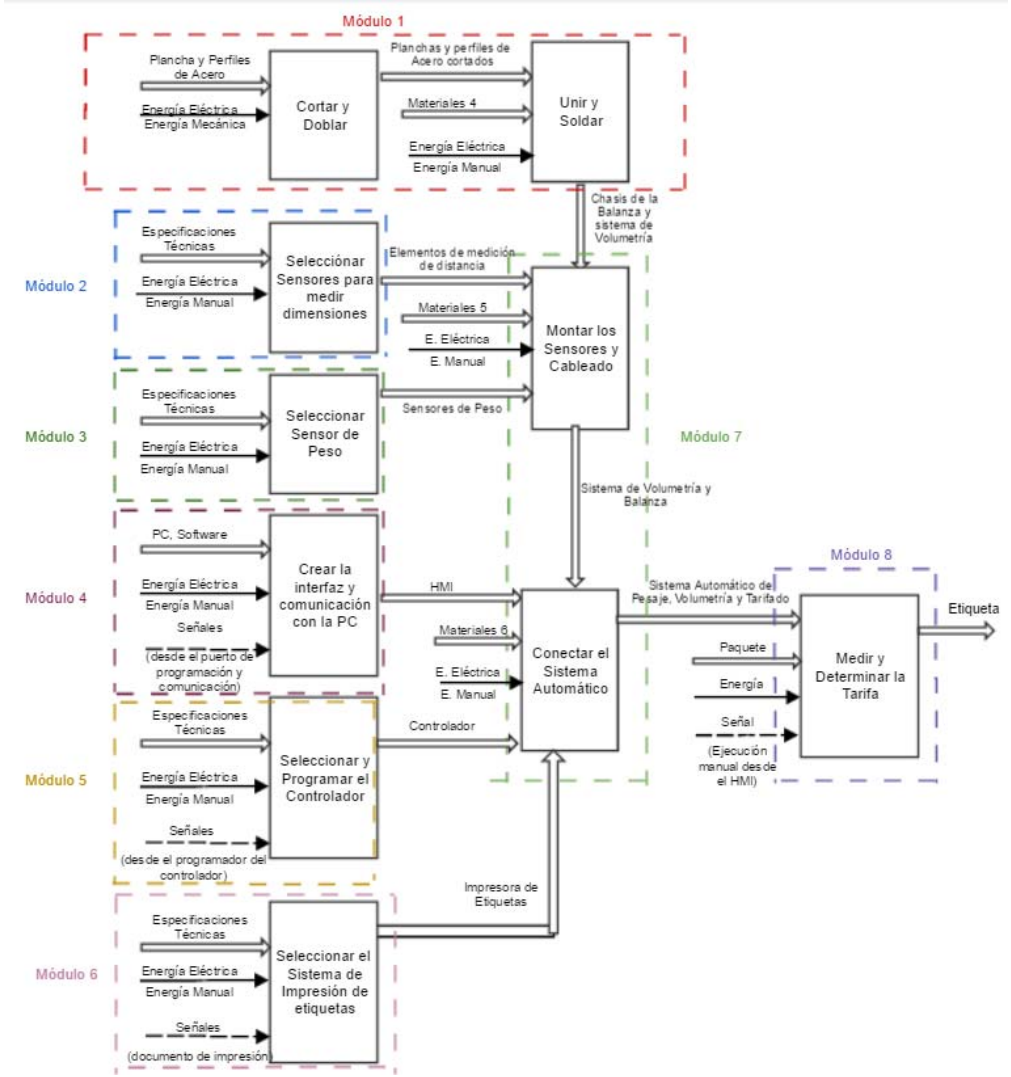


Figura 2.5 Módulo Nivel 2

2.2.2 Definición de módulos funcionales

Una parte importante del diseño conceptual es la definición de los módulos funcionales o bloques que forman parte del sistema a desarrollar. Esta técnica es de mucha ayuda en el proceso de diseño, ya que permite analizar por partes cada una de las etapas del proceso y permite reducir costos, mantenimiento y optimizar el sistema.

Después de haber definido los niveles del análisis funcional, se divide los procesos en los siguientes módulos para realizar su diseño.

- **Módulo 1:** Fabricación Mecánica
  A este módulo ingresa la materia prima como: planchas, perfiles de acero, electrodos, tornillos, tuercas, pernos y ruedas, se requiere de energía eléctrica para el funcionamiento de las máquinas empleadas en los diferentes procesos (soldadura, doblado, corte, etc.), y también se utiliza energía manual para manipular los materiales y transformarlos en el chasis de la balanza y del sistema de volumetría.

- **Módulo 2:** Toma de Dimensiones
  En este módulo basándose en las especificaciones técnicas determinadas luego del análisis de los requerimientos del cliente, se seleccionan los sensores o herramientas para realizar las mediciones de las dimensiones de los paquetes.

- **Módulo 3:** Medición de Peso
  Basándose de las especificaciones técnicas determinadas luego del análisis de los requerimientos del cliente, se seleccionan los sensores y distribución de los mismos para pesar los paquetes.

- **Módulo 4:** Interfaz y comunicación con la PC
  En este módulo se crea la interfaz del sistema de volumetría, como también se realiza la comunicación del controlador con la PC. Como entradas se tiene la computadora y su software de programación, se debe crear la interfaz, el algoritmo de medición y la base de datos; como salida se obtiene la interfaz del sistema HMI, donde se puede visualizar la tarifa de cobro, dimensiones, peso, destino del paquete, información del remitente, destinatario y el diseño de la etiqueta en una

pantalla, para lo cual se debe seleccionar los programas para el manejo de la base de datos y creación de la interfaz.

- **Módulo 5:** Selección y programación del Controlador
  En este módulo es necesario escoger un controlador para el análisis de señales de los sensores para la medición del peso y dimensiones. Se deben analizar las especificaciones técnicas para su selección y luego se debe programar el controlador para que interprete las señales y entregue el valor numérico de los sensores hacia la computadora.

- **Módulo 6:** Sistema de Impresión de Etiquetas
  En este módulo se debe escoger la impresora necesaria para crear las etiquetas para identificar los paquetes. Tomando en cuenta las especificaciones técnicas, el tamaño de la impresora y de la etiqueta.

- **Módulo 7:** Montaje del sistema automático y calibración
  En este módulo se debe unir todas las salidas de los módulos anteriores para formar el sistema automático de pesaje, volumetría y tarifado. Se debe realizar el montaje de los sensores, el cableado, conexión del controlador y la impresora, adicionalmente la configuración de la comunicación e interfaz.

- **Módulo 8:** Medición y Tarifado
  En este módulo se pone en funcionamiento el sistema automático de pesaje, volumetría y tarifado, se ingresa un paquete, energía para el sistema y una señal para la ejecución de las mediciones. Como salida se obtiene la etiqueta de identificación del paquete.

2.2.3 Soluciones para cada módulo funcional

A continuación se plantean diferentes opciones de solución para cada uno de los módulos. Estas soluciones permiten cumplir los requerimientos del cliente para la creación de un sistema completo y funcional.

Módulo 1: Fabricación Mecánica

En este módulo se presentan las opciones de diferentes estructuras de soporte de sistemas de volumetría, los cuales permiten la distribución de los sensores, indicadores y medición de los paquetes, los cuales se ingresan al sistema de forma manual.

Tabla 2.4 Opciones para la Estructura de Soporte

DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Estructura tipo mesa con sistema de medición móvil. Figura 2.6 Paracelcube 900 Fuente: Paracel [7]	El sistema de medición y la mesa de soporte vienen por separado. Permitiendo que se utilicen independientemente cuando sea necesario. El sistema de medición se puede colocar en el piso.	Posible inestabilidad del sistema de medición al colocar los elementos a medir. El sistema de medición requiere de una mesa de soporte, para su conexión con la computadora e impresora.
2. Estructura tipo mesa con sistema de medición fijado a la misma. Figura 2.7 Cubiscan 150 Fuente: Cubiscan Datasheet [10]	Es de mayor comodidad para el usuario trabajar, manipulando cosas a media altura que al realizar un trabajo en el piso. Permite ubicar los indicadores en lugares de fácil acceso. El sistema de medición fusionado con la estructura general de soporte da una mayor estabilidad y fiabilidad en la medición.	Dificultad para colocar el paquete a media altura.

Módulo 2: Toma de Dimensiones

Proceso donde mediante el uso de sensores se obtienen las dimensiones del paquete, ya sea una caja o cilindro. Es importante tomar en cuenta la restricción de tamaño máximo de las cajas (40x40x40 cm) y cilindros (diámetro = 40cm y altura = 40cm).

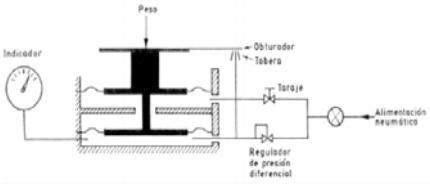
Tabla 2.5 Opciones para el proceso de Toma de Dimensiones

DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Sensor Ultrasónico y Visión Artificial (a) (b) Figura 2.8 Combinación Sensor ultrasónico y Visión artificial. a) Sensor Ultrasónico b) Cámara	Es una combinación innovadora que permite combinar 2 diferentes sistemas de medición para tomar las 3 dimensiones de los paquetes. La detección no se ve afectada por el color del objeto. Rango amplio de detección hasta 4 m.	Alto Costo de implementación. Velocidad de respuesta lenta. La resolución de la cámara depende de la precisión que se requiera para las mediciones.
2. Sensores Infrarrojos Figura 2.9 Sensor Infrarrojo. Fuente: Proyecto Pez Robot [27]	Bajo costo. Fácil implementación. Requiere poco espacio.	Sensible a la luz Se ve afectado por el color del objeto y su material. Rango de detección limitado hasta 1m. Velocidad de respuesta lenta.

Módulo 3: Medición de Peso

Proceso en el cual mediante el uso de sensores se obtiene el peso del paquete en análisis, ya sea una caja o cilindro. Es importante tomar en cuenta que la restricción de peso máximo es de 50 kg.

Tabla 2.6 Opciones para el proceso de Medición de Peso

DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Celda de carga a base de galgas extensiométricas Figura 2.10 Galga Extensiométrica Fuente: Instrumentación Industrial [4]	La tensión o compresión que el peso de la carga genera en la celda, crea una variación en la resistencia de la galga extensiométrica. Puede tener alimentación de corriente alterna AC o corriente directa DC. Pueden ser utilizados para medidas estáticas o dinámicas. Bajo Costo.	El proceso de pegado de la galga a la estructura es muy importante para obtener lecturas exactas y estables. (proceso especial) Requiere de un proceso de acondicionamiento (Puente de Wheatstone). Tiene una señal de salida débil. Son poco estables. Es sensible a vibraciones, también se ven afectados por el cambio de temperatura.
2. Célula de Carga Hidráulica  Figura 2.11 Célula de Carga Hidráulica Fuente: Instrumentación Industrial [4]	Cuentan con un pistón donde se apoya la carga que ejerce presión sobre el fluido hidráulico. Mayor capacidad de carga. Tiempo de respuesta rápido.	Alto costo. Requiere de un transmisor electrónico para obtener la señal eléctrica.

Módulo 4: Control e Interpretación de Señales

El objetivo principal de este módulo es seleccionar un controlador que permita interpretar las señales de los sensores, habilite la comunicación con la computadora y el control del sistema.

Tabla 2.7 Opciones para el proceso de control e interpretación de señales

DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. PLC Siemens LOGO! 8 Figura 2.12 PLC LOGO 8 Fuente: Siemens.com [28]	Cuenta con: • 8 entradas digitales de máximo 24 V. • 4 salidas de máximo 20 V. • Comunicación Ethernet. • Protecciones en entradas y salidas. • Display pequeño de 3 colores • Garantía 5 años	Debe ser programado con su propio software. Requiere de una fuente de alimentación externa. Costo ($ 185)
2. PLC Arduino ARDBOX Figura 2.13 PLC ARDBOX Fuente: IndustrialShields.com [29]	Cuenta con: • 10 entradas digitales de máximo 24 V. • 10 salidas de máximo 24 V. (PWM, Analógicas o Digitales). • Comunicación USB, RS485, RS232, I2C, SPI. • Protecciones en entradas y salidas. • Garantía 3 años Programación sencilla (Arduino IDE), permite el uso de librerías.	Debe ser programado con su propio software. Requiere de una fuente de alimentación externa. Costo ($ 175) .

Módulo 5: Interfaz de Control del Sistema

La interfaz de control del sistema se encarga de ingresar información, presentar los resultados, controlar el sistema de mediciones y almacenar la información recolectada en una base de datos.

a) Programa para desarrollar la Interfaz de Control y visualización de datos

A continuación se presentan las opciones para desarrollar la interfaz de control y visualización de datos.

Tabla 2.8 Opciones para desarrollar la interfaz de control y visualización de datos

DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Python Figura 2.14 Logo Python Fuente: python.org [30]	Software libre. Se trata de un lenguaje de programación que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje que usa tipado dinámico y es multiplataforma. Desarrollo de código más rápido, ordenado y limpio. Cuenta con librerías para visión artificial.	La documentación no es tan buena como lenguajes como PHP y Java que tienen fuertes apoyos corporativos. Complejidad en el desarrollo de la interfaz gráfica.
2. C # Figura 2.15 Visual Studio C# Fuente: python.org [31]	Software libre. Puede ser usada esta plataforma para desarrollar cualquier tipo de aplicación. Permite reutilizar sus módulos. Instalación y actualización simple. Facilidad en el desarrollo de la interfaz gráfica. Cuenta con librerías para visión artificial.	Muy pesado, sobre todo si se tiene varios proyectos. Complejidad en la instalación de librerías de visión artificial. No es multiplataforma. Solo Windows.

b) Programa para almacenar la Base de Datos

A continuación se presentan las opciones de software para la creación de la base de datos del sistema de volumetría.

Tabla 2.9 Opciones para desarrollar la Base de Datos

DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. MySQL Figura 2.16 Logo MySQL Fuente: mysql.com [32]	Software libre. Alta velocidad al realizar operaciones, (uno de los gestores con mejor rendimiento). Facilidad de configuración e instalación. Soporta gran variedad de Sistemas Operativos. Baja probabilidad de corromper datos, incluso si los errores no se producen en el propio gestor, sino en el sistema en el que está. Recomendable para bases de datos extensas.	Un gran porcentaje de las utilidades de MySQL no están documentadas. No es intuitivo, como otros programas. Requiere mayor codificación.
2. Progress KB Figura 2.17 Logo Progress KB Fuente: progress.com [33]	ProKB se utiliza para la plataforma Windows. Software Libre. Es posible su programación por interfaz gráfica. Recomendable para grandes bases de datos ya que tiene capacidad de escalabilidad. Mediante los cuales se puede crear formularios profesionales. Se puedes hacer un programa en muy poco tiempo gracias a los asistentes.	Su soporte es limitado. No es multiplataforma.

Módulo 6: Sistema de Impresión de Etiquetas

Para el proceso de identificación de los paquetes con su información correspondiente se requiere imprimir etiquetas para pegarlas en el paquete, por lo cual se han analizado las siguientes opciones. Es importante mencionar que las etiquetas serán pegadas en el paquete de forma manual.

Tabla 2.10 Opciones para la impresión de Etiquetas

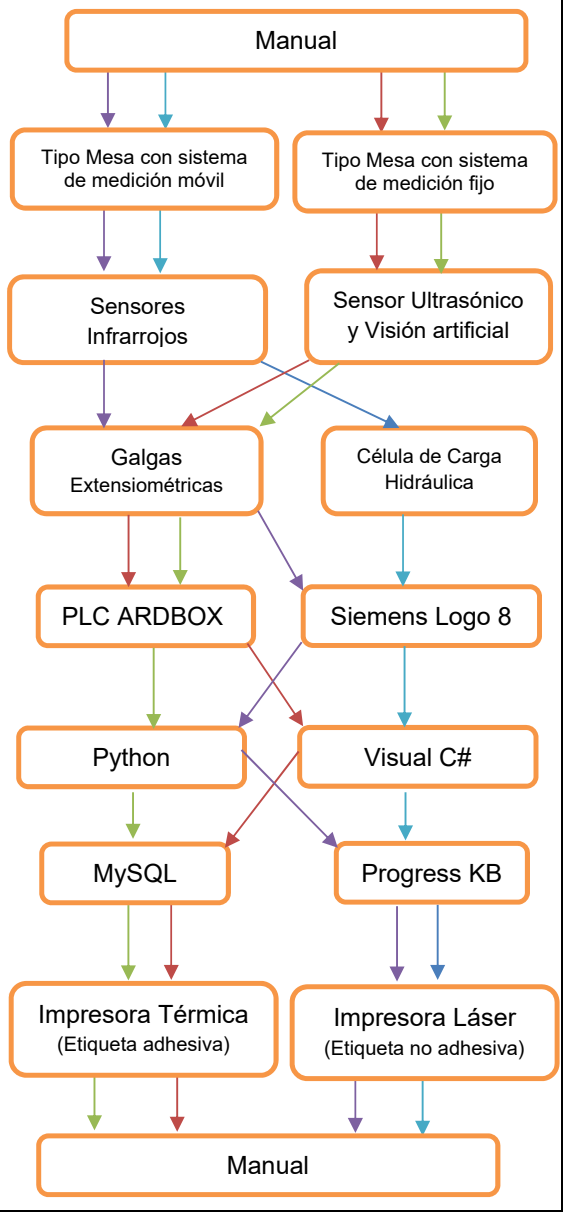
DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Impresora de Etiquetas Figura 2.18 Label Printer Brother QL- 700 Fuente: amazon.com	Impresora térmica, diseñada para crear etiquetas para folders, paquetes, cartas, DVDs y banners. Puede imprimir 93 etiquetas por minuto. Cuenta con un sistema automático que recorta la etiqueta después de imprimirla. Para impresión en papel adhesivo.	Impresiones en blanco y negro. Costo bajo. Tiempo de vida útil medio. Requiere de rollos de papel especial. Conexión alámbrica al computador (USB 2.0)
2. Impresora Láser Figura 2.19 HP Officejet Pro K8600 Fuente: amazon.com	Fotocopiadora e impresora multiusos. Capacidad de impresión en papel fotográfico, papel regular entre otros. Impresiones a color. Conexión alámbrica e inalámbrica.	Alto costo de repuestos y cartuchos. Costo elevado. La etiqueta requiere ser cortada después de su impresión. Requiere de papel adhesivo para crear las etiquetas.

2.2.4 Matriz Morfológica

En la Tabla 2.11 se muestra las combinaciones de las soluciones para cada proceso que da solución a todo el sistema, las diferentes soluciones estructuradas deben ser analizadas para escoger la mejor en función de los objetivos planteados y requerimientos del cliente, así como también la disponibilidad de recursos.

Tabla 2.11 Matriz Morfológica

Función	Componente
Colocar el paquete en el sistema de volumetría	
Soportar los elementos de medición, paquetes, otros	
Tomar Dimensiones	
Pesar	
Controlar e Interpretar las señales	
Controlar y visualizar la información del paquete	
Almacenar Información	
Generar la etiqueta con la información necesaria del paquete	
Colocar la etiqueta en el paquete	



Alternativa 1, Alternativa 2, Alternativa 3, y Alternativa 4

2.3 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En esta etapa se analizan las diferentes alternativas de solución, que permiten satisfacer los requisitos del cliente. Para seleccionar la mejor alternativa se utiliza el método de evaluación de soluciones conocido como método de criterios ponderados, donde el evaluador en este caso el diseñador debe cuantificar las características de cada una de las alternativas en relación a su efectividad y se debe cuantificar también la importancia de los criterios de análisis [26].

El método de criterios ponderados se basa en la creación de tablas donde cada criterio o solución se confronta con los restantes criterios o soluciones y se asignan valores según su importancia.

Según [26] se debe asignar los siguientes valores:

- 1 si el criterio o solución de las filas es superior o mejor que el de las columnas.
- 0.5 si el criterio o solución de las filas es equivalente al de las columnas
- 0 si el criterio o solución de las filas es inferior o peor que el de las columnas

Después de cuantificar los criterios y soluciones se debe hacer una evaluación total para cada alternativa de solución según la importancia de los criterios para obtener así la mejor alternativa.

2.3.1 Matriz de Criterios Ponderados

Para utilizar el método de criterios ponderados es importante evaluar primero los criterios más importantes para el diseño de la máquina. A continuación, se presentan los criterios de valoración que se consideraron importantes para evaluar según el grado de incidencia en la fabricación y funcionamiento del sistema de volumetría:

a) Precisión
   Se requiere que las mediciones de las dimensiones y peso sean precisas así como también el cálculo de la tarifa a cobrar.
b) Utilidad
   Es importante que el diseño sea útil tanto en su estructura física para distribuir de buena forma los sensores y permitir el alojamiento de la computadora, como

también deben ser útiles los sensores y el sistema informático para medir cajas y cilindros y no limitarse como en otros sistemas a solo medir cajas.

c) Costo

Este sistema deberá entrar dentro de un costo competitivo en relación a máquinas similares.

d) Velocidad de trabajo

Para hacer que el sistema sea competitivo en el mercado, se requiere que su velocidad de trabajo sea similar o mejor a sistemas parecidos ya existentes, esto hace referencia al tiempo de medición.

e) Durabilidad

Es importante tener garantía de los elementos utilizados en la máquina, para así brindar seguridad y confianza del funcionamiento del sistema a la empresa.

En la Tabla 2.12 se realiza la ponderación de los criterios mencionados anteriormente.

Tabla 2.12 Ponderación de los Criterios

Criterios	Precisión	Utilidad	Costo	Velocidad	Durabilidad	∑ + 1	Ponderación
Precisión		0.5	1	1	1	4.5	0.3000
Utilidad	0.5		0.5	1	1	4	0.2667
Costo	0	0.5		0.5	0.5	2.5	0.1667
Velocidad	0	0	0.5		0.5	2	0.1333
Innovación	0	0	0.5	0.5		2	0.1333
Suma						**15**	**1**
Precisión > Utilidad > Costo > Velocidad = Durabilidad							

A continuación, en las Tablas 2.13 a 2.17 se evalúa cada una de las alternativas de solución en función de cada criterio:

Tabla 2.13 Análisis de la Precisión en las diferentes Alternativas

Precisión	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	0	1,5	0,1500
Alternativa 2	0,5		0	0	1,5	0,1500
Alternativa 3	1	1		0,5	3,5	0,3500
Alternativa 4	1	1	0,5		3,5	0,3500
Suma					**10**	**1**
Alternativa 4 = Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1						

Tabla 2.14 Análisis de la Velocidad en las diferentes Alternativas

Velocidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	1	3.5	0.3500
Alternativa 2	0.5		1	1	3.5	0.3500
Alternativa 3	0	0		0.5	1.5	0.1500
Alternativa 4	0	0	0.5		1.5	0.1500
Suma					**10**	**1**
Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3 = Alternativa 4						

Tabla 2.15 Análisis de la Utilidad en las diferentes Alternativas

Utilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	0	1,5	0,1500
Alternativa 2	0,5		0	0	1,5	0,1500
Alternativa 3	1	1		1	4	0,4000
Alternativa 4	1	1	0		3	0,3000
Suma					**10**	**1**
Alternativa 3 > Alternativa 4 > Alternativa 2 = Alternativa 1						

Tabla 2.16 Análisis de Costo de las diferentes Alternativas

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0	1	0,1111
Alternativa 2	1		0	0	2	0,2222
Alternativa 3	1	1		0.5	3	0,3333
Alternativa 4	1	1	0.5		3	0,3333
Suma					**9**	**1**
Alternativa 3 > Alternativa 4 > Alternativa 2 = Alternativa 1						

Tabla 2.17 Análisis de Innovación de las diferentes Alternativas

Durabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		1	0	0	2	0.2000
Alternativa 2	0		0	0	1	0.1000
Alternativa 3	1	1		1	4	0.4000
Alternativa 4	1	1	0		3	0.3000
Suma					**10**	**1**
Alternativa 3 > Alternativa 4 > Alternativa 1 > Alternativa 2						

Después de haber analizado y cuantificado la relación entre cada alternativa y los criterios se forma la tabla de prioridades, que permite identificar la mejor alternativa en relación a los criterios analizados.

Tabla 2.18 Tabla de Prioridades

Conclusión	Precisión	Utilidad	Costo	Velocidad	Durabilidad	∑	Prioridad
Alternativa 1	0.045	0.040	0.019	0.047	0.027	0.177	4
Alternativa 2	0.045	0.040	0.037	0.047	0.013	0.182	3
Alternativa 3	0.105	0.107	0.056	0.020	0.053	0.341	1
Alternativa 4	0.105	0.080	0.056	0.020	0.040	0.301	2

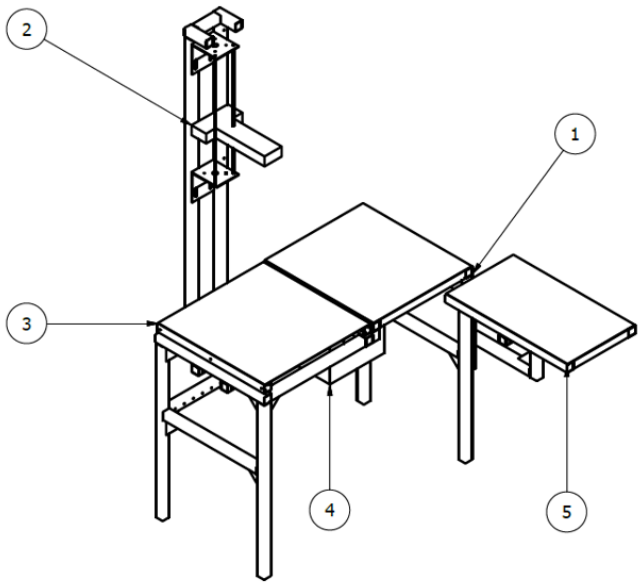
2.3.2 Selección la mejor Alternativa

Como conclusión del análisis de alternativas realizado por el método de criterios ponderados, basándose en la Tabla 2.18 se puede concluir que la mejor opción es la Alternativa 3, constituida por una estructura en forma de mesa y la toma de dimensiones del paquete utilizando sensores ultrasónicos y visión artificial. Mientras que para la medición del peso se utiliza celdas de carga con galgas extensiométricas, el circuito electrónico de control y análisis de señales utiliza como sistema de control principal un PLC ARDBOX Analog y sus correspondientes módulos para los sensores, mientras que la interfaz de control y visualización de información se desarrolla en VisualStudio C#, utilizando una base de datos creada en MySQL, concluyendo con la generación de etiquetas a través de una impresora térmica, para finalizar con el pegado manual de la etiqueta en el paquete.

CAPÍTULO III
DISEÑO DEL SISTEMA DE VOLUMETRÍA Y PESAJE

3.1 DISEÑO MECÁNICO

La estructura de la máquina se divide en 5 secciones principales como se muestra en la Figura 3.1. Cada una de estas secciones requiere de un diseño apropiado para el correcto funcionamiento del sistema completo.



#	Descripción
1	Chasis
2	Carro Vertical de Sensado Volumétrico
3	Bandeja de Pesaje
4	Sistema de Control
5	Soporte de Computadora e Impresora

Figura 3.1 Esquema de la Máquina

El chasis de la máquina (1) es la estructura de soporte de todo el sistema y la base de la balanza, el paquete ingresa en la bandeja derecha, después se ingresa la información de envío en la computadora ubicada en (5), posteriormente para la medición se debe mover el paquete hacia la bandeja de pesaje (3), donde se mide el peso del paquete y mediante los sensores ubicados en el carro vertical (2) se determina las dimensiones del mismo. Después de visualizar las mediciones en la computadora y aceptar el registro del envío se imprime la etiqueta adhesiva, proveniente de la impresora térmica ubicada en (5); finalmente se coloca la etiqueta en el paquete y se lo retira de la máquina.

3.1.1 Diseño de la estructura de la máquina

Según [34] la estructura de una máquina automática, equipos de medición, entre otros, deben ser lo suficientemente rígidos para garantizar el buen funcionamiento del equipo soportado en la estructura, también es importante mencionar que el valor de la flexión máxima permisible de la viga de una máquina o estructura, depende de la aplicación de la máquina en proceso de diseño, en la Tabla 3.1 se indican los límites recomendados para cada aplicación, expresados en relación de la flexión máxima y la longitud de la viga según [34].

Tabla 3.1 Límites de Deflexión Recomendados

Parte general de una máquina	y_{max} / L= 0.0005 a 0.003
Precisión Moderada	y_{max} / L= 0.00001 a 0.0005
Alta Precisión	y_{max} / L= 0.000001 a 0.00001

Fuente: Resistencia de Materiales, Robert L. Mott [34]

Es importante denotar que el grado de rigidez de una viga se mide en función de la deflexión que se causa en la misma debido a las cargas que soporta. Por lo cual a continuación se presenta el diseño de diferentes partes de la estructura de la máquina, donde se analiza su aplicación para determinar el valor de deflexión máxima y así determinar las características de diseño de las diferentes partes de la estructura.

3.1.1.1 Diseño del chasis

En el diseño del chasis se analiza las vigas de soporte horizontal, tomando en cuenta que el caso de una viga empotrada en sus extremos, la carga máxima que podría presentarse sobre la viga en el peor caso se muestra en la Tabla 3.2, donde se tomó en cuenta las posibles cargas en la máquina y la fuerza producida por la caída de un paquete de 50 kg desde una altura de 1m, (en caso de que los operarios lancen los paquetes en la balanza). La longitud de la viga a analizar es igual 1.2 m correspondiente al ancho total de la mesa.

Tabla 3.2 Carga total y Fuerza total para el diseño del chasis

CARGAS			
Wpaquete	50	kg	Peso máximo del paquete a medir
Wequipo	20	kg	Peso aproximado del equipo de control
Wpersona	80	kg	Peso de una persona adulta
Wadicional (30%)	45	kg	30% adicional
Wtotal	**195**	**kg**	**Carga Total**
FUERZAS			
Fcarga	1911	N	Fuerza generada por la carga total
Fcaída	490	N	Fuerza por la caída de 50 kg desde 1 m de altura
Ftotal	**2401**	**N**	**Fuerza total**

A continuación en la Figura 3.2 se presenta el esquema, del cual se parte para el análisis. Se presenta una viga empotrada en sus extremos, con el valor de la fuerza total distribuida a lo largo de la viga.

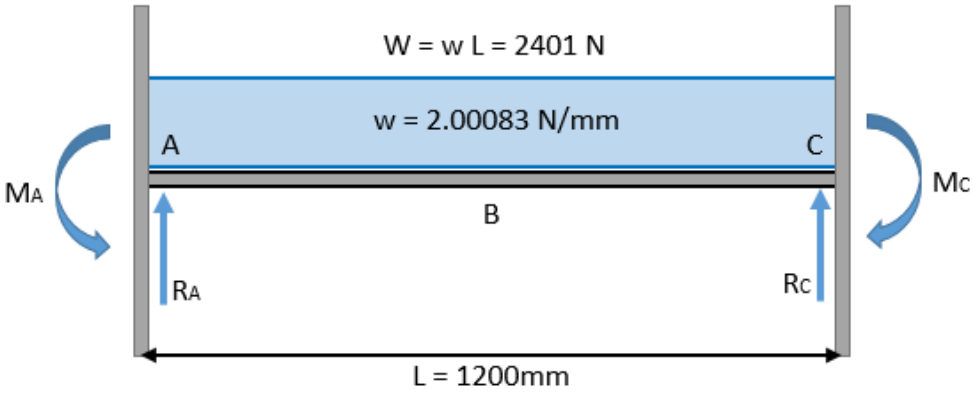


Figura 3.2 Esquema de una Viga empotrada en los extremos con una carga distribuida uniformemente

Para realizar los cálculos según [34] se presentan las siguientes ecuaciones para determinar las reacciones (3), los momentos (4) y la deflexión máxima (5), cuando una viga esta empotrada en sus extremos y se aplica una carga distribuida a lo largo de ella.

$$R_A = R_C = \frac{W}{2} \tag{3}$$

$$M_A = M_C = \frac{-WL}{12}$$

$$M_B = \frac{WL}{24} \tag{4}$$

$$y_B = y_{max} = \frac{-WL^3}{384\,EI} \tag{5}$$

Donde:

W.- Carga total distribuida $W = w\,L$, en N;

L .- Longitud de la viga, en mm;

E.- Módulo de Young o elasticidad, en MPa;

I.- Inercia de la viga, en mm^4.

A continuación se presentan los resultados del cálculo de las reacciones y momentos, tomando en cuenta que se aplica una carga total distribuida $W = 2401\ \mathrm{N}$ a lo largo de una viga de longitud $L = 1200\ \mathrm{mm} = 1.2\ \mathrm{m}$, la cual se encuentra empotrada en sus dos extremos. Para confirmar los cálculos se utiliza el software XVigas [35].

Reacciones: $R_A = R_C = 1200.5\ \mathrm{N}$

Momentos: $M_A = M_C = -240100\ \mathrm{N\ mm} = -240.1\ \mathrm{N}$

$M_B = 120050\ \mathrm{N\ mm} = 120.05\ \mathrm{N\ m}$

A continuación en la Figura 3.3 se presentan los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante, graficados a partir de las reacciones y momentos.

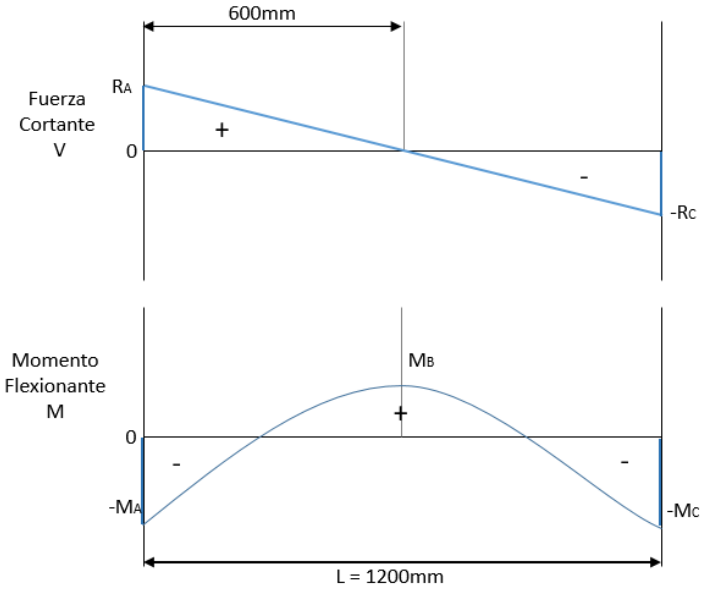


Figura 3.3 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexionante de una viga empotrada en sus extremos con una carga distribuida uniformemente

Para analizar la deflexión de la viga, se debe determinar la forma de la viga, sus dimensiones, y el material. Para el diseño se utiliza el catálogo de IPAC de tubería estructural cuadrada de Acero ASTM A 500 Gr. B, un extracto se puede observar en la Figura 3.4, en esta se especifican las dimensiones, e inercias necesarias para el cálculo de la deflexión, mientras que el módulo de Young o elasticidad es el correspondiente al acero, para diseño este valor es equivalente a $E = 207\,000\ \mathrm{MPa}$.

Tubería Estructural Cuadrada

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas Eje x-x = y-y		
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45

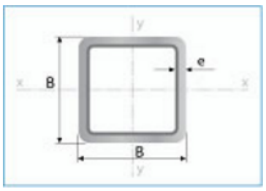


Figura 3.4 Extracto del Catálogo de Tubería Estructural Cuadrada
Fuente: IPAC-Acero [36], ver Anexo B.1

El cálculo de la deflexión se realiza de forma iterativa con las diferentes tuberías del catálogo hasta llegar a cumplir con la condicional de que la deflexión límite recomendada para una parte de una máquina de precisión moderada se encuentra en el rango de $0.00001 \leq {}^{y_{max}}/_{L} \leq 0.0005$, un extracto de las iteraciones se muestran en la Figura 3.5. Así se determina que una tubería cuadrada de 40 mm de lado y 3 mm de espesor satisface la condición mencionada anteriormente.

Ancho tuberia	Espesor	Inercia I		Y	Y/L	Precisión	Parte
mm	mm	cm4	mm4	mm		Moderada	General de
20	1.4	0.56	5600	-9.32065217	0.00776721	FALSO	FALSO
	1.5	0.58	5800	-8.99925037	0.00749938	FALSO	FALSO
	1.8	0.66	6600	-7.90843215	0.00659036	FALSO	FALSO
	2	0.7	7000	-7.45652174	0.00621377	FALSO	FALSO
25	1.4	1.16	11600	-4.49962519	0.00374969	FALSO	FALSO
	1.5	1.22	12200	-4.27833215	0.00356528	FALSO	FALSO
	1.8	1.39	13900	-3.75508289	0.00312924	FALSO	FALSO
	2	1.49	14900	-3.5030639	0.00291922	FALSO	VERDADERO
30	1.4	2.08	20800	-2.50940635	0.00209117	FALSO	VERDADERO
	1.5	2.2	22000	-2.37252964	0.00197711	FALSO	VERDADERO
	1.8	2.53	25300	-2.06306926	0.00171922	FALSO	VERDADERO
	2	2.73	27300	-1.91192865	0.00159327	FALSO	VERDADERO
40	1.4	5.18	51800	-1.00763807	0.0008397	FALSO	VERDADERO
	1.5	5.49	54900	-0.95074048	0.00079228	FALSO	VERDADERO
	1.8	6.39	63900	-0.81683337	0.00068069	FALSO	VERDADERO
	2	6.95	69500	-0.75101658	0.00062585	FALSO	VERDADERO
	2.5	8.23	82300	-0.63421206	0.00052851	FALSO	VERDADERO
	3	9.36	93600	-0.55764586	0.0004647	VERDADERO	FALSO
	4	11.18	111800	-0.4668663	0.00038906	VERDADERO	FALSO
50	1.4	10.42	104200	-0.50091797	0.00041743	VERDADERO	FALSO
	1.5	11.07	110700	-0.47150544	0.00039292	VERDADERO	FALSO
	1.8	12.95	129500	-0.40305523	0.00033588	VERDADERO	FALSO
	2	14.15	141500	-0.36887387	0.00030739	VERDADERO	FALSO
	2.5	16.96	169600	-0.30775738	0.00025646	VERDADERO	FALSO
	3	19.5	195000	-0.26767001	0.00022306	VERDADERO	FALSO
	4	23.84	238400	-0.21894149	0.00018245	VERDADERO	FALSO

Figura 3.5 Extracto de las iteraciones para el diseño de la viga horizontal doblemente empotrada sometida a una carga uniformemente distribuida (ver Anexo A.2)

Para la selección de la tubería se verifica que la deflexión de la viga sea la recomendable en el caso de precisión moderada cuando se encuentra la carga distribuida uniformemente. Seleccionando así la tubería cuadrada de 40 mm de lado y 3 mm de espesor. En la Figura 3.6 se muestra el gráfico de deflexión de la viga tomando en cuenta las características de la tubería seleccionada.

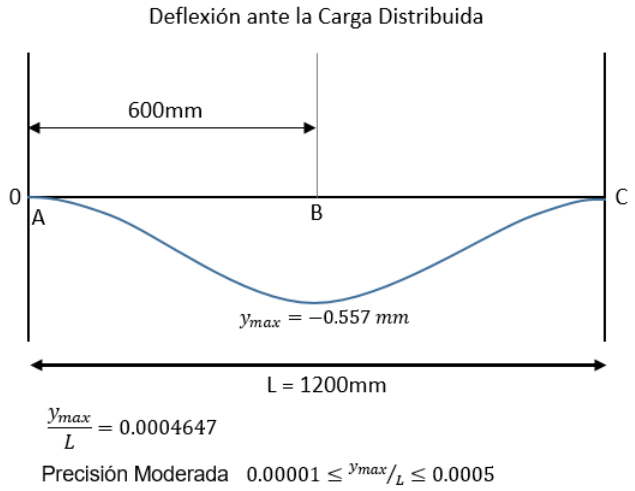


Figura 3.6 Diagrama de Deflexión ante la Carga Distribuida en una viga horizontal doblemente empotrada (ver Anexo A.2)

Por lo tanto el chasis y la estructura de la bandeja de pesaje se deben construir con tubería estructural cuadrada de acero, de 40 mm de lado por 3 mm de espesor.

3.1.1.2 Diseño del recubrimiento de la bandeja de pesaje

La superficie de la bandeja de pesaje debe ser rígida, ya que soporta los paquetes a pesar. Por lo tanto para el diseño a rigidez se utiliza la deflexión recomendada para partes de máquina general, $0.0005 \leq {}^{y_{max}}/_{L} \leq 0.003$.

En el diseño se analiza el caso de una viga empotrada en sus extremos, soportando una carga distribuida uniformemente. Para determinar la carga máxima y la fuerza aplicada se tomaron en cuenta los parámetros que se indican en la Tabla 3.3. La viga a analizar es de 590 mm correspondiente a la longitud de la bandeja de pesaje.

Tabla 3.3 Cargas y Fuerzas para el diseño del recubrimiento de la balanza

CARGAS			
W paquete	50	kg	Peso máximo del paquete a medir
W equipo	5	kg	Peso aproximado del equipo de medicion de peso
W adicional	30	kg	Peso extra a soportar
W total	**85**	**kg**	**Carga Total (peso aprox. de una persona adulta)**
FUERZAS			
F total	**833**	**N**	**Fuerza Total generada por la carga total**
F distribuida	**1.412**	**N mm**	**Fuerza distribuida uniformemente en 590 mm**

A continuación en la Figura 3.7 se presenta el esquema de la viga, del cual se parte para el análisis. Se presenta una viga empotrada en sus extremos, con el valor de la fuerza total distribuida a lo largo de la viga.

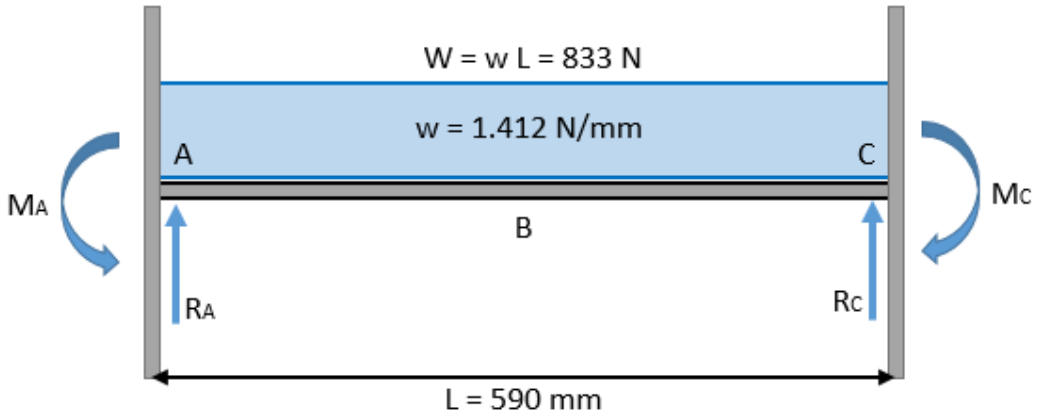


Figura 3.7 Esquema del recubrimiento de la bandeja de pesaje

Para realizar los cálculos según [34] se utilizan las ecuaciones mencionadas anteriormente para determinar las reacciones (3), los momentos (4) y la deflexión máxima (5), cuando una viga esta empotrada en sus extremos y se aplica una carga distribuida a lo largo de ella.

A continuación se presentan los resultados del cálculo de las reacciones y momentos, tomando en cuenta que se aplica una carga total distribuida $W = 833\ \mathrm{N}$ a lo largo de una viga de longitud $L = 590\ \mathrm{mm} = 0.59\ \mathrm{m}$, la cual se encuentra empotrada en sus dos extremos. Para confirmar los cálculos se utilizó el software XVigas [35].

Reacciones: $R_A = R_C = 416.5\ \mathrm{N}$

Momentos: $M_A = M_C = -40955.83\ \mathrm{N\ mm} = -40.955\ \mathrm{N\ m}$

$M_B = 20477.9167\ \mathrm{N\ mm} = 20.477917\ \mathrm{N\ m}$

A continuación en la Figura 3.8 se presentan los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante, graficados a partir de las reacciones y momentos.

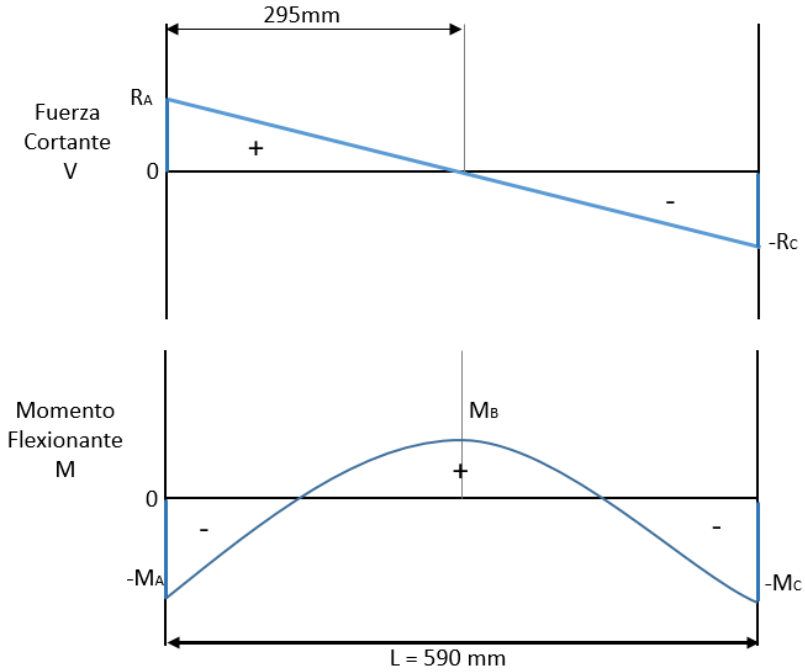


Figura 3.8 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexionante del recubrimiento de la bandeja de pesaje

Para analizar la deflexión de la viga, se debe determinar la forma de la viga, sus dimensiones, y el material. Para lo cual se selecciona el catálogo de IPAC-Acero de

planchas laminadas en caliente de Acero ASTM A 570 Gr.36, un extracto se puede observar en la Figura 3.9, en esta se especifican las dimensiones de las planchas existentes, los espesores y su peso aproximado, el módulo de elasticidad es el correspondiente al acero, para el diseño este valor es equivalente a $E = 207\,000\ \mathrm{MPa}$.

Plancha Laminada en Caliente (Estándar)

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1220	2440	1,50	35,05
1220	2440	2,00	46,74
1220	2440	3,00	70,10
1220	2440	4,00	93,47
1220	2440	5,00	116,84
1220	2440	6,00	140,21
1220	2440	8,00	186,94
1220	2440	9,00	210,31
1220	2440	10,00	233,68
1220	2440	12,00	280,41

Figura 3.9 Extracto del Catálogo de Planchas Laminada en Caliente
Fuente: IPAC-Acero [36], ver Anexo B.2

El cálculo de la deflexión se realiza de forma iterativa utilizando los diferentes espesores de las planchas que constan en el catálogo y tomando en cuenta las dimensiones de la bandeja de pesaje que debe ser de 590 mm x 590 mm. Se realizaron las iteraciones hasta llegar a determinar el espesor adecuado que cumpla con la deflexión límite recomendada para partes de máquina general. Un extracto de las iteraciones se muestra en la Figura 3.10.

Espesor (mm)	Inercia (mm4)	Ymax (mm)	Y/L	General	Precisión Moderada
3	1327.5	-1.6213058	0.002747976	VERDADERO	FALSO
4	3146.666667	-0.68398839	0.001159302	VERDADERO	FALSO
5	6145.833333	-0.35020205	0.000593563	VERDADERO	FALSO
6	10620	-0.20266323	0.000343497	FALSO	VERDADERO
7	16864.16667	-0.12762465	0.000216313	FALSO	VERDADERO
8	25173.33333	-0.08549855	0.000144913	FALSO	VERDADERO
9	35842.5	-0.06004836	0.000101777	FALSO	VERDADERO
10	49166.66667	-0.04377526	7.41954E-05	FALSO	VERDADERO
12	84960	-0.0253329	4.29371E-05	FALSO	VERDADERO

Figura 3.10 Iteraciones para el diseño del Recubrimiento de la Bandeja de Pesaje (viga horizontal, doblemente empotrada sometida a una carga uniformemente distribuida), ver Anexo A.3

Así se determina que la plancha de recubrimiento de la bandeja de pesaje debe ser de acero de 3 mm de espesor. En la Figura 3.11 se muestra el gráfico de deflexión de la viga tomando en cuenta las dimensiones de la plancha y su espesor.

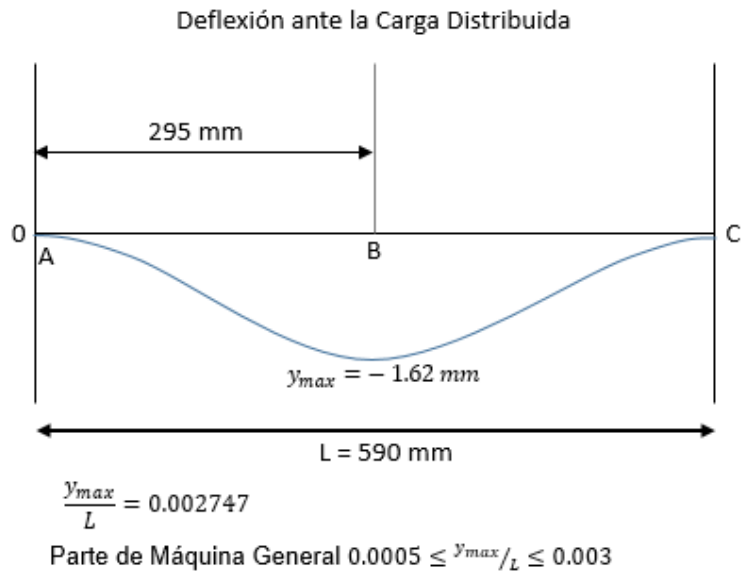


Figura 3.11 Diagrama de Deflexión de la cubierta de la bandeja de pesaje (ver Anexo A.3)

Por lo tanto para la superficie de la bandeja de pesaje se utiliza una plancha de acero laminado en caliente de 590 x 590 mm y 3 mm de espesor. La plancha de acero laminado en caliente de 3mm también se utiliza para el recubrimiento de la mesa de soporte y la bandeja de la computadora e impresora.

3.1.1.3 Diseño de la pletina de soporte de la celda de carga

Sobre esta pletina se ubica y sujeta el sensor de peso o celda de carga por lo cual es muy importante que esta tenga una deflexión mínima para que no afecte en las mediciones, por lo tanto para el diseño por rigidez se utiliza la deflexión recomendada para máquinas de precisión moderada, $0.00001 \leq {}^{y_{max}}/_{L} \leq 0.0005$.

Se analiza el caso de una viga empotrada en sus extremos, soportando un momento anti horario en el centro. Para determinar el valor del momento que se aplica se toma en cuenta la carga máxima sobre la celda de carga y su longitud entre los puntos de apoyo, observar la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Cargas y Fuerzas para el diseño de la pletina de soporte de la celda de carga

Cargas			
Wcarga	50	Kg	Carga máxima a pesar
Wbs	22	Kg	Carga generada por la bandeja de pesaje
Wadicional	30	Kg	Carga adicional
Wtotal	**102**	**Kg**	**Carga total aplicada sobre el sensor**
Ftotal	**499.8**	**N**	**Fuerza generada por la carga total**
Long. Momento	**150**	**mm**	**Longitud de la celda de carga**
Momento Mo	**74970**	**Nmm**	**Momento generado sobre la pletina**
	74.97	**N m**	

A continuación en Figura 3.12 se presenta el esquema de la pletina de soporte de la celda de carga, de la cual se parte para el análisis. Se presenta una viga empotrada en sus extremos, con un momento anti horario ubicado en el centro.

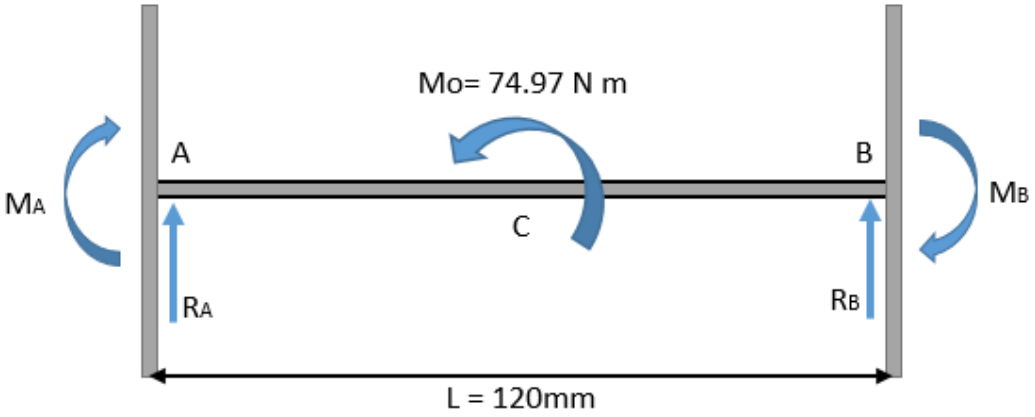


Figura 3.12 Esquema de diseño de la pletina de soporte de la celda de carga

Para realizar los cálculos según [37] se utilizan las siguientes ecuaciones para determinar las reacciones (fuerzas cortantes) (6), los momentos (7) y la deflexión (8), cuando una viga esta empotrada en sus extremos y se aplica un momento en el centro de ella.

$$R_A = R_B = \frac{3M_0}{2L} \tag{6}$$

$$M_{AC} = \frac{M_0}{4L}(6x - L)$$

$$M_{CB} = \frac{-M_0}{4L}(5L - 6x) \tag{7}$$

$$y_{AC} = \frac{M_0 x^2}{8\,LEI}\,(2x - L)$$

$$y_{CB} = \frac{-M_0}{8\,LEI}\,(5Lx^2 - 2x^3 - 4L^2x + L^3)$$

(8)

Donde:

M_0.- Momento aplicado en el centro de la viga, en N mm;

L .- Longitud de la viga, en mm;

E.- Módulo de Young o elasticidad, en MPa;

I.- Inercia de la viga, en mm^4;

x.- Punto de análisis en la viga, en mm;

y_{max} .- la deformación es máxima en $x = \frac{L}{3}$ o $x = \frac{2L}{3}$, en mm.

A continuación se presentan los resultados del cálculo de las reacciones y momentos, tomando en cuenta que se aplicó un momento anti horario en el centro de la viga $M_0 = 74970\ \mathrm{N\ mm} = 74.97\ \mathrm{N\ m}$, en una viga de longitud $L = 120\ \mathrm{mm} = 0.120\ \mathrm{m}$, la cual se encuentra empotrada en sus dos extremos. Para confirmar los cálculos se utilizó el software XVigas [35].

Reacciones: $R_A = R_B = 937.125\ \mathrm{N}$

Momentos: $M_{AC} = 37485\ \mathrm{N\ mm} = 37.485\ \mathrm{N\ m}$

$M_{CB} = 37485\ \mathrm{N\ mm} = -37.485\ \mathrm{N\ m}$

En la Figura 3.13 se presentan los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante, graficados a partir de las reacciones y momentos.

Para analizar la deflexión de la pletina, se realizan iteraciones con diferentes elementos del catálogo de IPAC-Acero de productos laminados pletina de Acero ASTM A-36, un extracto se puede observar en la Figura 3.14, en esta se especifican las dimensiones de las pletinas y su peso aproximado, el módulo de elasticidad es el correspondiente al acero, $E = 207\ 000\ \mathrm{MPa}$.

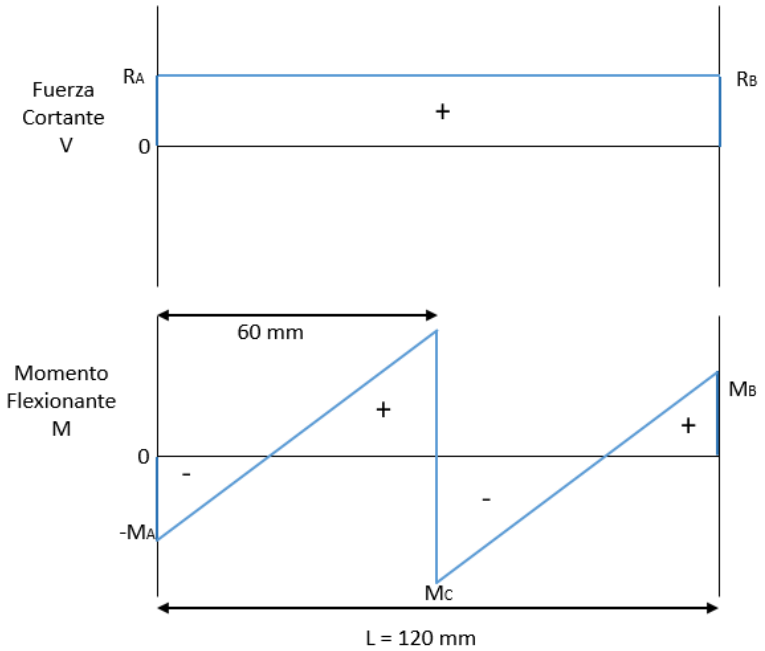
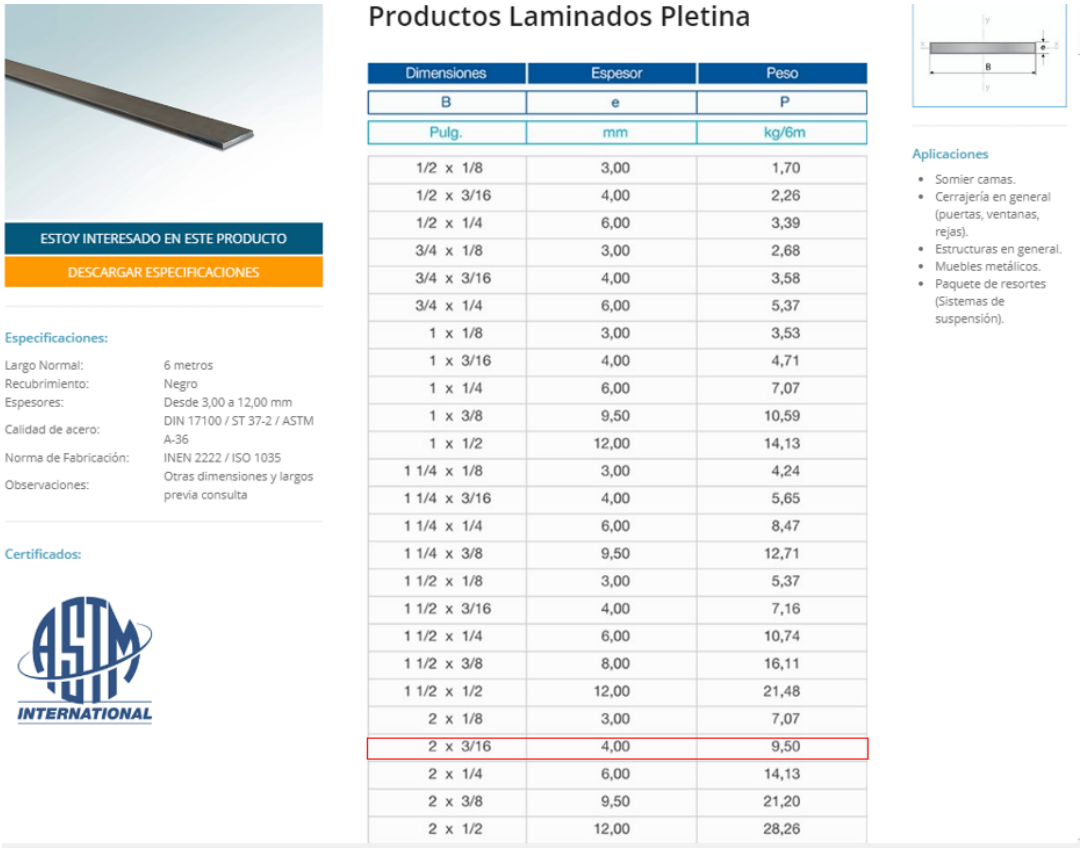


Figura 3.13 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexionante del diseño de la pletina de soporte de la celda de carga



ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO

DESCARGAR ESPECIFICACIONES

Especificaciones:

Largo Normal:	6 metros
Recubrimiento:	Negro
Espesores:	Desde 3,00 a 12,00 mm
Calidad de acero:	DIN 17100 / ST 37-2 / ASTM A-36
Norma de Fabricación:	INEN 2222 / ISO 1035
Observaciones:	Otras dimensiones y largos previa consulta

Certificados:

Productos Laminados Pletina

Dimensiones	Espesor	Peso
B	e	P
Pulg.	mm	kg/6m
1/2 x 1/8	3,00	1,70
1/2 x 3/16	4,00	2,26
1/2 x 1/4	6,00	3,39
3/4 x 1/8	3,00	2,68
3/4 x 3/16	4,00	3,58
3/4 x 1/4	6,00	5,37
1 x 1/8	3,00	3,53
1 x 3/16	4,00	4,71
1 x 1/4	6,00	7,07
1 x 3/8	9,50	10,59
1 x 1/2	12,00	14,13
1 1/4 x 1/8	3,00	4,24
1 1/4 x 3/16	4,00	5,65
1 1/4 x 1/4	6,00	8,47
1 1/4 x 3/8	9,50	12,71
1 1/2 x 1/8	3,00	5,37
1 1/2 x 3/16	4,00	7,16
1 1/2 x 1/4	6,00	10,74
1 1/2 x 3/8	8,00	16,11
1 1/2 x 1/2	12,00	21,48
2 x 1/8	3,00	7,07
2 x 3/16	4,00	9,50
2 x 1/4	6,00	14,13
2 x 3/8	9,50	21,20
2 x 1/2	12,00	28,26

Aplicaciones

- Somier camas.
- Cerrajería en general (puertas, ventanas, rejas).
- Estructuras en general.
- Muebles metálicos.
- Paquete de resortes (Sistemas de suspensión).

Figura 3.14 Extracto del Catálogo de Productos Laminados Pletina
Fuente: IPAC-Acero [36], ver Anexo B.3

Se realizaron las iteraciones hasta verificar que la deflexión de la pletina se encuentre dentro del rango recomendado para piezas de precisión moderada. Un extracto de las iteraciones se muestra en la Figura 3.15.

Pletina		Pletina								
Ancho (pulg)	Espesor (pulg)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	I (mm4)	Y ac	Y cb	Y max	Ymax/L	Precisión Moderada	General
1/2	1/8	12.7	3.18	33.87300013	-0.71280747	-2.851229881	2.851229881	0.005940062	FALSO	FALSO
1/2	3/16	12.7	4.76	114.3213754	-0.211202213	-0.844808854	0.844808854	0.001760018	FALSO	VERDADERO
1/2	1/4	12.7	6.35	270.984001	-0.089100934	-0.356403735	0.356403735	0.000742508	FALSO	VERDADERO
3/4	1/8	19.05	3.18	50.8095002	-0.47520498	-1.900819921	1.900819921	0.003960042	FALSO	FALSO
3/4	3/16	19.05	4.76	171.4820632	-0.140801476	-0.563205903	0.563205903	0.001173346	FALSO	VERDADERO
3/4	1/4	19.05	6.35	406.4760016	-0.059400623	-0.23760249	0.23760249	0.000495005	VERDADERO	FALSO
1	1/8	25.4	3.18	67.74600026	-0.356403735	-1.425614941	1.425614941	0.002970031	FALSO	VERDADERO
1	3/16	25.4	4.76	228.6427509	-0.105601107	-0.422404427	0.422404427	0.000880009	FALSO	VERDADERO
1	1/4	25.4	6.35	541.9680021	-0.044550467	-0.178201868	0.178201868	0.000371254	VERDADERO	FALSO
1	3/8	25.4	9.53	1829.142007	-0.013200138	-0.052800553	0.052800553	0.000110001	VERDADERO	FALSO
1	1/2	25.4	12.70	4335.744017	-0.005568808	-0.022275233	0.022275233	4.64067E-05	VERDADERO	FALSO
1 1/4	1/8	31.75	3.18	84.68250033	-0.285122988	-1.140491953	1.140491953	0.002376025	FALSO	VERDADERO
1 1/4	3/16	31.75	4.76	285.8034386	-0.084480885	-0.337923542	0.337923542	0.000704007	FALSO	VERDADERO
1 1/4	1/4	31.75	6.35	677.4600026	-0.035640374	-0.142561494	0.142561494	0.000297003	VERDADERO	FALSO
1 1/4	3/8	31.75	9.53	2286.427509	-0.010560111	-0.042240443	0.042240443	8.80009E-05	VERDADERO	FALSO
1 1/2	1/8	38.1	3.18	101.6190004	-0.23760249	-0.95040996	0.95040996	0.001980021	FALSO	VERDADERO
1 1/2	3/16	38.1	4.76	342.9641263	-0.070400738	-0.281602951	0.281602951	0.000586673	FALSO	VERDADERO
1 1/2	1/4	38.1	6.35	812.9520031	-0.029700311	-0.118801245	0.118801245	0.000247503	VERDADERO	FALSO
1 1/2	3/8	38.1	9.53	2743.713011	-0.008800092	-0.035200369	0.035200369	7.33341E-05	VERDADERO	FALSO
1 1/2	1/2	38.1	12.70	6503.616025	-0.003712539	-0.014850156	0.014850156	3.09378E-05	VERDADERO	FALSO
2	1/8	50.8	3.18	135.4920005	-0.178201868	-0.71280747	0.71280747	0.001485016	FALSO	VERDADERO
2	**3/16**	**50.8**	**4.76**	**457.2855**	**-0.052801**	**-0.211202**	**0.2112022**	**0.00044**	**VERDADERO**	FALSO
2	1/4	50.8	6.35	1083.936004	-0.022275233	-0.089100934	0.089100934	0.000185627	VERDADERO	FALSO
2	3/8	50.8	9.53	3658.284014	-0.006600069	-0.026400277	0.026400277	5.50006E-05	VERDADERO	FALSO
2	1/2	50.8	12.70	8671.488033	-0.002784404	-0.011137617	0.011137617	2.32034E-05	VERDADERO	FALSO

Figura 3.15 Extracto de las iteraciones para el diseño de la pletina de soporte de la celda de carga (ver Anexo A.4)

Se debe tomar en cuenta que la celda de carga para sujetarse adecuadamente requiere de un cuadrado de 40 mm de lado, realizando las diferentes iteraciones con los elementos del catálogo, se determina que la pletina de 2 x 3/16 pulgadas, cumple con las dimensiones requeridas por la celda de carga y su deflexión se encuentra dentro del rango de piezas de precisión moderada. En la Figura 3.16 se muestra el gráfico de deflexión de la viga tomando en cuenta las dimensiones de la pletina seleccionada.

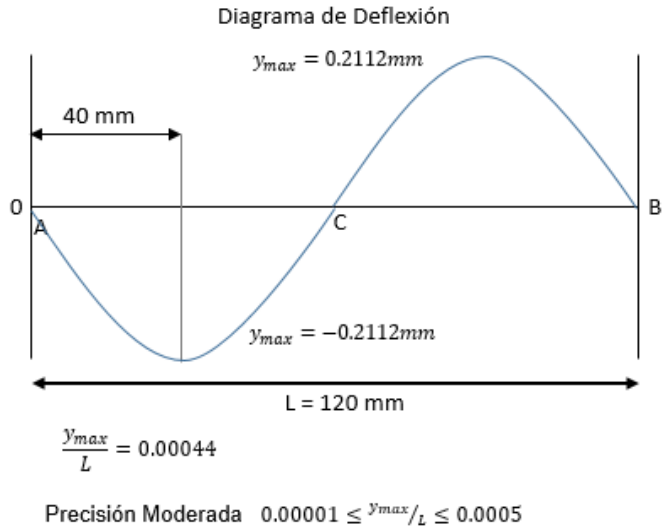


Figura 3.16 Diagrama de Deflexión de la pletina de soporte de la celda de carga (ver Anexo A.4)

Por lo tanto para sujetar y soportar la celda de carga se utilizan pletinas de 2 x 3/16 pulgadas.

3.1.1.4 Diseño de los pernos de sujeción de la mesa lateral

La mesa desmontable de soporte de la computadora e impresora, se une al chasis principal mediante pernos, los cuales están sujetos a una carga excéntrica cortante, ya que sujeta en voladizo la carga de la mesa lateral.m^3

La fuerza excéntrica que actúa sobre el tubo sujeto al chasis, se calcula mediante la sumatoria del peso de la estructura, el peso de los equipos a soportar, más un porcentaje adicional, como se observa en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Cargas y Fuerza total para el diseño de los pernos a cortante con una carga excéntrica

Carga del Equipo			
W impresora	3	kg	Peso aproximado de la impresora térmica
W computadora	7	kg	Peso aproximado de la computadora
W equipo	**10**	**kg**	**Carga total debido a los equipos a soportar**
Carga debida a la Estructura de la Mesa Lateral			
W tubería	1.68	kg/m	Peso 1m de tubería cuadrada de acero de 30mm de lado y 2 de espesor (catálogo)
L tubería estructura	4.5	m	Long. de la tubería cuadrada de acero que forma la mesa lateral de soporte
W tubería estructura	**7.56**	**kg**	**Peso de la estructura de la mesa lateral**
Carga debida a la Plancha de Acero de recubrimiento de la Mesa Lateral			
W pancha 1220x2440x3mm	70.1	kg	Peso aproximado de la plancha completa (catálogo)
W plancha completa	7.85E-06	kg/mm^3	Peso en kg de un mm^3 de la plancha de 3 mm
Vol. Plancha Recubrimiento	763800	mm^3	La plancha de recubrimiento usada es de 670x380x3mm
W Plancha de Recubrimiento	**6.000**	**kg**	**Peso de la Plancha de Recubrimiento**
Carga Total			
W equipo	10.00	kg	Carga total debido a los equipos a soportar
W tubería estructura	7.56	kg	Peso de la estructura de la mesa lateral
W Plancha de Recubrimiento	6.00	kg	Peso de la Plancha de Recubrimiento
W adicional	20.00	kg	Carga adicional en caso de sobre carga
Wtotal	**43.56**	**kg**	**Carga total**
Ftotal	**426.89**	**N**	**Fuerza total generada por la carga total**

A continuación se presenta el esquema que representa los pernos de sujeción de la mesa lateral, en la Figura 3.17, tomando en cuenta que la fuerza excéntrica total es de 426.89 N, y la distancia de excentricidad es de 450 mm.

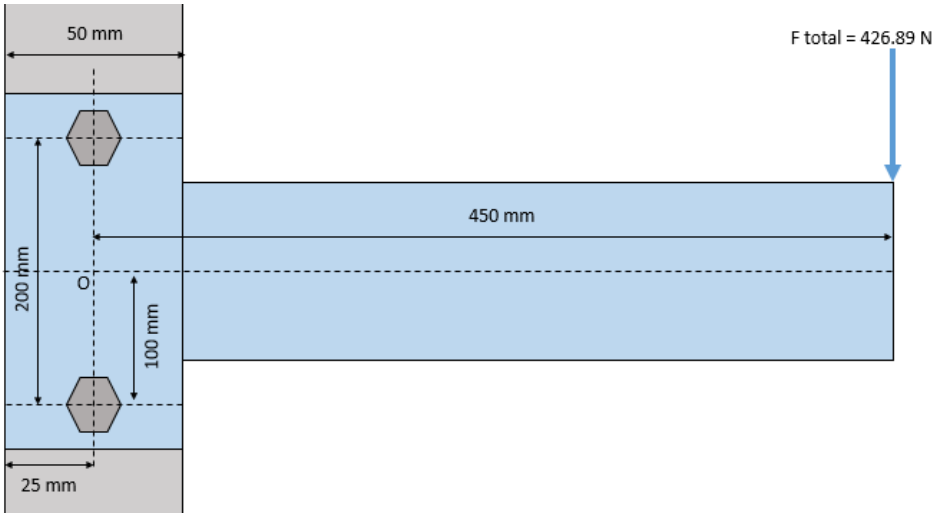


Figura 3.17 Esquema de Diseño de los Pernos de Sujeción de la Mesa Lateral

De acuerdo al esquema anterior, se calcula la reacción cortante V y el momento M respecto al centroide O del grupo de pernos.

$$V = 426.89 \text{ N} \qquad M = 426.89 \cdot (450) = 192099.6 \text{ N mm} = 192.099 \text{ N m}$$

Según [38] se utilizan las siguientes ecuaciones para calcular: la carga cortante primaria (9) y las fuerzas cortantes secundarias (10) en cada perno.

$$F' = \frac{V}{n} \tag{9}$$

$$F_n'' = \frac{M r_n}{r_A^2 + r_B^2 + \cdots} \tag{10}$$

Donde:

V.- Es la reacción cortante, en N;

n .- Número de pernos en la unión;

M.- Momento respecto al centroide de los pernos, en N mm;

r.- Distancia desde el centroide hasta el centro del perno, igual a 100 mm.

A continuación se presentan los resultados de las fuerzas primarias, secundarias y basándose en la Figura 3.18, mediante la regla del paralelogramo se encuentran las magnitudes en cada perno.

$$F_A{}' = 213.44 \text{ N} \qquad F_A{}'' = 960.5 \text{ N} \qquad F_A = 983.93 \text{ N}$$

$$F_B{}' = 213.44 \text{ N} \qquad F_B{}'' = 960.5 \text{ N} \qquad F_B = 983.93 \text{ N}$$

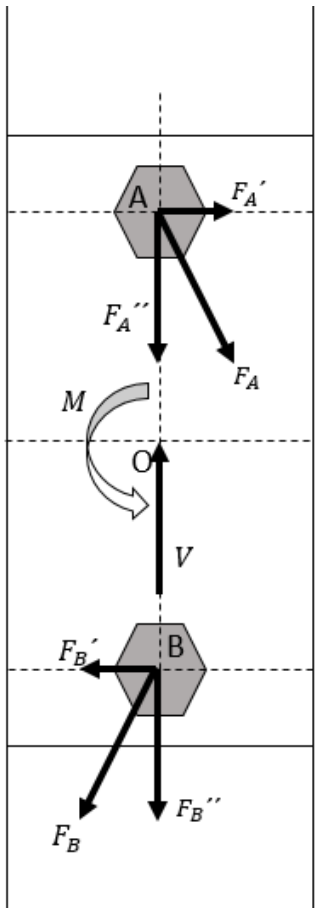


Figura 3.18 Diagrama de Fuerzas cortantes en los Pernos

Cada uno de los pernos soporta la mitad de la carga por lo cual se toma como la mayor carga la magnitud de cualquiera de los pernos, 983.93 N, según [38] el esfuerzo cortante τ se puede calcular utilizando la (11), mientras que para el diseño se tiene la restricción de la (12).

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{11}$$

$$\tau \leq \frac{0.577\, S_y}{n} \tag{12}$$

Donde:

F.- Es la carga máxima en el perno, en N;

A .- El área de esfuerzo cortante, en mm^2;

S_y.- Resistencia mínima a la fluencia del perno, en MPa;

n.- Factor de seguridad (Para cortante $n = 1.44$ según [38])

Para el diseño se requiere encontrar el diámetro del perno a utilizarse, tomando en cuenta un factor de seguridad recomendado de 1.44, la carga máxima sobre el perno y la clase del mismo, la cual se selecciona en base a la Figura 3.19 donde se escoge un perno de clase 4.6 de acero de bajo o medio carbono con una resistencia mínima a la fluencia de 240 MPa.

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima,† MPa	Resistencia mínima a la tensión,† MPa	Resistencia mínima a la fluencia,† MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	4.6
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	4.8
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	5.8
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	8.8
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	9.8
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	10.9
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	12.9

Figura 3.19 Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero
Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley [38]

Igualando las (11) y (12) se puede despejar el área y obtener el diámetro del tornillo como se presenta a continuación, dando como resultado la (13).

$$\frac{F}{A} = \frac{0.577\, S_y}{n}$$

$$A = \frac{F\, n}{0.577\, S_y}$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{F\ n}{0.577\ S_y}$$

$$D = \sqrt{\frac{4\ F\ n}{0.577\ S_y\ \pi}} \tag{13}$$

Donde:

D.- Es el diámetro de perno, en mm;

F .- La carga máxima sobre el perno, en N;

S_y.- Resistencia mínima a la fluencia del perno, en MPa;

n.- Factor de seguridad.

Reemplazando los valores mencionados anteriormente en (13) se obtiene que el perno debe ser de 5 mm de diámetro, tomando en cuenta que sea de la clase 4.6 de acero de bajo o medio carbono, la longitud del perno será de 63.5 mm o 2.5 pulg. La hoja de cálculo del dimensionamiento de los pernos se presenta en el Anexo A.5.

3.1.1.5 Diseño del carro vertical

El carro vertical aloja el sensor de distancia para la medición de la altura de los paquetes, y también sujeta la cámara del sistema de visión artificial. Este sistema debe ser móvil ya que se deberá ajustar la distancia de enfoque de la cámara según el paquete que se desea medir. Para el diseño el carro vertical se debe definir la forma la cual es rectangular de 41.5 mm de altura, 95 mm de ancho y 400 mm de longitud.

Para el análisis del diseño se considera una viga en voladizo con una carga excéntrica, el valor total de la carga se describe en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Cargas y Fuerza total para el diseño del Carro Vertical

Cargas			
W equipo	0.7	kg	Peso del equipo de medición
W estructura	1	kg	Peso del carro de movimiento vertical
W adicional	0.68	kg	Peso adicional del 40%
W total	**2.38**	**kg**	**Carga total**
F total	**23.324**	**N**	**Fuerza total generada por la carga**

A continuación en la Figura 3.20 se presenta el esquema de diseño, del cual se parte para el análisis. Se presenta una viga en voladizo con una carga en su extremo, donde su longitud es de 400 mm.

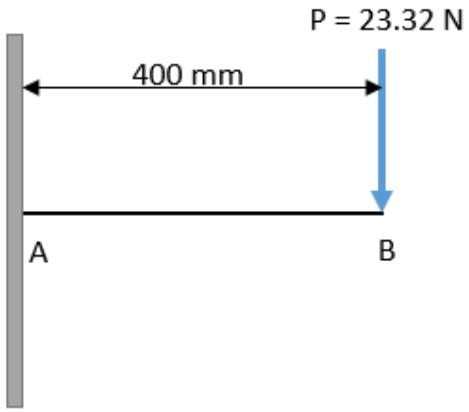


Figura 3.20 Esquema de diseño del carro vertical

Para realizar los cálculos de acuerdo con [37] se utilizan las ecuaciones para determinar la fuerza cortante (reacción) (14), el momento (15) y la deflexión máxima (16).

$$R_A = V = P \tag{14}$$

$$M_A = -P \cdot L \tag{15}$$

$$y_{max} = \frac{-P\ L^3}{3\ EI} \tag{16}$$

Donde:

P.- Fuerza generada por la carga, en N;

L .- Longitud de la viga, en mm;

E.- Módulo de Young o elasticidad, en MPa;

I.- Inercia de la viga, en mm^4.

A continuación se presentan los resultados del cálculo de la reacción y momento, tomando en cuenta que se aplica una fuerza en el extremo de la viga $P = 23.32\ \mathrm{N}$, en una viga de longitud $L = 400\ \mathrm{mm} = 0.40\ \mathrm{m}$. Para confirmar los cálculos se utiliza el software XVigas [35].

Reacción: $R_A = 23.32\ \mathrm{N}$

Momento: $M_A = -9329.6\ \mathrm{N\ mm} = -9.3296\ \mathrm{N\ m}$

En la Figura 3.21 se presentan los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante, graficados a partir de las reacciones y momentos.

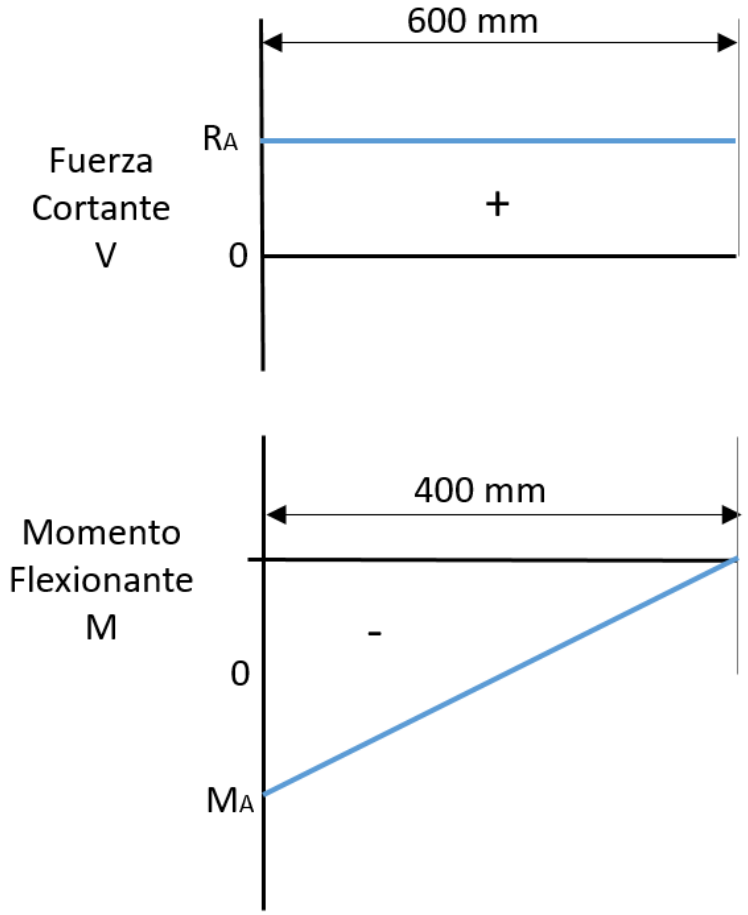


Figura 3.21 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexionante del diseño del carro vertical

Para analizar la deflexión de la viga, se realizan iteraciones con diferentes espesores del catálogo de Dismetal de planchas de aluminio liso, un extracto se puede ver en la Figura 3.22, en esta se especifican las dimensiones de las planchas su espesor y peso, el módulo de elasticidad corresponde al aluminio 6061, $E = 70\ 000\ \mathrm{MPa}$.

ESPESOR	DIMENSIONES		PESO
mm	ancho	largo	kg.
	mm	mm	
0.70	1220	2440	5.61
0.70	1000	2000	3.78
0.90	1220	2440	7.22
0.90	1000	2000	4.86
1.00	1220	2440	8.02
1.00	1000	2000	5.40
1.20	1220	2440	9.62
1.20	1000	2000	6.48
1.50	1220	2440	12.03
1.50	1000	2000	8.10
2.00	1220	2440	16.04
2.00	1000	2000	10.80
2.50	1220	2440	20.05
2.50	1000	2000	13.50
3.00	1220	2440	24.06
3.00	1000	2000	16.20

Figura 3.22 Extracto del Catálogo de Planchas de Aluminio Liso
Fuente: Dismetal [39], ver Anexo B.4

Se realizaron las iteraciones hasta verificar que la deflexión se encuentre dentro del rango recomendado para piezas de precisión moderada. Un extracto de las iteraciones con los diferentes espesores del catálogo se muestra en la Figura 3.23.

Alto viga	Ancho Viga	Espesor	Inercia I		Y	Y/L	Precision	General
mm	mm	mm	cm4	mm4	mm		Moderada	
41.5	95	0.7	6.755692125	67556.92125	-0.47657984	0.00119145	FALSO	VERDADERO
41.5	95	0.9	8.758678875	87586.78875	-0.36759273	0.000918982	FALSO	VERDADERO
41.5	95	1	9.77249375	97724.9375	-0.32945804	0.000823645	FALSO	VERDADERO
41.5	95	1.2	11.8249565	118249.565	-0.27227387	0.000680685	FALSO	VERDADERO
41.5	95	1.5	14.96630313	149663.0313	-0.21512505	0.000537813	FALSO	VERDADERO
41.5	95	2	20.3714875	203714.875	-0.15804573	0.000395114	VERDADERO	FALSO
41.5	95	2.5	25.99279688	259927.9688	-0.12386611	0.000309665	VERDADERO	FALSO
41.5	95	3	31.83498125	318349.8125	-0.10113487	0.000252837	VERDADERO	FALSO

Figura 3.23 Extracto de las iteraciones para el diseño del carro vertical (ver Anexo A.6)

Realizando las diferentes iteraciones con los elementos del catálogo, se determina que la viga debe ser conformada con piezas de aluminio de 2 mm de espesor, así se cumple con la deflexión recomendada. En la Figura 3.24 se muestra el gráfico de deflexión de la viga tomando en cuenta las dimensiones indicadas anteriormente.

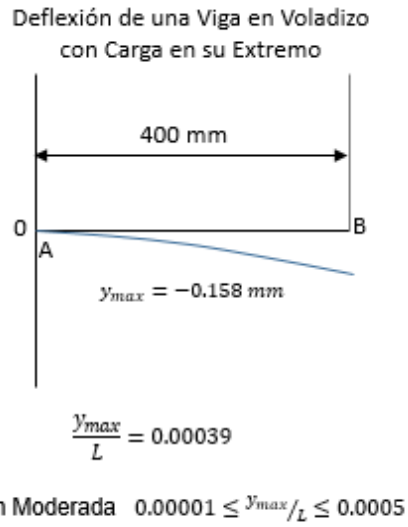


Figura 3.24 Diagrama de Deflexión del carro vertical (ver Anexo A.6)

3.1.1.6 Diseño del tornillo de potencia para el carro vertical

El tornillo de potencia convierte el movimiento giratorio en movimiento lineal, permitiendo elevar y bajar cargas, en este caso se utiliza para dar movimiento al carro vertical que contiene los sensores para medir el volumen de los paquetes. Se requiere como punto de partida determinar la carga máxima que deberá mover y la fuerza que esta genera. En la Tabla 3.7 se muestra los parámetros tomados en cuenta para determinar la carga máxima y su fuerza.

Tabla 3.7 Cargas y Fuerza total para el diseño del tornillo de potencia

Cargas			
W equipo	0.7	kg	Peso del equipo de medición
W estructura	1	kg	Peso del carro de movimiento vertical
W adicional	0.68	kg	Peso adicional del 40%
W total	**2.38**	**kg**	**Carga total**
F total	**23.324**	**N**	**Fuerza total generada por la carga**

Es importante conocer las características del tornillo y del collarín, se llama así a la pieza intermedia que permite elevar o descender cargas, se utiliza para distribuir mejor la fuerza de empuje sobre la base de apoyo, según [40] los parámetros que definen el tornillo de potencia y el collarín son los que se muestran en la Figura 3.25.

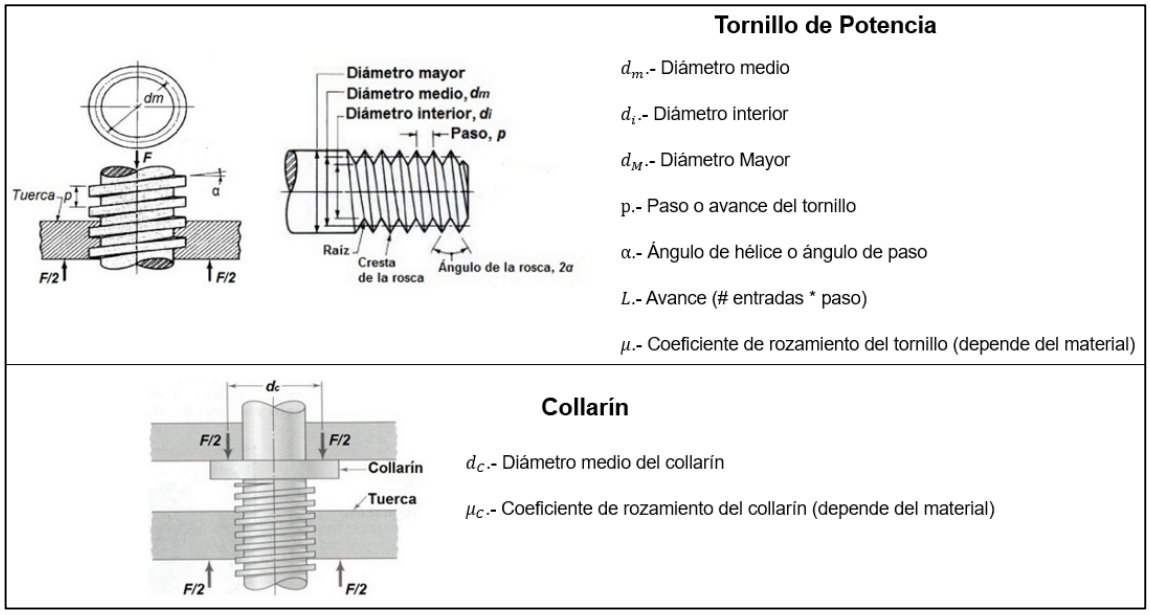


Figura 3.25 Características principales del tornillo de potencia y del collarín [40]

En la Figura 3.26 se muestran las características principales del tornillo de potencia y el collarín utilizados para el diseño. Esta información se toma de las especificaciones técnicas de cada una de las partes.

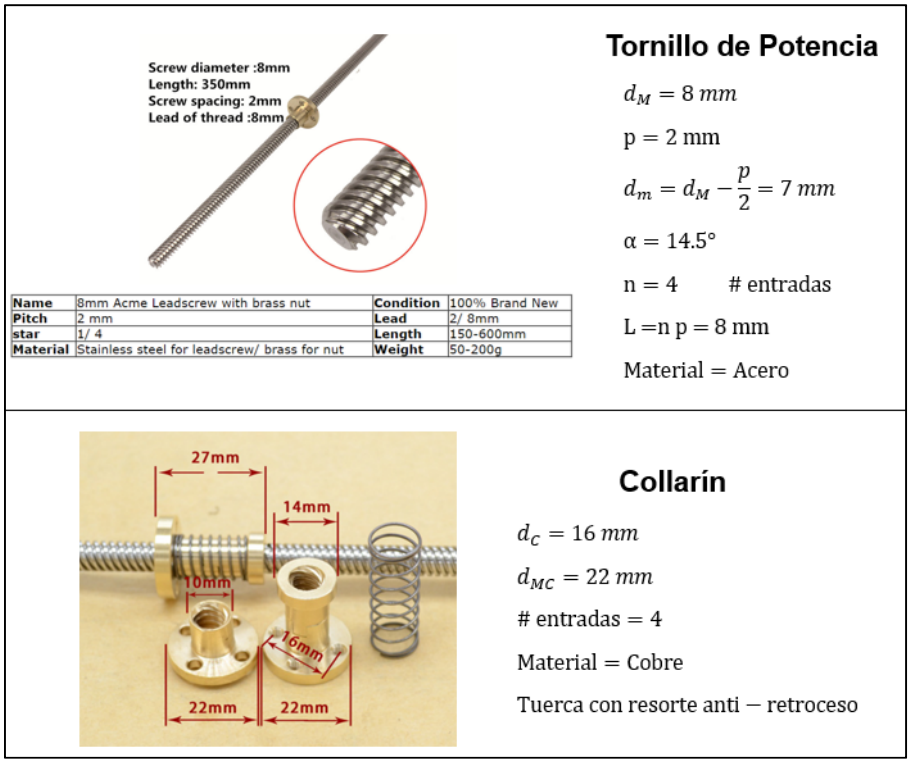


Figura 3.26 Descripción de las características del tonillo de potencia y collarín utilizados para el diseño

Los coeficientes de rozamiento μ_C y μ se toman de la Figura 3.27 extraída de [41], tomando en cuenta que el tornillo es de acero, el collarín y la tuerca son de cobre. Por lo tanto $\mu = \mu_C = 0.36$.

- Coeficientes de rozamiento estático y cinético

Superficies en contacto	μ_s	μ_k
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre concreto	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25-0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en humanos	0.01	0.003

Figura 3.27 Coeficientes de rozamiento estático y cinético
Fuente: Física, Serway R.A. [41]

A continuación se calcula los torques necesarios para la elevación y descenso, utilizando las expresiones (17) y (18) según [42].

$$T_u = T_{Su} + T_C = \frac{P\, d_m\, (\mu\, \pi\, d_m + L)}{2\, (\pi\, d_m - \mu\, L)} + \mu_C P \frac{d_C}{2} \tag{17}$$

$$T_d = T_{Sd} + T_C = \frac{P\, d_p\, (\mu\, \pi\, d_m - L)}{2\, (\pi\, d_m + \mu\, L)} + \mu_C P \frac{d_C}{2} \tag{18}$$

Donde:

T_u.- Es el torque total para levantar carga, en N mm;

T_d.- Es el torque total para bajar carga, en N mm;

P .- Es la carga axial, Fuerza Total de la Tabla 3.7, en N;

d_m.- Diámetro medio indicado en la Figura 3.26, en mm;

d_C.- Diámetro medio del collarín indicado en la Figura 3.26, en mm;

L.- Avance indicado en la Figura 3.26, en mm;

μ.- Coeficiente de rozamiento del tornillo con la tuerca;

μ_C.- Coeficiente de rozamiento del collarín.

Reemplazando los valores indicados en las ecuaciones (17) y (18) se obtiene que el torque para elevar carga y bajar carga es:

$$T_u = 156.66 \text{ N mm} = 0.15666 \text{ N m} \qquad Td = 65.93 \text{ N mm} = 0.065 \text{ N m}$$

El torque máximo necesario es el correspondiente al torque de elevación, según el cual se puede dimensionar también el motor para dar el movimiento al eje vertical. Se puede decir que el torque del motor debe ser por lo menos 0.16 N m.

No toda la carga de compresión que actúa sobre el tornillo se sitúa exactamente sobre su eje longitudinal, sino que una parte de la carga está ubicada excéntricamente, como se observa en el siguiente diagrama de la Figura 3.28 tomada de [40]. La excentricidad de la carga debido a los equipos de medición (observar la Tabla 3.7) introduce esfuerzos adicionales (momentos de flexión) a lo largo del tornillo, los cuales deben sumarse con los esfuerzos por compresión de la carga. El efecto de la excentricidad de la carga se reemplaza por un sistema de esfuerzos equivalentes formados por una carga de compresión centrada de valor total de la fuerza generada por la carga (Fuerza Total de la Tabla 3.7) F_{total} y un momento de flexión $M = F_{equipos} \cdot e$ donde e es la distancia de excentricidad de la carga y $F_{equipos}$ es la fuerza generada por el peso de los equipos de medición (ver Tabla 3.7). Según [40] la expresión (19) representa el esfuerzo combinado en este caso.

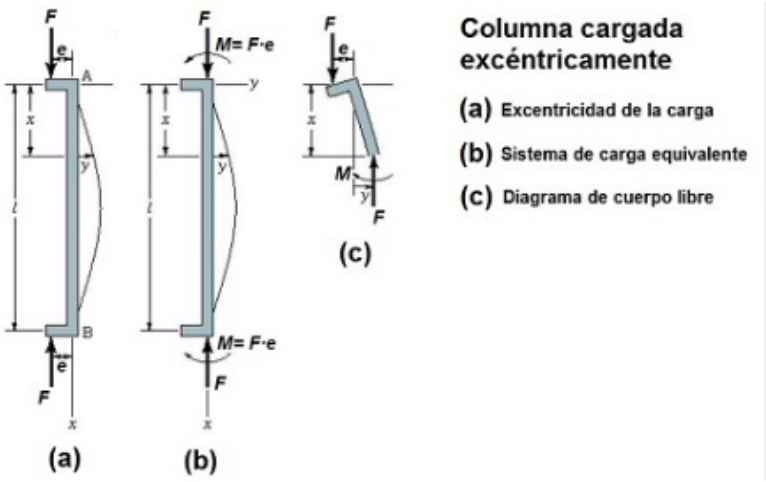


Figura 3.28 Columna cargada excéntricamente
Fuente: Tutorial Tornillos de Potencia, Rodríguez H. [40]

$$\sigma_{combinado} = \frac{4\,F_{total}}{\pi \cdot {d_i}^2} + \frac{32\ \cdot F_{equipos} \cdot e}{\pi \cdot {d_i}^3} \tag{19}$$

Donde:

$\sigma_{combinado}$.- Es el esfuerzo combinado debido al torque y compresión, en Pa;

F_{total}.- Es la fuerza total generada por toda la carga ver Tabla 3.7, en N;

$F_{equipos}$.- Es la fuerza generada por la carga de los equipos de medición ver Tabla 3.7, en N;

d_i.- Diámetro interno del tornillo, en mm;

e.- distancia de la carga excéntrica con referencia a la línea longitudinal del eje del tornillo, en mm.

Para el cálculo del esfuerzo combinado, se debe reemplazar los siguientes valores en Ec.17, la fuerza total es igual a 23.324 N, la fuerza generada por la carga de los equipos de medición es 6.86 N, la distancia de la carga excéntrica es 310 mm y el diámetro interno es 6 mm. Obteniendo así los siguientes resultados:

$$\sigma_{combinado} = 101.10903\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm}^2} = 101.10903\ \mathrm{MPa}$$

La seguridad del diseño del tornillo se obtiene comparando este esfuerzo combinado con el límite elástico del material del cual está fabricado el tornillo (Acero Inoxidable AISI 304). Según [40] se recomienda cumplir la siguiente condición (20).

$$Cs = \frac{S_y}{\sigma_{combinado}} > 3 \tag{20}$$

Donde:

C_S.- Factor de seguridad

S_y.- Límite elástico del material del tornillo, en MPa;

$\sigma_{combinado}$.- Esfuerzo combinado, en MPa.

El límite elástico del material del tornillo se toma de la lista de características mecánicas del Acero Inoxidable AISI 304, del cual está hecho el tornillo de potencia, un extracto de las características se muestra en la Figura 3.29.

MECHANICAL PROPERTIES:

304 (Annealed to ASTM A276)

Finish	Dia or Thickness mm	Tensile Strength MPa Min.	Yield Strength MPa min.	Elongation in 50mm % min.
Hot finish	All	515	205	40
Cold finish	≤12.7	520	310	30
Cold finish	>12.7	515	205	30

Figura 3.29 Características del Acero Inoxidable AISI 304
Fuente: Catálogo Global Metals [43], Anexo B.5

Reemplazando los valores de $S_y = 310\ \mathrm{MPa}$ y el $\sigma_{combinado} = 101.109\ \mathrm{MPa}$, en (20) se puede calcular el factor de seguridad el cual es igual a 3.07, lo cual es aceptable según [40]. Por lo cual se utiliza un tornillo de potencia de Acero Inoxidable AISI 304 de diámetro exterior de 8 mm, con un paso de 2 mm, con 4 entradas, de 600 mm de longitud, para mover el carro vertical se utiliza un collarín de 16 mm de diámetro medio y una tuerca de cobre con un sistema anti-retroceso.

El sistema de movimiento vertical cuenta con dos ejes guía paralelos al tornillo de potencia, para brindar apoyo y guiar a la carga, su diámetro es el mismo del tornillo de potencia, por lo tanto los ejes guía son de 8 mm de diámetro de acero DF2 (AISI101).

3.2 DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico de todo el sistema se divide en 5 partes principales: el módulo de medición de peso, el módulo de medición de altura (distancia), el módulo de movimiento del eje vertical, el módulo central de control (PLC) y los elementos complementarios.

En la Figura 3.30 se presenta el diagrama general del sistema electrónico utilizado para la adquisición de datos y control.

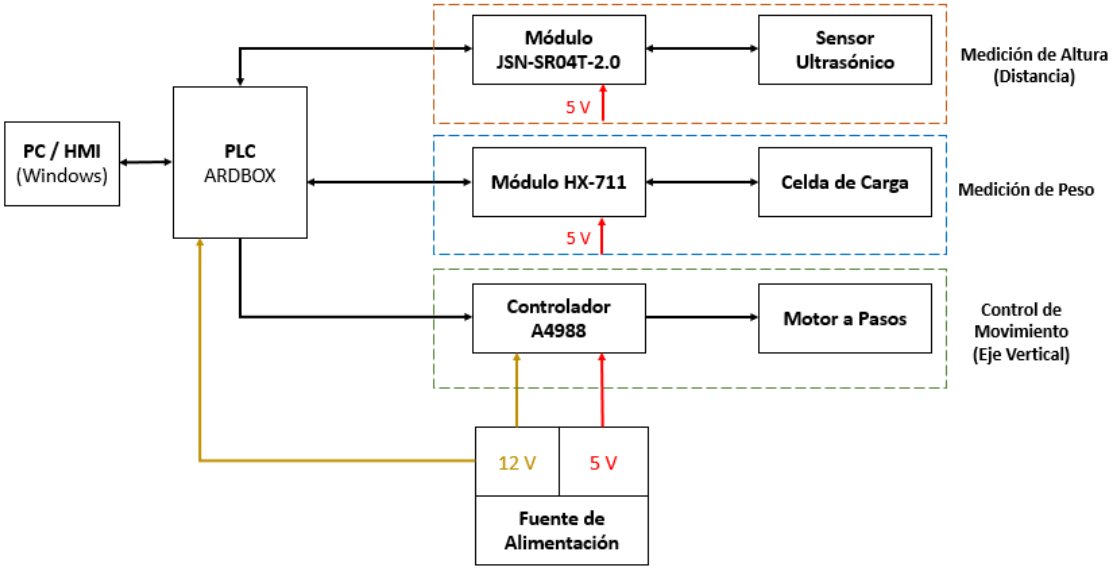


Figura 3.30 Diagrama General del Diseño Electrónico

3.2.1 Módulo Central de Control PLC

Para la adquisición de datos y control del sistema se utilizó el controlador lógico programable PLC, ARDBOX ANALOG, desarrollado por la empresa IndustrialShields. Este controlador está basado en hardware y software libre, permite comunicación USB-Serial, RS-232, I2C, RS-485 y SPI, requiere una fuente de alimentación de 12 a 24 VDC, dispone de 10 entradas entre ellas: 9 entrada analógicas (0-10VDC) o digitales (5-12-24VDC) configurables por software y 1 entrada digital opto-aislada. Cuenta también con 10 Salidas aisladas (5-12-24VDC), 6 de ellas pueden ser configuradas como salidas PWM, mientras que 7 del total pueden ser configuradas como salidas analógicas (0-10VDC). [29]

Dentro del sistema de volumetría y pesaje el PLC se encarga de:

- Adquirir, interpretar, procesar y enviar los datos de la medición de peso
- Adquirir, interpretar, procesar y enviar los datos de la medición de altura.
- Enviar las señales de control para el movimiento del motor y así ubicar la cámara a la distancia de enfoque adecuada.
- Comunicación con la computadora para presentar los resultados al usuario y controlar el sistema de medición.
- Recepción de las señales de los botones y fines de carrera de seguridad, procesa esta información y actúa.

El PLC ARDBOX ANALOG cuenta con 4 pines para manejo de señales de alta frecuencia: SDA-PIN 2 y SCL-PIN 3 que pueden ser utilizados como entradas o salidas y también para la comunicación I2C, y los pines DE-D7 y RE-D4 que de igual forma pueden ser entradas o salidas y se utilizan para la comunicación RS485. Está información es importante ya que los sensores utilizados y sus transductores, requieren que los puertos de entrada y salida trabajen en altas frecuencias. Las salidas digitales normales del PLC están limitadas a 500Hz, por lo tanto cualquier frecuencia mayor a la mencionada será considerada como alta para el PLC.

En la Figura 3.31 se presentan imágenes del PLC utilizado.

Figura 3.31 PLC ARDBOX Analog

Fuente: Industrial Shields [29]

3.2.2 Módulo de Medición de Peso

Para obtener el valor de peso se utiliza: una celda de carga (puntual) como sensor, un convertidor analógico digital ADC para interpretar el valor de voltaje que entrega la celda de carga y finalmente la unidad de control principal (PLC) interpreta la señal digital proveniente del ADC y transmite la información hacia la computadora para presentar los datos al usuario.

El módulo HX711 actúa como una interface entre la celda de carga y el controlador, internamente amplifica la señal de la celda de carga y convierte este valor analógico a una serie de pulsos digitales con su conversor ADC de 24 bits. Se comunica con el controlador (PLC) por medio de 2 pines (Reloj SCK y Datos DOUT), se utilizan para el envío de datos, la selección del canal de entrada y selección de la ganancia del amplificador. Cuando los datos no están listos para ser extraídos, el pin DOUT se coloca en un estado digital alto, el reloj serial de la entrada SCK debe ser bajo, cuando el pin DOUT pasa a un estado digital bajo, indica que está listo para enviar los datos. Al aplicar de 25 a 27 pulsos de reloj positivos en el pin SCK, la información de la medición se obtiene en el pin de salida DOUT, cada uno de los pulsos aplicados en SCK permite la salida de un bit, comenzando por el bit más significativo MSB, hasta que los 24 bits sean enviados, el pulso número 25 restaura el pin DOUT en alto. Mientras que para la selección del canal de entrada y la ganancia del amplificador se interpretan los pulsos siguientes al vigésimo cuarto, si se aplican solo 25 pulsos en cadena, el canal de entrada seleccionado será A y la ganancia será de 128, sí se aplican 26 pulsos se selecciona el canal B con una ganancia de 32 y si se aplican 27 pulsos se selecciona el canal A con una ganancia de 64. Es importante recordar para la programación que la cadena de pulsos del reloj no debe ser menor a 25 pulsos ni mayor a 27, para evitar problemas en la comunicación de los dispositivos. Una clara representación del protocolo de comunicación se indica en la Figura 3.32. Se detalla de mejor forma el funcionamiento de este módulo en su hoja de datos en el Anexo B.6.

En la Tabla 3.8 se describen las características de los principales elementos utilizados para medir peso en el sistema implementado.

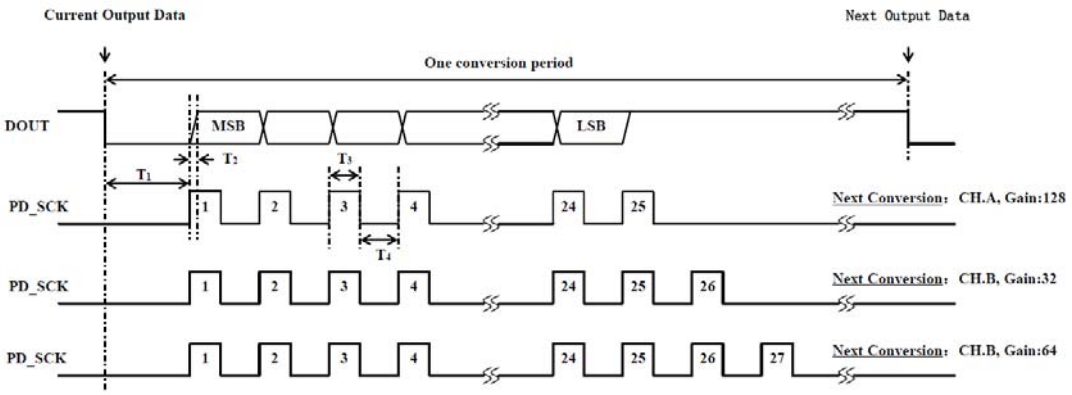
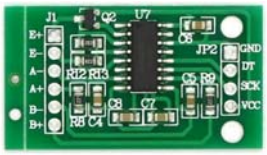


Figura 3.32 Representación del protocolo de comunicación

Fuente: Datasheet HX711 [44]

Tabla 3.8 Principales Elementos del Módulo de medición de Peso

Imagen	Nombre / Función	Especificaciones
	Celda de Carga Puntual / Sensor de Peso	Dimensiones: 150 x 38 x 24 mm Error: 0.02% (a escala completa FS) Voltaje de Excitación: 5VDC – 12VDC Carga: 200 kg Hoja de Datos: Anexo B.7
	Módulo HX711 / Amplificador de Señal y ADC	Voltaje de operación: 2.7 – 5 V Corriente de operación < 1.5 mA Resolución del ADC: 24 bits Velocidad de transmisión: 10 o 80 SPS Ganancia del Amplificador: 32, 64 o 128 Hoja de Datos: Anexo B.6

3.2.3 Módulo de Medición de Altura (Distancia)

Para medir la altura de los paquetes se utiliza un sensor ultrasónico conectado a la unidad de control para interpretar las señales, controlar el sensor y transmitir la información hacia la computadora, para después presentar la información al usuario.

El sensor ultrasónico cumple con las características especificadas en la Tabla 3.9.

Su principio de funcionamiento se basa en la eco-localización, miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas, se emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto en análisis, este sensor utiliza una interfaz digital la cual envuelve el uso de los pines trigger (disparo) y echo (eco).

Tabla 3.9 Sensor Ultrasónico para medir Altura

Imagen	Nombre / Función	Especificaciones
	Sensor Ultrasónico Módulo JSN-SR04T / Sensor de Distancia	Voltaje de Operación: 5 VDC Corriente de Operación: 30 mA Distancia máxima de medición: 4.5 m Resolución aproximada: 0.5 cm Frecuencia de Emisión: 40 kHz Ángulo de detección: menor a 50 grados A prueba de agua Hoja de Datos: Anexo B.8

El pin de disparo recibe un pulso de habilitación por parte del controlador, mediante el cual se indica al sensor que comience a realizar la medición de distancia. A través del pin eco el sensor envía hacia el controlador un pulso cuyo ancho es proporcional al tiempo que tarda el sonido en viajar desde el sensor hasta el objeto y de regreso al transductor, por lo cual este tiempo del ancho de pulso es el que debe medir el controlador. En la Figura 3.33 se muestra los pulsos recibidos y enviados por el sensor. Conociendo el tiempo de viaje del ultrasonido y su velocidad de propagación, se puede determinar la fórmula para el cálculo de la distancia.

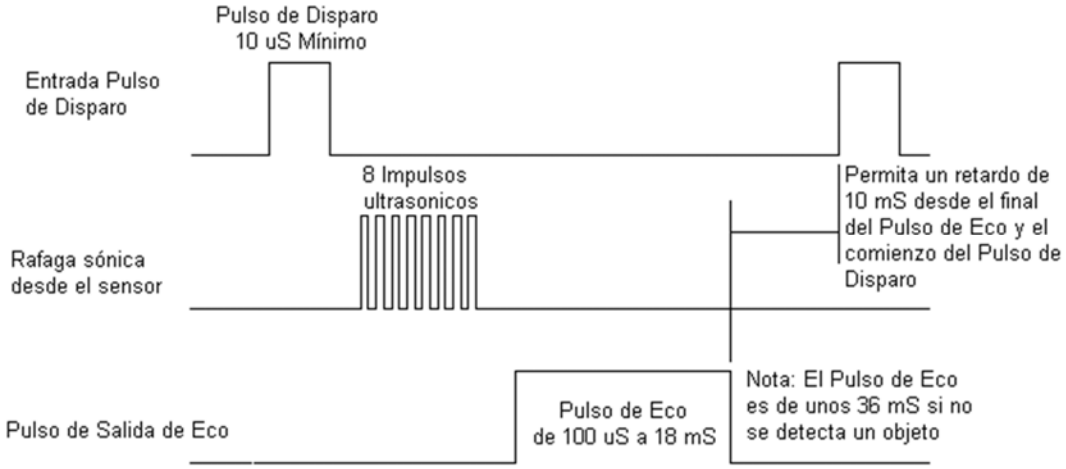


Figura 3.33 Funcionamiento del Sensor Ultrasónico

Fuente: Infrarojos y Ultrasonidos [45]

3.2.4 Módulo de Movimiento del Eje Vertical

La cámara del sistema de visión artificial debe moverse en un eje vertical para poder ubicarse siempre a la misma distancia de enfoque del paquete en análisis. Dentro de

este módulo se encuentran: un motor a pasos que da el movimiento al tornillo de potencia para el desplazamiento en el eje vertical, el controlador o driver para el motor a pasos A4988 y la unidad de control (PLC) para enviar las señales de control para mover el motor.

En la Tabla 3.10 se describen los principales elementos utilizados en el módulo para el movimiento del eje vertical.

Tabla 3.10 Módulo de Movimiento Vertical

Imagen	Nombre / Función	Especificaciones
	Controlador A4988 / Controlador para Motores a Pasos	Corriente máxima (motor): 2 A Voltaje máximo (motor): 35 V Micropasos: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 Voltaje de Polarización: 5 VDC Consumo de Corriente: 30 mA Cuenta con un regulador de intensidad Hoja de Datos: Anexo B.9
	Motor a Pasos NEMA 17 / Movimiento del Eje Vertical	Vexta Stepping Motor C7325-9012 Motor Bipolar Grados de giro por paso: 1.8º Torque nominal: 0.097 N m Voltaje: 4.4 V Corriente: 1.1 A Hoja de Datos: Anexo B.10

El controlador A4988, permite controlar el movimiento de un motor a pasos, según la polarización de sus bobinas y permite limitar la corriente que circula por el motor, según lo cual se puede regular su potencia y torque. Mediante los pines digitales STEP se controla el avance del motor y DIR permite controlar el sentido de giro; mediante los pines MS1, MS2, MS3 se permite realizar la división de pasos (micros pasos) para conseguir así una precisión superior al paso nominal del motor. El controlador cuenta con protecciones contra sobreintesidad, cortocircuito, sobretensión y temperatura.

Tomando en cuenta el número de pasos del motor, y las características del tornillo de potencia (observar la Figura. 3.26) como el número de entradas y el paso, se puede determinar el desplazamiento del carro por cada paso, utilizando la expresión (21).

$$d_{pm} = \frac{n_p}{n_e \cdot p} \tag{21}$$

Donde:

d_{pm}.- Número de pasos para avanzar 1 mm, en pasos / mm;

n_p.- Número de pasos del motor (depende del uso de micro-pasos);

$$n_p = \left(\frac{360°}{grados\ de\ giro\ por\ paso}\right) \cdot \frac{1}{micro\ pasos} \tag{22}$$

n_e .- Número de entradas del tornillo;

p .- Paso del tornillo de potencia, en mm.

Reemplazando $n_p = 200$, $n_e = 4$ y $p = 2\ \mathrm{mm}$, se puede calcular el número de pasos que se debe dar para avanzar un milímetro, sin utilizar micro-pasos. Como resultado se obtiene que 25 pasos del motor permitirán que el carro vertical se desplace 1 mm. Esta información es importante para la programación del controlador del motor.

3.2.5 Elementos Complementarios

Se han denominado como elementos complementarios a aquellos dispositivos que no son sensores, actuadores o controladores lógicos programables. Pero son elementos que intervienen en el funcionamiento general de la máquina.

3.2.5.1 Fin de Carrera

Los fines de carrera o sensores de contacto, son interruptores que cambian de estado cuando se ejerce una acción mecánica (fuerza o contacto) sobre el actuador del sensor. Estos elementos se utilizan para detectar un objeto al final o inicio del recorrido de un elemento móvil.

En la Figura 3.34 se puede observar la distribución de los fines de carrera utilizados en el sistema de volumetría y pesaje, estos sensores permiten conocer cuando la parte móvil llegue a alguno de sus límites ya sea superior o inferior. Este es un sistema de protección, para evitar que el motor siga girando y dañe el sistema si este alcanza alguno de sus límites.

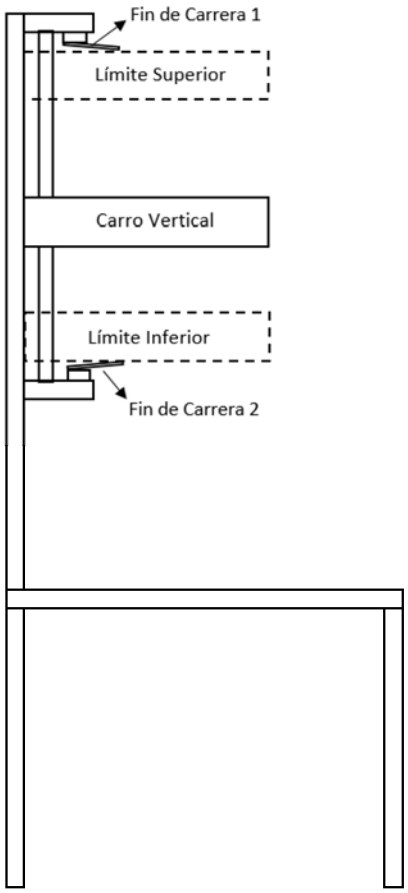


Figura 3.34 Distribución de los Fines de Carrera

3.2.5.2 Botones

En el sistema de volumetría cuenta con 4 botones distribuidos en la máquina. Su funcionalidad y tipo de botón se muestra en la Tabla 3.11. Mientras que su distribución en la máquina se muestra en la Figura 3.35.

Tabla 3.11 Funcionalidad de los Botones

Tipo de Botón	Funcionalidad
Interruptor eléctrico	Encendido y Apagado del Sistema de Medición
Pulsador 1	Encerar la balanza
Pulsador 2	Mover el carro vertical hacia arriba
Pulsador 3	Mover el carro vertical hacia abajo

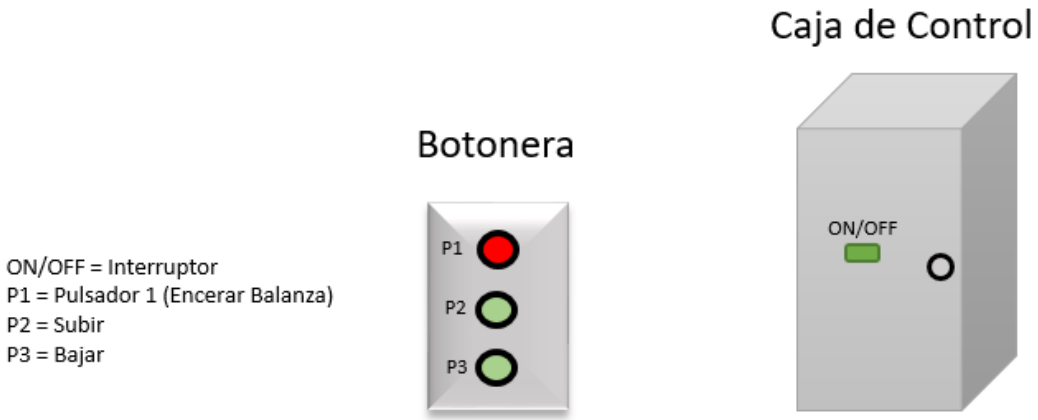


Figura 3.35 Distribución de los Botones

3.2.5.3 Fuente de Alimentación

Para dimensionar la fuente de alimentación del sistema, es necesario definir el consumo de cada uno de los elementos que forman parte del sistema de control y medición. En la Tabla 3.12 se puede observar cada elemento y su consumo de corriente.

Tabla 3.12 Elementos Electrónicos del Sistema de Volumetría y Pesaje

Elemento	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (A)
PLC Ardbox Analog	1	12	0.5
Módulo HX711	1	5	0.15
Celda de Carga	1	5	0.3
Sensor Ultrasónico Módulo JSN-SR04T	1	5	0.3
Módulo A4988	1	5	0.3
Motor a Pasos Vexta C7325-9012	1	12	1.1
Fin de Carrera	2	5	0.1
Botón	3	5	0.1

A continuación se clasifica los componentes mencionados en la tabla anterior y se suma la corriente de consumo de acuerdo al voltaje que maneja cada elemento. Adicionalmente se añade un factor de carga de 2 por seguridad para los elementos. En la Tabla 3.13 se presentan los resultados.

Tabla 3.13 Clasificación de Consumo por Voltaje

Voltaje (V)	Corriente Total (A)	Corriente x Factor de Seguridad (A)	Potencia Requerida (W)
5	1.55	3.1	15.5
12	1.6	3.2	38.4
Total		**6.3**	**53.9**

Por lo tanto se requiere una fuente de por lo menos 54 W para el sistema de pesaje y volumetría. La fuente de alimentación debe proveer voltajes de 5V con una capacidad de al menos de 16 A y 12 V con una capacidad de al menos 39 A. De las fuentes de alimentación disponibles en el mercado se selecciona la Altek Modelo: PX-500W, observar Anexo B.11, cuya capacidad es de 5V / 42A y 12 V / 25A, con esto se garantiza la alimentación adecuada para su correcto funcionamiento.

La fuente de alimentación cuenta con protecciones internas, soporta cortocircuitos y sobrevoltajes. Adicionalmente se añade un fusible como seguridad externa a la fuente. De acuerdo con [46] para dimensionar el fusible requerido se utiliza la ecuación (23).

$$V_{en} \cdot I_{en} \cdot f_p = W_{sal} \tag{23}$$

Donde:

V_{en}.- Voltaje RMS de entrada a la fuente, en V;

I_{en}.- Corriente RMS de entrada a la fuente, en A;

f_p.- Factor de potencia

W_{sal}.- Potencia de salida de la fuente, en W.

Considerando la potencia calculada del circuito de control $W_{sal} = 54\ \mathrm{W}$, un factor de potencia $f_p = 1$ y un voltaje de entrada de la red eléctrica de $V_{en} = 110\ \mathrm{V_{RMS}}$, se despeja la corriente de la ecuación (23).

$$I_{en} = \frac{W_{sal}}{V_{en} \cdot f_p} = \frac{54\ W}{110V\ \cdot 1}$$

$$I_{en} = 0.49\ \mathrm{A}$$

La corriente pico se calcula mediante (24), este valor indica la corriente que debe soportar el fusible.

$$I_{pico} = I_{RMS} \cdot \sqrt{2} \tag{24}$$

Donde:

I_{pico}.- Corriente pico de entrada a la fuente, en A;

I_{RMS}.- Corriente RMS de entrada a la fuente, en A.

Reemplazando el valor de la corriente de entrada en la corriente RMS, se obtiene:

$$I_{pico} = 0.69 \text{ A}$$

Por lo tanto se requiere un fusible de 0.7 A, pero ajustando este valor a los fusibles comerciales se selecciona un fusible de 1 A. El voltaje que debe soportar el fusible se recomienda que sea por lo menos el doble del voltaje de entrada. Por lo tanto se puede concluir que se requiere un fusible de 220 V a 1 A.

3.2.5.4 Conexiones

Para realizar las conexiones de los sensores y actuadores es importante determinar el tamaño adecuado del cable, basándose en la Figura 3.36 tomada de la norma AWG (American Wire Gauge Standard). Debido a que la corriente máxima a circular a través del sistema de control es 2 A, se selecciona el cable AWG 19.

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm2)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (O/Km.)	Capacidad (A)
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92

Figura 3.36 Calibre de Cables AWG
Fuente: Electrónica Fácil [47]

3.2.6 Placa Electrónica del Sistema de Medición

Para facilitar la conexión y polarización de los diferentes módulos, sensores y actuadores hacia el PLC se diseña una placa electrónica. En la Figura 3.37 se muestra un diagrama general de las conexiones de los elementos involucrados en el sistema de medición.

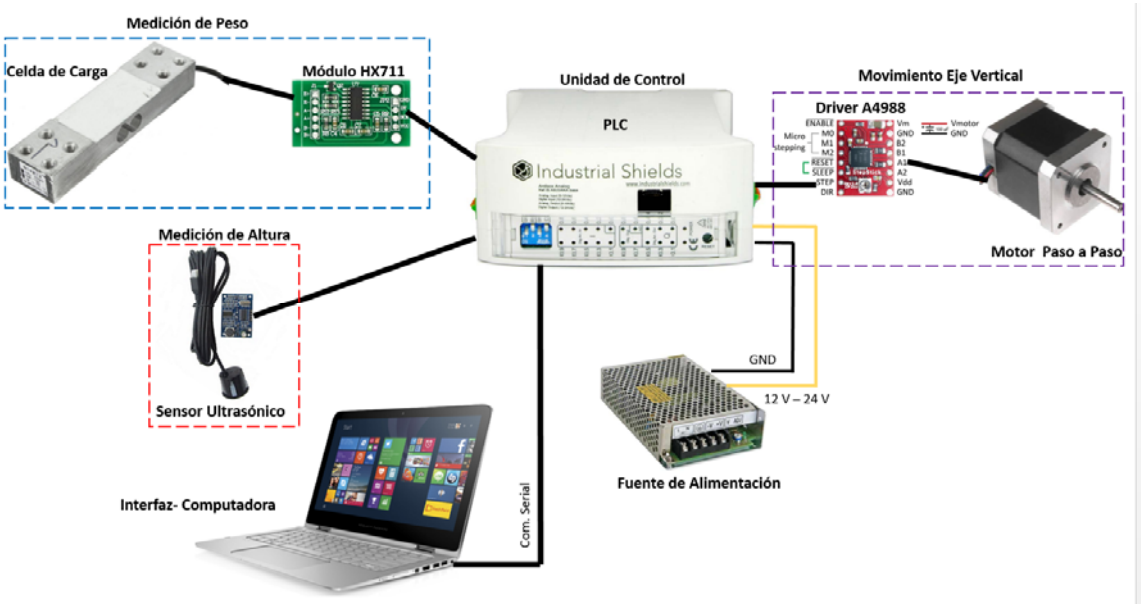


Figura 3.37 Diagrama general de conexiones

El circuito impreso PCB fue creado en el software Proteus 8, el ancho de las pistas del circuito se determinó en función de la corriente máxima que debe circular por ellas. Se determinó que las pistas deben ser de 70 mils [2] para permitir que circule una corriente máxima de 3 A, basándose en las recomendaciones de diseño de [48]. El circuito impreso resultante se muestra en el Anexo B.14.

[2] 100 mils es equivalente a 2.54 mm

3.3 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

Para realizar el diseño de la base de datos es importante conocer los datos que el sistema requiere para generar reportes, procesar la información de mediciones, generar la etiqueta de identificación del paquete y las relaciones entre los datos de los clientes, el paquete y la ruta de envío para registrar así los envíos que se realizaran.

Se debe contar con la información necesaria de los clientes (remitente y destinatario), la información de la ruta de envío donde se establece el origen, destino y el precio unitario (por cada kg de mercadería), así como también el registro de envíos de los paquetes a transportar, donde se relaciona a los clientes con uno de los paquetes procesados por el sistema para el envío del mismo en alguna de las rutas disponibles. Dentro de la base de datos también se almacenara la información de los usuarios de este sistema de volumetría y pesaje, donde se registraran los nombres de usuarios, sus respectivas contraseñas y su cargo para según esto dar acceso o restringir ciertas operaciones del sistema según el cargo del operador, a manera de perfilamiento por seguridad de la información.

En la Figura 3.38 se presenta la estructura de la base de datos que se utilizará en el sistema de volumetría, los tipos de datos de cada uno de los parámetros a almacenar y se indica también la relación entre las tablas correspondientes para así registrar los envíos, donde se puede observar una relación recurrente en la cual un cliente (remitente) puede enviar varios paquetes, pero también un cliente (destinatario) puede recibir varios paquetes.

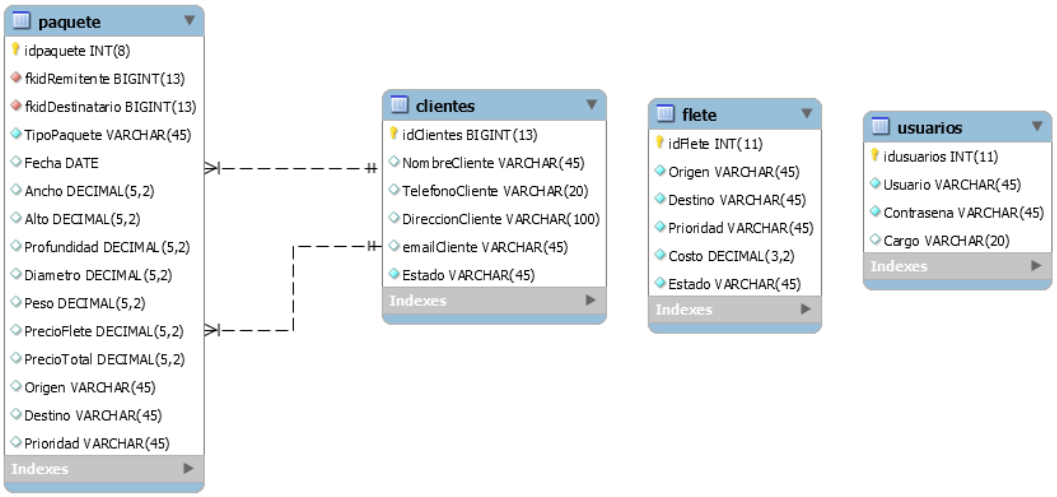


Figura 3.38 Diagrama de la Estructura de la Base de Datos (MySQL)

3.4 DISEÑO DE LA INTERFAZ

Para realizar el diseño de la interfaz con la cual interactuará el usuario, según [49] se deben tomar en cuenta las siguientes tres reglas de oro:

1. Dar control al usuario

   El diseñador debe dar control al usuario para hacer su trabajo y manipular el sistema. La interfaz debe dar flexibilidad para que pueda adaptarse a las exigencias de distintos usuarios del mismo programa. Es importante permitir al usuario una cómoda navegación, dar la posibilidad de hacer y deshacer las acciones, e informar sobre las acciones y resultados del sistema.

2. Reducir la carga de memoria del usuario

   La interfaz debe encargarse de guardar y presentar la información necesaria, para que el usuario no deba aprenderse ni recordar los datos o instrucciones de un proceso. Para esto es importante asociar acciones a los objetos o gráficos de los íconos, presentar solo la información necesaria de forma simple, hacer clara y amigable la presentación visual de la interfaz.

3. Consistencia

   Tomar como referencia los iconos y la distribución de programas similares para crear la interfaz propia, permitiendo mantener la experiencia de usuario y uso del conocimiento adquirido de otros programas. El diseño debe ser consistente como los tipos de letra, iconos, colores, etc.

El diseño de la interfaz debe centrarse en darle control al usuario mediante una interacción sencilla, agradable y funcional que simplifique la ejecución de sus tareas.

Para entregar un sistema funcional, se realizó el diseño de diferentes pantallas para la operación del sistema de volumetría, ya que se debió tomar en cuenta, los diferentes procesos que este debe realizar: registrar clientes, registrar rutas de envío, adquirir y presentar la información de las mediciones de un paquete, calcular y registrar los envíos de paquetes, generar etiquetas de identificación y generar reportes.

A continuación se presenta de forma clara el modelo de diseño de la interfaz, utilizando el modelo de Diagramas de Vista de Datos Abstractos (ADV), los cuales son modelos formales de objetos de interfaz que se utilizan para mostrar su estructura y operación,

así se define la forma en la cual los objetos de la interfaz se activan, ejecutan acciones y cómo se presenta la navegación dentro de la interfaz utilizando los objetos insertados en la misma.

La Figura 3.39 presenta el ADV de acceso al sistema, en la cual se pide ingresar el nombre de usuario y su contraseña, para acceder al funcionamiento del sistema de volumetría y cálculo de la tarifa de envío.

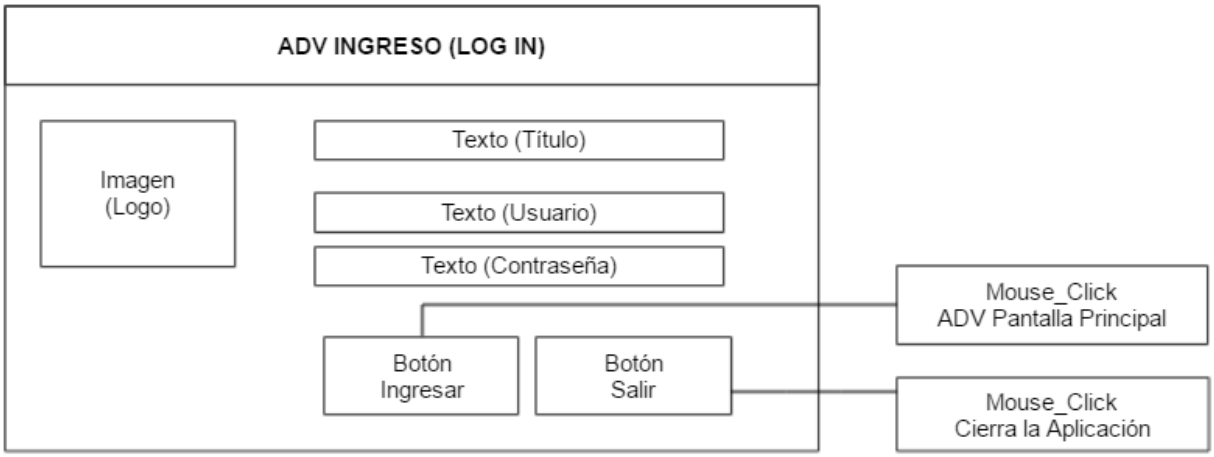


Figura 3.39 ADV Ingreso (Log In)

En la Figura 3.40 se presenta el ADV de la pantalla principal, para escoger que operación se desea realizar.

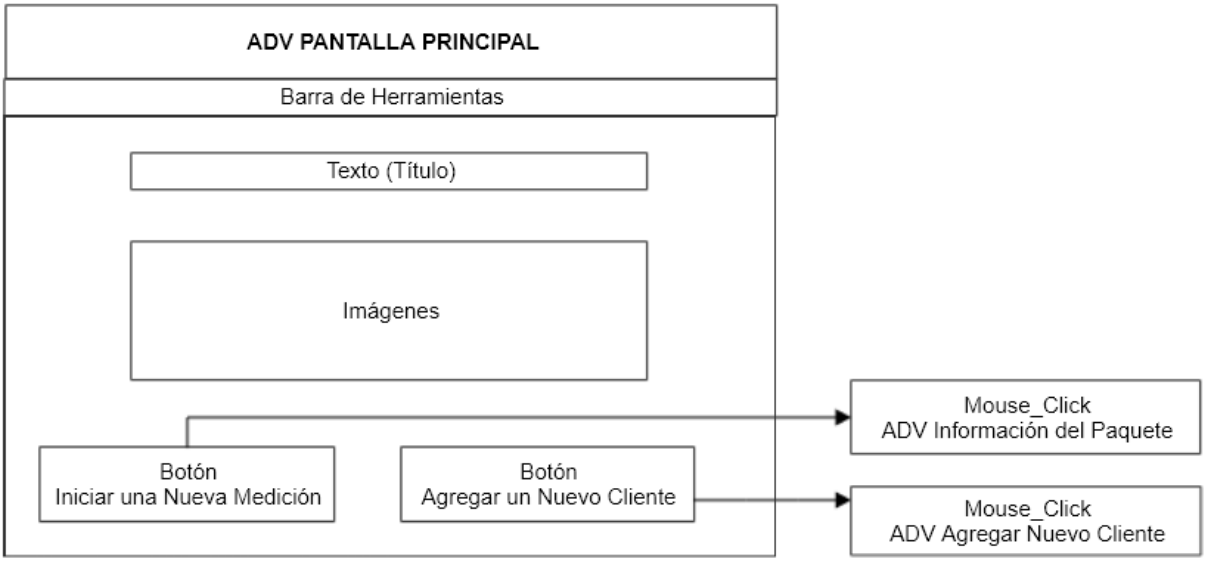


Figura 3.40 ADV Pantalla Principal

La Figura 3.41 presenta el ADV de Información del Paquete, en la cual se registran los datos de remitente, destinatario, ruta y del paquete, para realizar un envío.

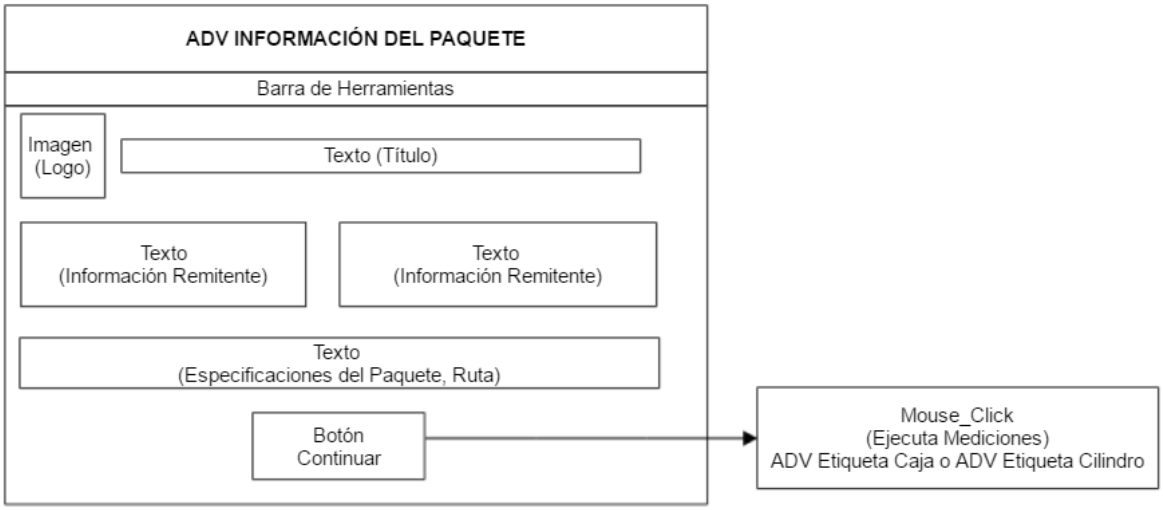


Figura 3.41 ADV Información del Paquete

La Figura 3.42 presenta el ADV de Etiqueta Caja, el cual se despliega solo si el tipo de paquete en el ADV anterior es una “caja”, en este se despliega la información del remitente, destinatario, ruta del paquete y el precio calculado para realizar un envío, desde esta pantalla se puede registrar un envío, imprimir la etiqueta de identificación o reiniciar el proceso de medición.

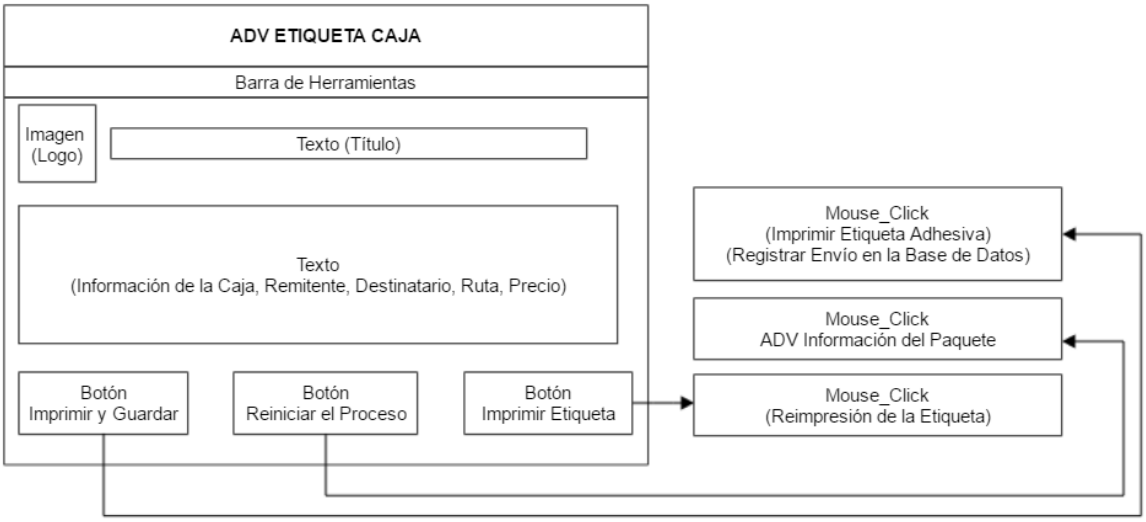


Figura 3.42 ADV Etiqueta Caja

La Figura 3.43 presenta el ADV de Etiqueta Cilindro, el cual se despliega solo si el tipo de paquete en el ADV anterior es un “cilindro”, en este se despliega la información del remitente, destinatario, ruta, del paquete y el precio calculado para realizar un envío, desde esta pantalla se puede registrar un envío, imprimir la etiqueta de identificación o reiniciar el proceso de medición.

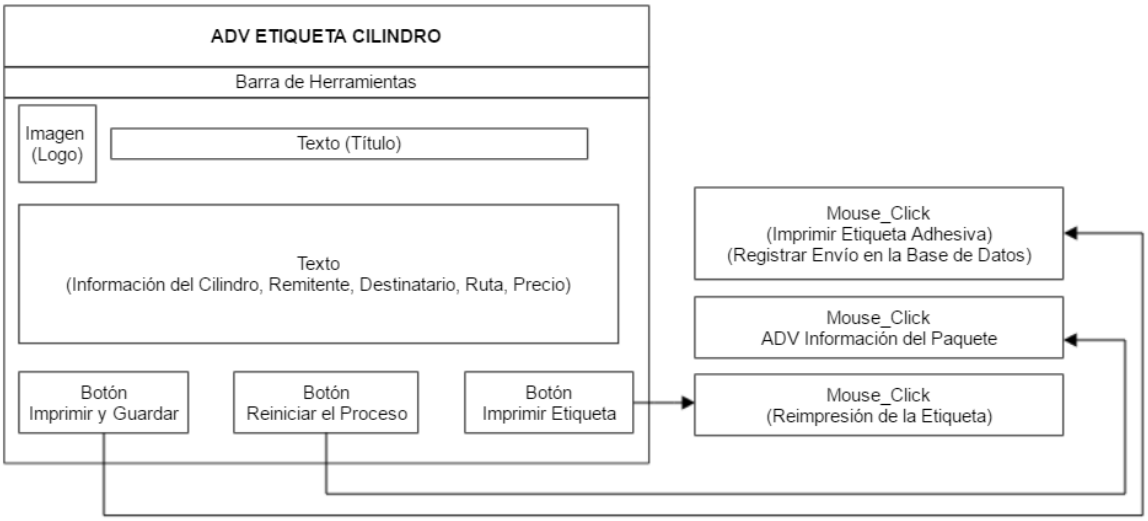


Figura 3.43 ADV Etiqueta Cilindro

La Figura 3.44 presenta el ADV Barra de Herramientas, este corresponde a la barra de herramientas que se encuentra en los diferentes formularios, allí se registran las diferentes funciones del sistema.

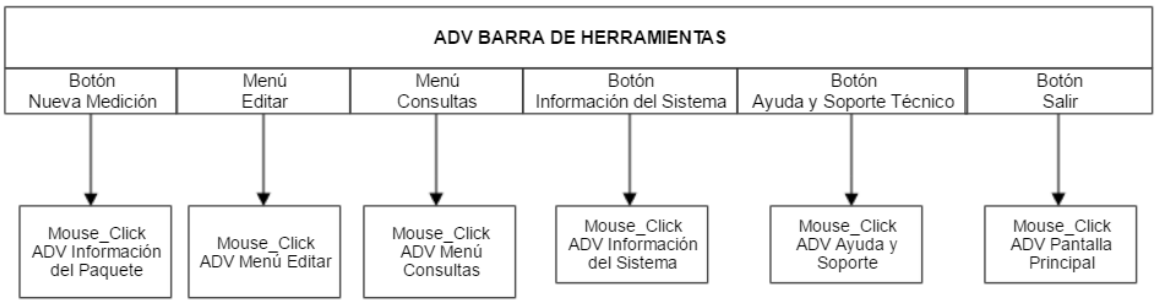


Figura 3.44 ADV Barra de Herramientas

La Figura 3.45 presenta el ADV Menú Editar, el cual corresponde a uno de los menús de la Barra de Herramientas, allí se registran las diferentes funciones del sistema para añadir, modificar y eliminar información de clientes y rutas operativas.

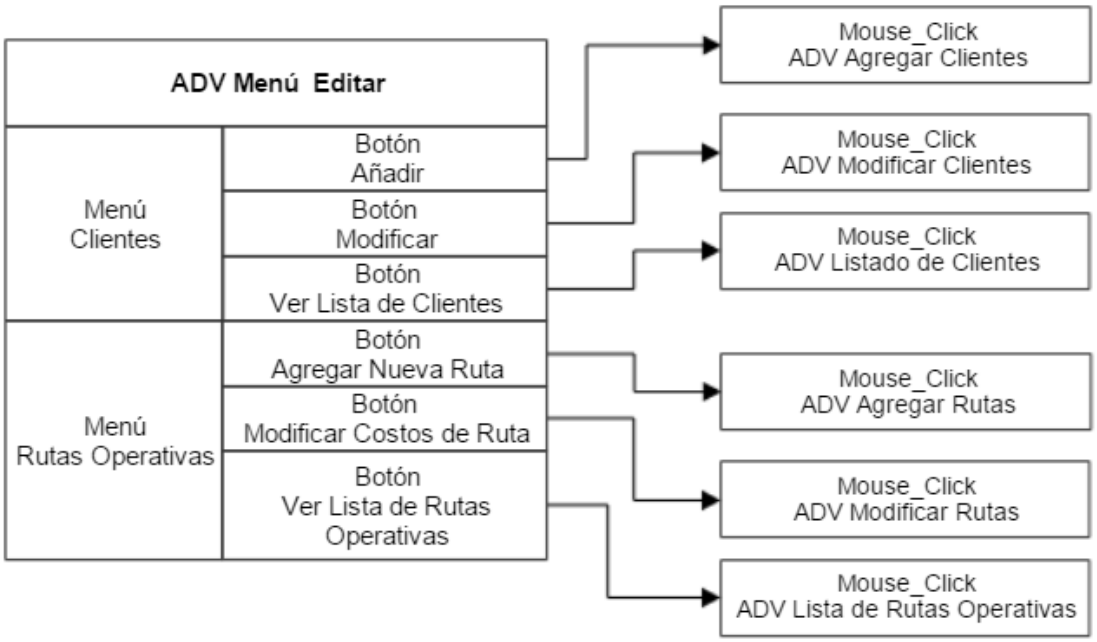


Figura 3.45 ADV Menú Editar

La Figura 3.46 presenta el ADV Menú Consultas, el cual corresponde a uno de los menús de la Barra de Herramientas, allí se registran los diferentes reportes que se pueden generar.

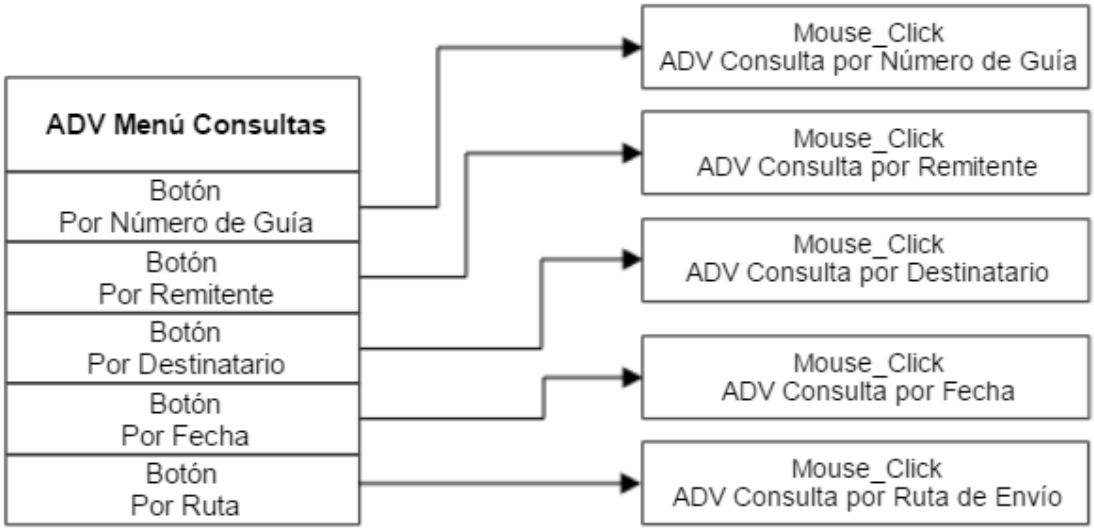


Figura 3.46 ADV Menú Consultas

La Figura 3.47 presenta el ADV Agregar Clientes, el cual permite añadir la información de clientes nuevos a la base de datos.

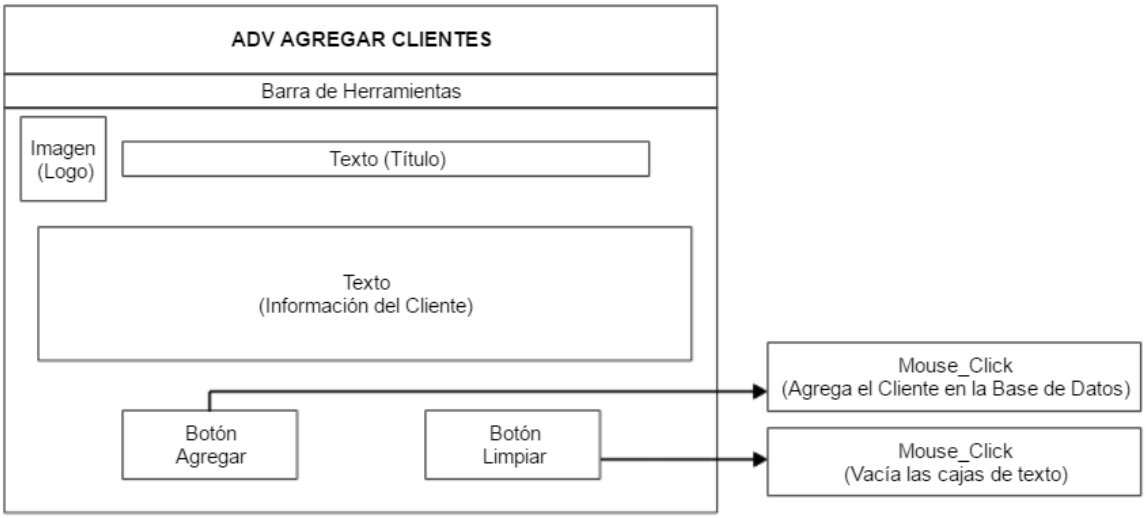


Figura 3.47 ADV Agregar Clientes

La Figura 3.48 presenta el ADV Modificar Clientes, el cual permite modificar o eliminar la información ingresada referente a un cliente ya registrado en la base de datos.

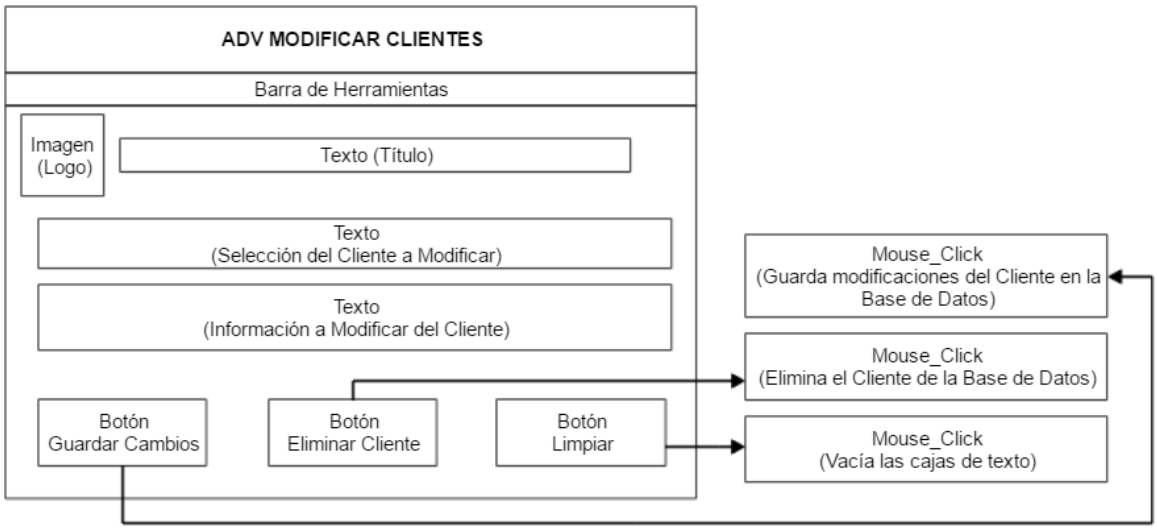


Figura 3.48 ADV Modificar Clientes

La Figura 3.49 presenta el ADV Listado de Clientes, el cual permite visualizar e imprimir un reporte de todos los clientes registrados en la base de datos.

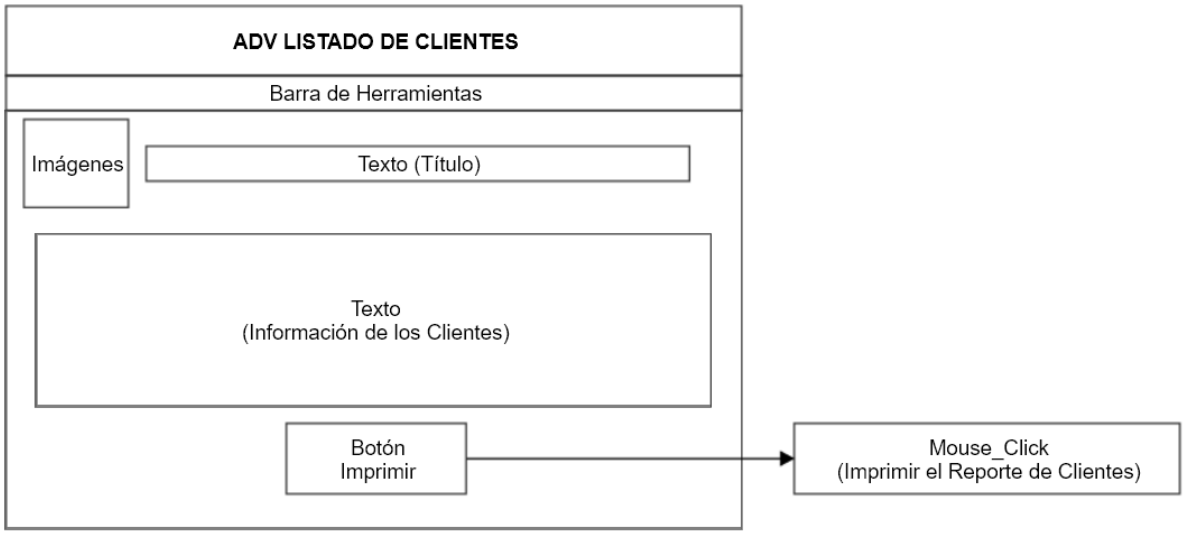


Figura 3.49 ADV Listado de Clientes

La Figura 3.50 presenta el ADV Agregar Rutas, el cual permite agregar una nueva ruta operativa para realizar envíos y registrar está información en la base de datos.

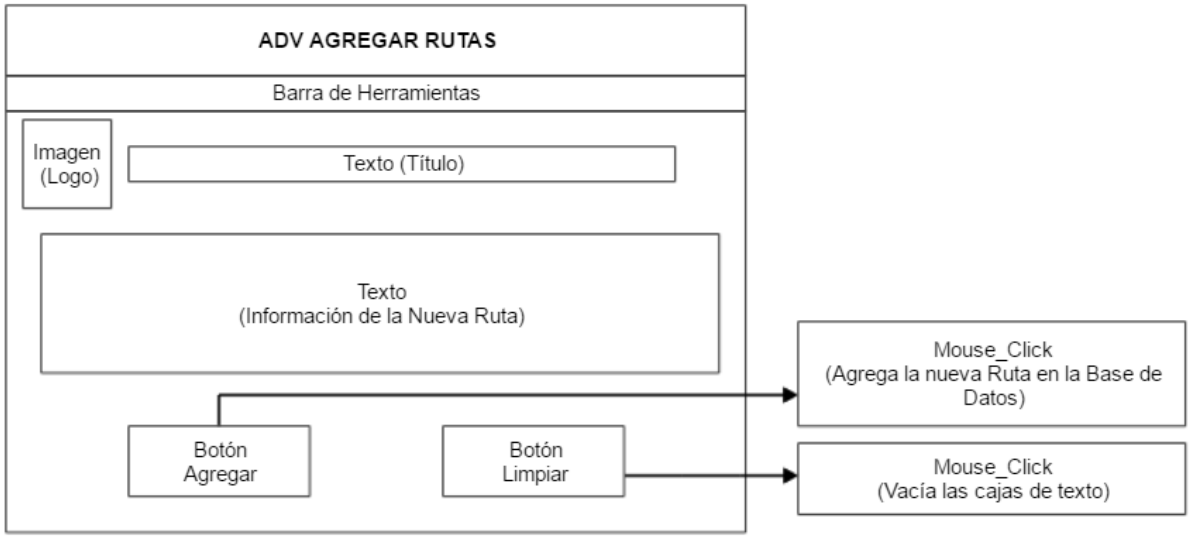


Figura 3.50 ADV Agregar Rutas

La Figura 3.51 presenta el ADV Modificar Rutas, el cual permite modificar el precio unitario referente a una ruta operativa registrada en la base de datos.

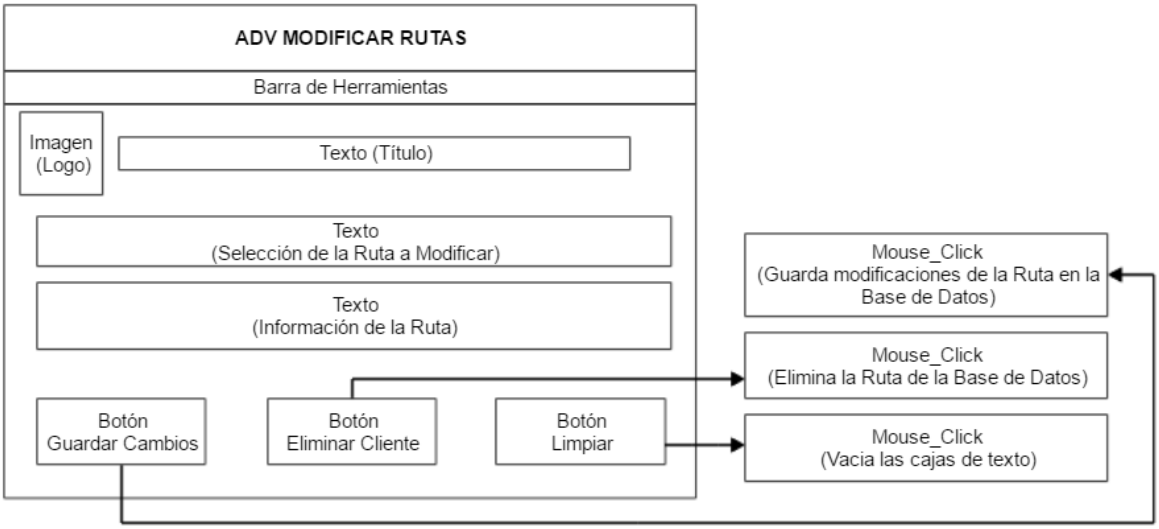


Figura 3.51 ADV Modificar Rutas

La Figura 3.52 presenta el ADV Lista de Rutas, el cual despliega y permite generar un reporte de la información de todas las rutas operativas registradas en el programa.

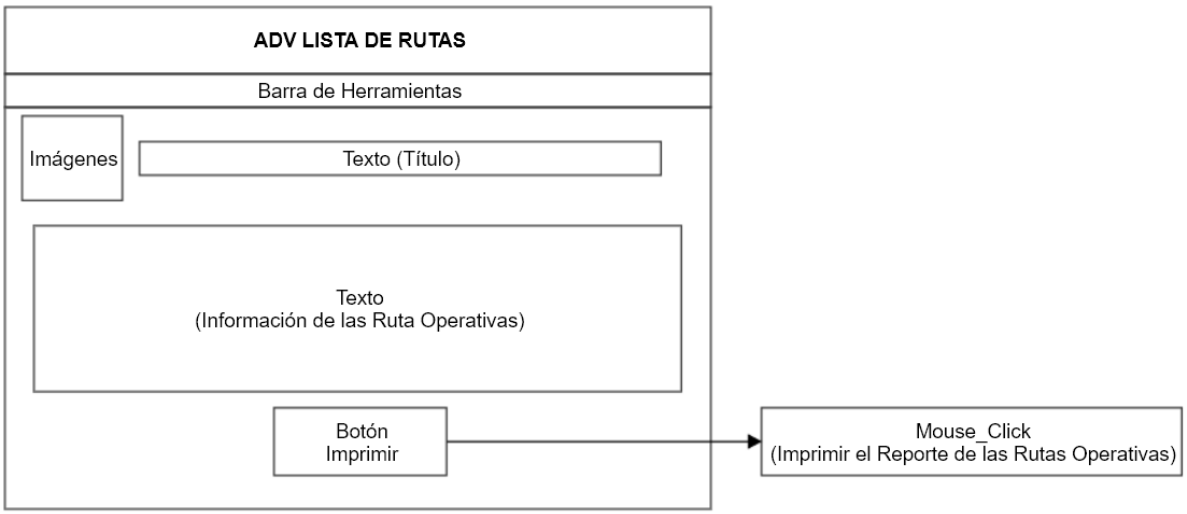


Figura 3.52 ADV Lista de Rutas

La Figura 3.53 presenta el ADV Información del Sistema, el cual despliega la información de contacto de la empresa OrionLogistics y del creador del Sistema de Volumetría y Pesaje.

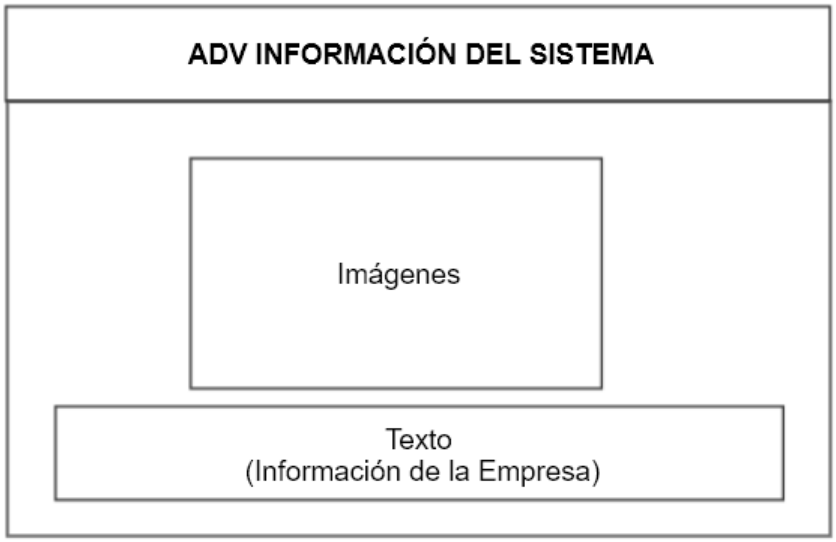


Figura 3.53 ADV Información del Sistema

La Figura 3.54 presenta el ADV Consulta por Número de Guía, el cual despliega la información de un envío registrado en función de su número de guía y también permite generar un reporte de lo consultado.

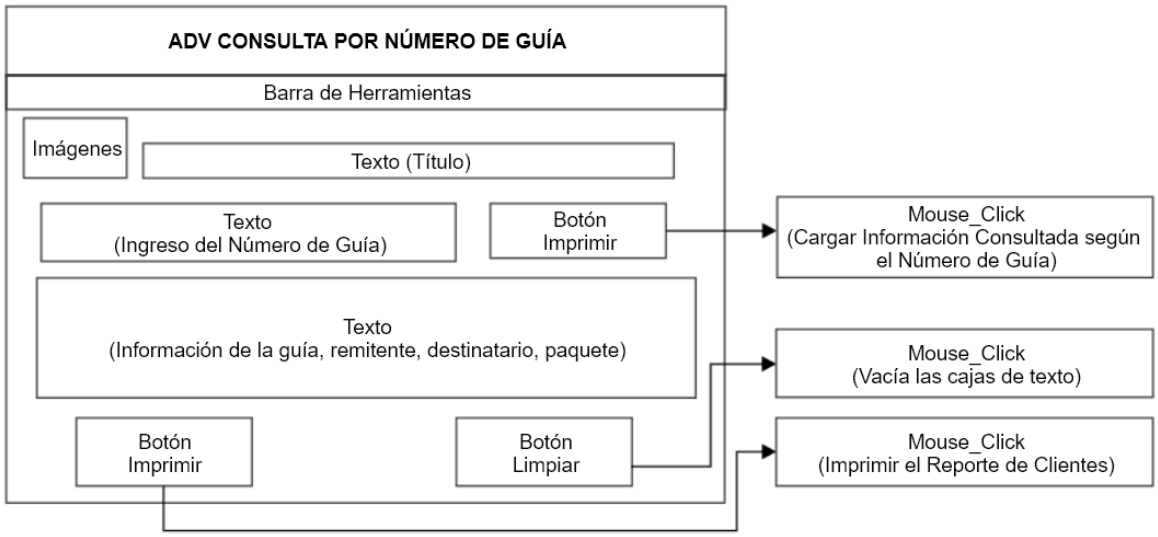


Figura 3.54 ADV Consulta por Número de Guía

La Figura 3.55 presenta el ADV Consulta de Envíos por Remitente, en el cual se despliega la información de los envíos registrados por un mismo remitente y también permite generar un reporte de lo consultado.

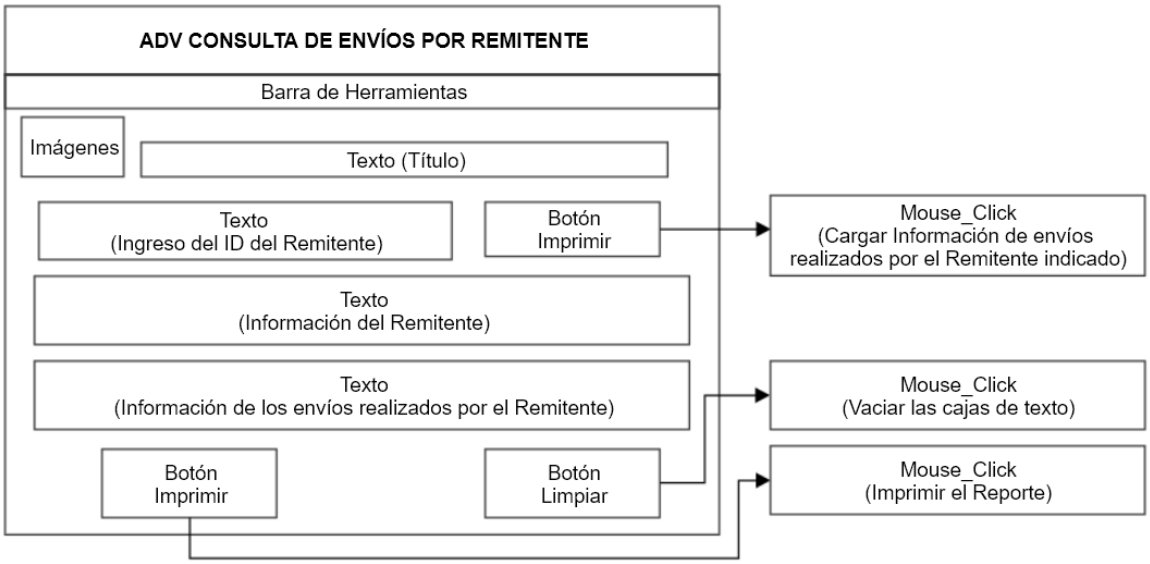


Figura 3.55 ADV Consulta de Envíos por Remitente

La Figura 3.56 presenta el ADV Consulta de Envíos por Destinatario, en el cual se despliega la información de los envíos registrados hacia un mismo destinatario y también permite generar un reporte de lo consultado.

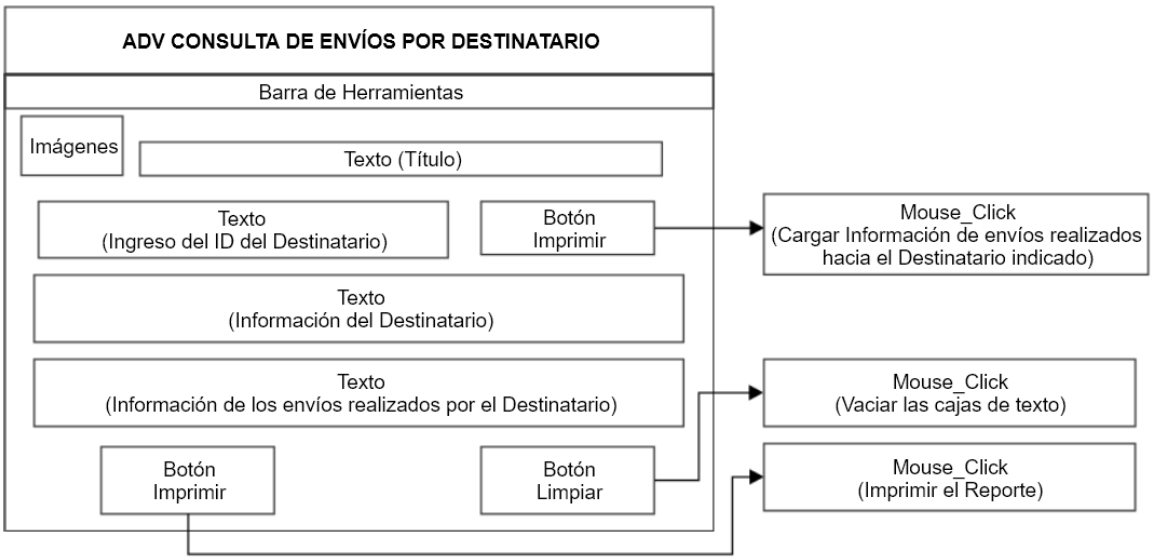


Figura 3.56 ADV Consulta de Envíos por Destinatario

La Figura 3.57 presenta el ADV Consulta de Envíos por Fecha, en el cual se despliega la información de los envíos registrados en un rango de fechas determinado y también permite generar un reporte de lo consultado.

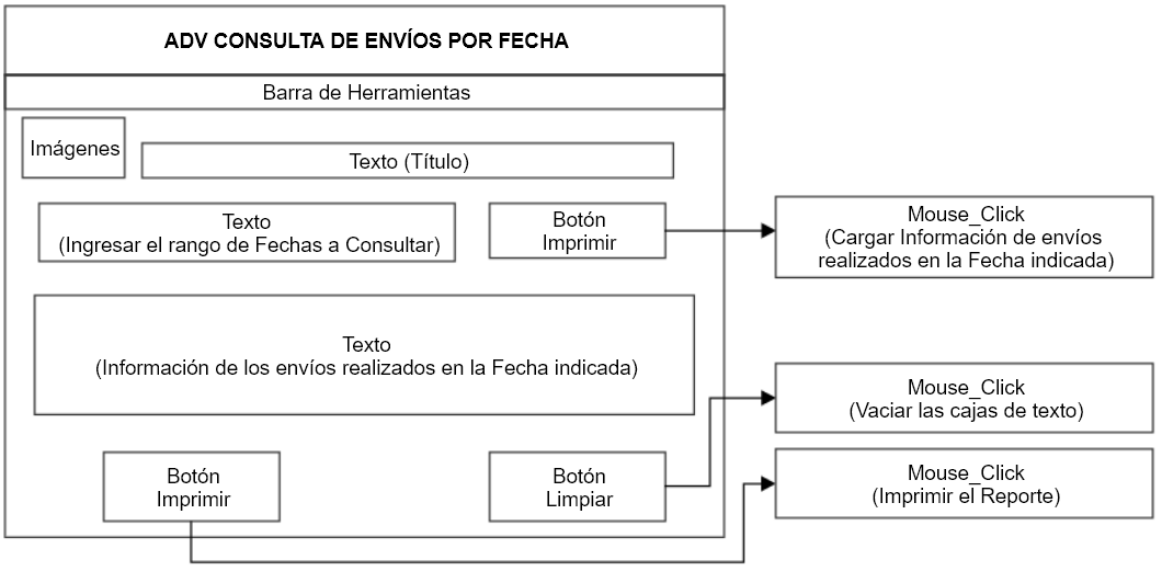


Figura 3.57 ADV Consulta de Envíos por Fecha

La Figura 3.58 presenta el ADV Consulta de Envíos por Ruta, en el cual se despliega la información de los envíos registrados según la ruta operativa seleccionada en un periodo de tiempo determinado y también permite generar un reporte de lo consultado.

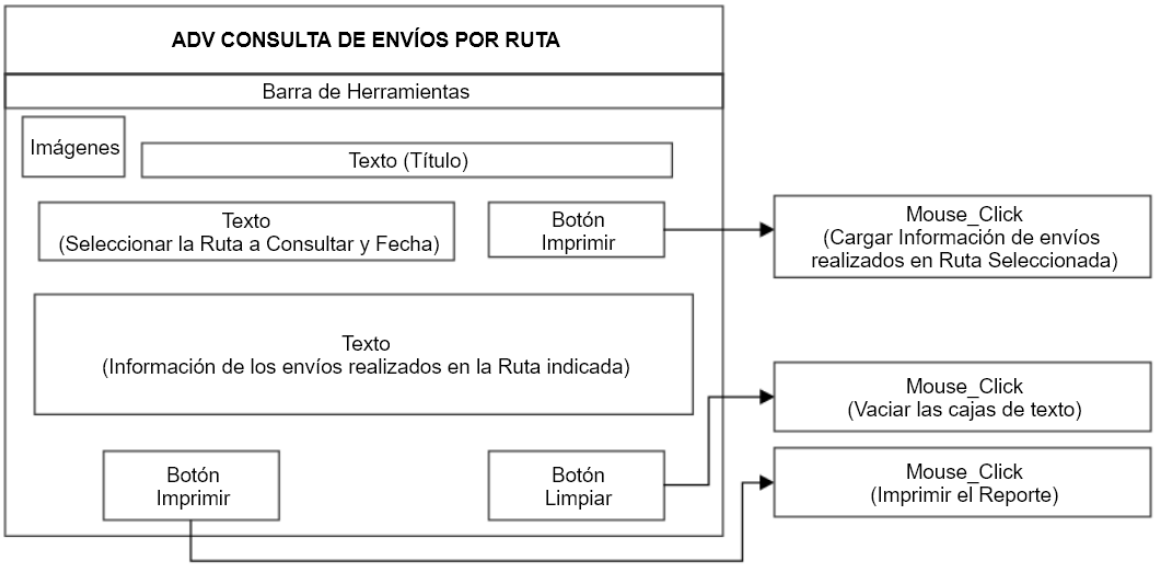


Figura 3.58 ADV Consulta de Envíos por Ruta

3.6 ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN

En la presente subsección se describen los algoritmos necesarios para realizar la programación del sistema informático y para el sistema de medición.

3.6.1 Algoritmo del Funcionamiento de la Máquina

El sistema de volumetría y pesaje inicia su funcionamiento con la calibración de sus sensores, después de este procedimiento el sistema queda listo para operar, el procesamiento de un paquete inicia con el registro de su información de envío, luego se procede a realizar las mediciones de peso y volumen, se calcula la tarifa de envío, se registra la información en la base de datos y finalmente se imprime la etiqueta adhesiva para el paquete. En la Figura 3.59 se puede observar el diagrama de flujo del funcionamiento general de la máquina.

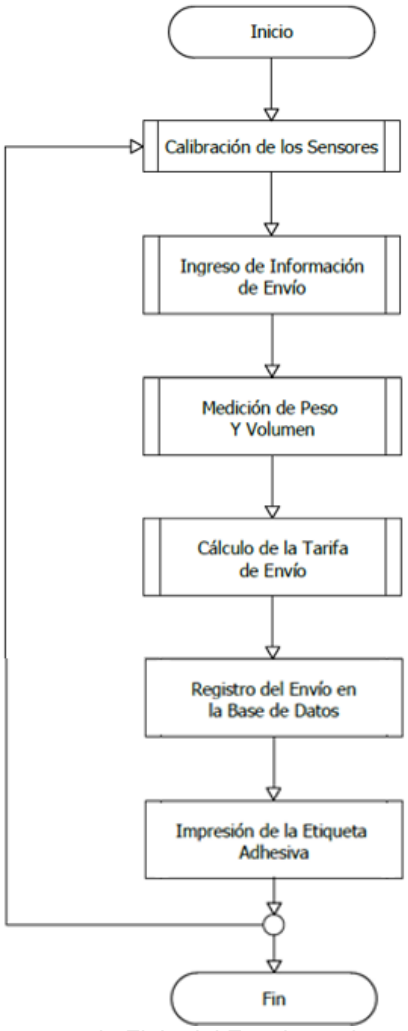


Figura 3.59 Diagrama de Flujo del Funcionamiento de la Máquina

3.6.2 Algoritmo de Calibración

La calibración de los sensores, permite tener lecturas correctas de las variables en análisis. En el caso de la balanza se debe poner en cero al inicio del proceso, para esto la bandeja de pesaje debe estar nivelada y libre sin ninguna carga. Mientras que para el sensor de distancia y la cámara, se debe mover el carro vertical hasta la posición inicial y verificar la conexión de los sensores. En la Figura 3.60 se presenta el diagrama de flujo del proceso de calibración.

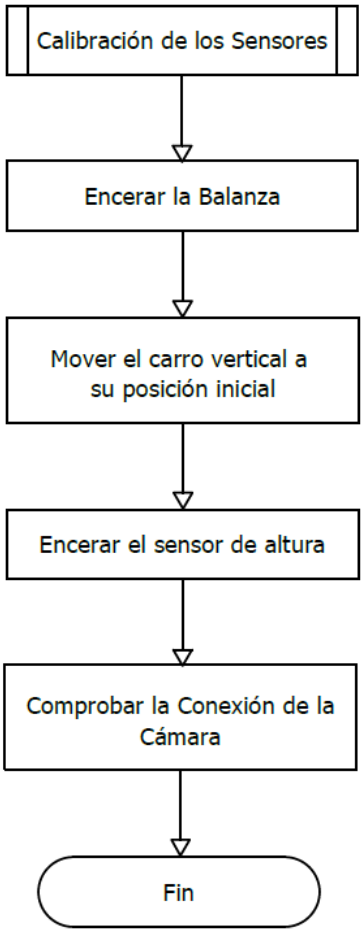


Figura 3.60 Diagrama de Flujo de la Calibración

3.6.3 Algoritmo de Ingreso de la Información de Envío

Para realizar el envío es importante ingresar en el software de la máquina, los datos referentes al remitente, receptor y lugar de envío. En la Figura 3.61 se presenta el diagrama de flujo del proceso de Ingreso de Información de Envío.

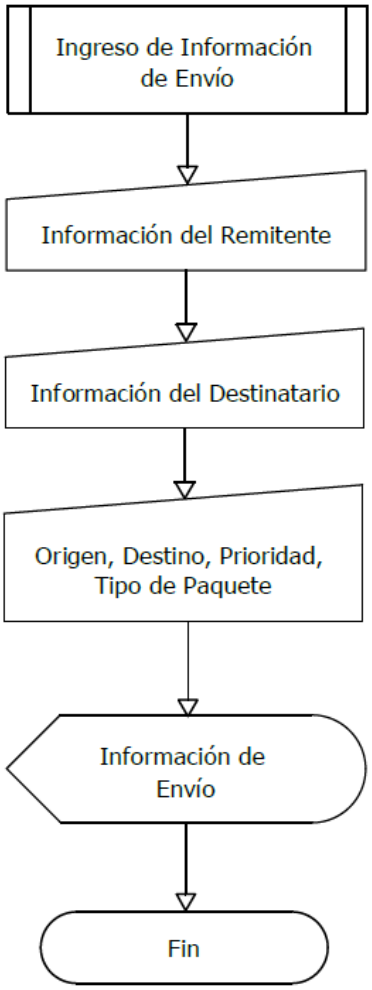


Figura 3.61 Diagrama de Flujo del Ingreso de Información del Envío

3.6.4 Algoritmo de Medición de Peso y Volumen

Para determinar la tarifa a cobrar es necesario que el sistema obtenga los valores de peso, altura, ancho y profundidad del paquete. El proceso de medición inicia con la lectura de datos del sensor de peso (un promedio de 5 mediciones tomadas consecutivamente entregan el resultado de la medición), después el carro vertical que contiene el sensor de distancia se desplaza a su posición inicial, el sensor ultrasónico realiza la medición de altura (tomando un promedio de 5 mediciones), el carro vertical se desplaza hasta ubicarse a 550 mm de altura sobre el paquete en análisis, a continuación la cámara guardará una imagen del paquete y la procesará para medir el ancho y profundidad del paquete. Finalmente los datos provenientes de las mediciones se muestran en el software del sistema de pesaje y volumetría. En la

Figura 3.62 se presenta el diagrama de flujo del proceso de Medición de Peso y Volumen.

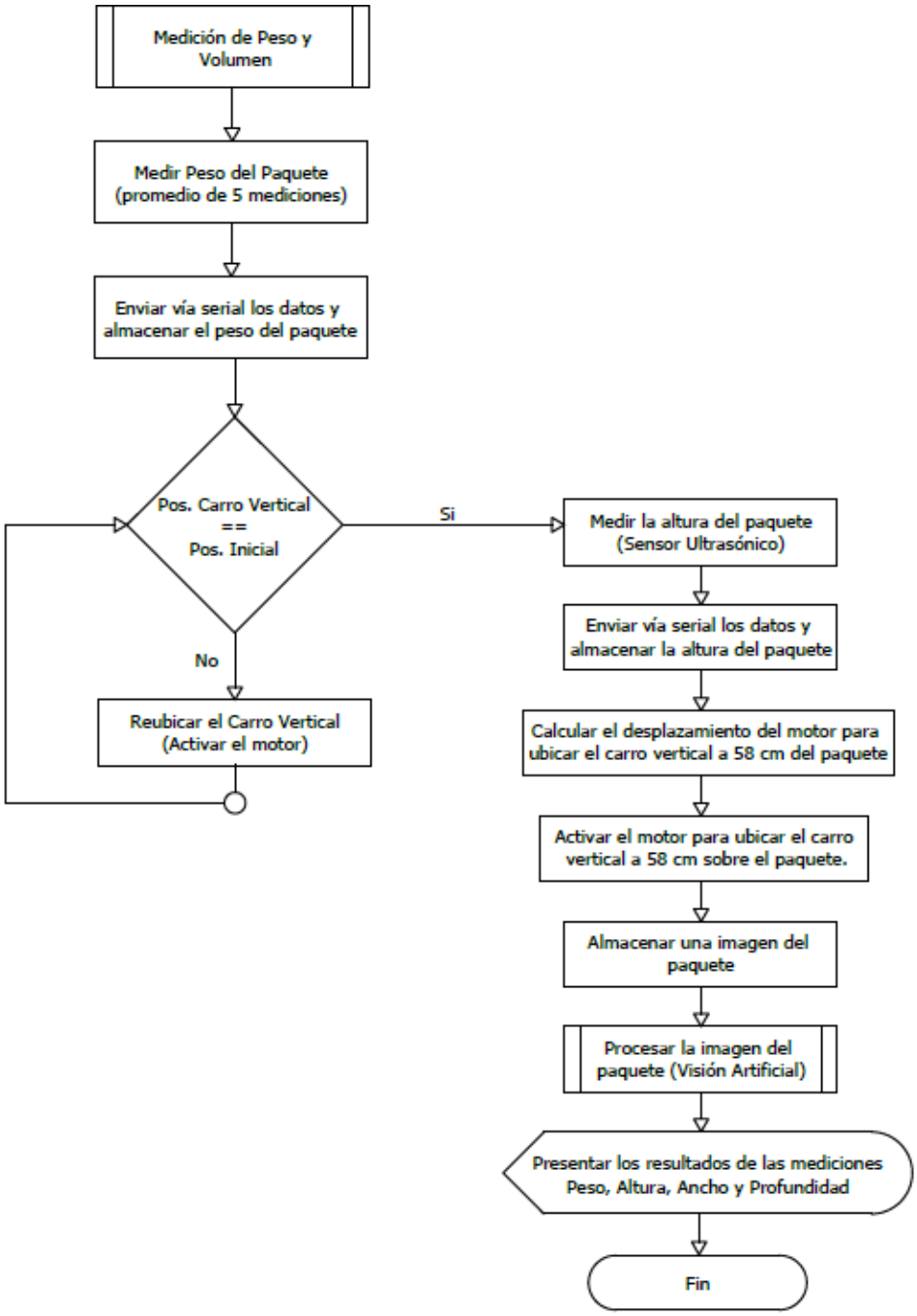


Figura 3.62 Diagrama de Flujo del Proceso de Medición de Peso y Volumen

3.6.5 Algoritmo de Procesamiento de la Imagen

Para determinar las dimensiones del paquete (ancho y profundidad) se utiliza el algoritmo que se muestra en la Figura 3.63, utilizando visión artificial.

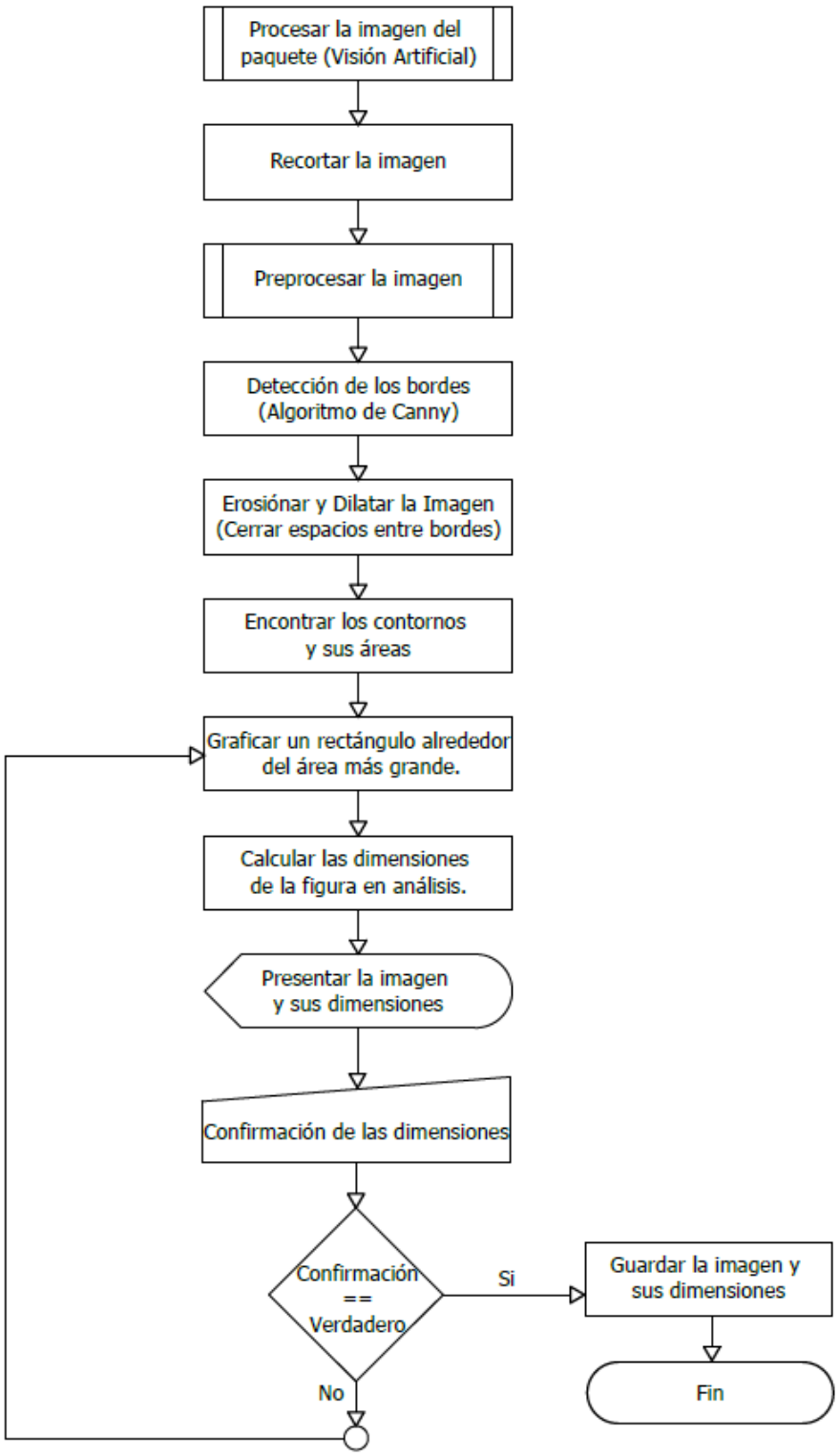


Figura 3.63 Diagrama de Flujo del Procesamiento de la Imagen

La imagen que se toma utilizando la cámara del sistema de volumetría, debe ser pre-procesada para poder analizar la imagen más rápidamente y resaltar los contornos de las figuras. El algoritmo de pre-procesamiento se muestra en la Figura 3.64.

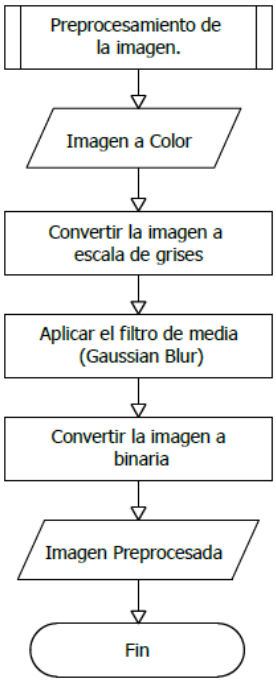


Figura 3.64 Diagrama de Flujo del Pre-Procesamiento de la Imagen

3.6.6 Algoritmo Estándar de Cálculo de la Tarifa a Cobrar Para Empresas de Transporte

El procedimiento para determinar la tarifa a cobrar por el envío de un paquete a un determinado lugar depende del peso tasable o facturable y de la tabla de precios establecidos por la empresa para el envío de un kilogramo de carga a un determinado lugar.

Para sistemas de transporte que experimentan el problema de enviar sus camiones llenos por el volumen y no limitados por su capacidad de carga LTL (Less Than Truckload), deben determinar su peso facturable escogiendo el mayor valor entre el peso real de la carga y el peso volumétrico.

Para determinar el peso volumétrico se debe utilizar la ecuación 1, mencionada en el Capítulo I, la cual está en función de las dimensiones del paquete a enviarse y el factor volumétrico adecuado según el tipo de transporte, el factor volumétrico se especifica en la Tabla 1.2.

Por lo tanto el proceso del cálculo del precio o tarifa de envío tiene los siguientes pasos: medir las dimensiones y el peso real del paquete a enviarse, calcular el peso volumétrico, determinar el peso tasable y calcular la tarifa de envío.

En la Figura 3.65 se puede observar el diagrama de flujo del proceso anteriormente descrito.

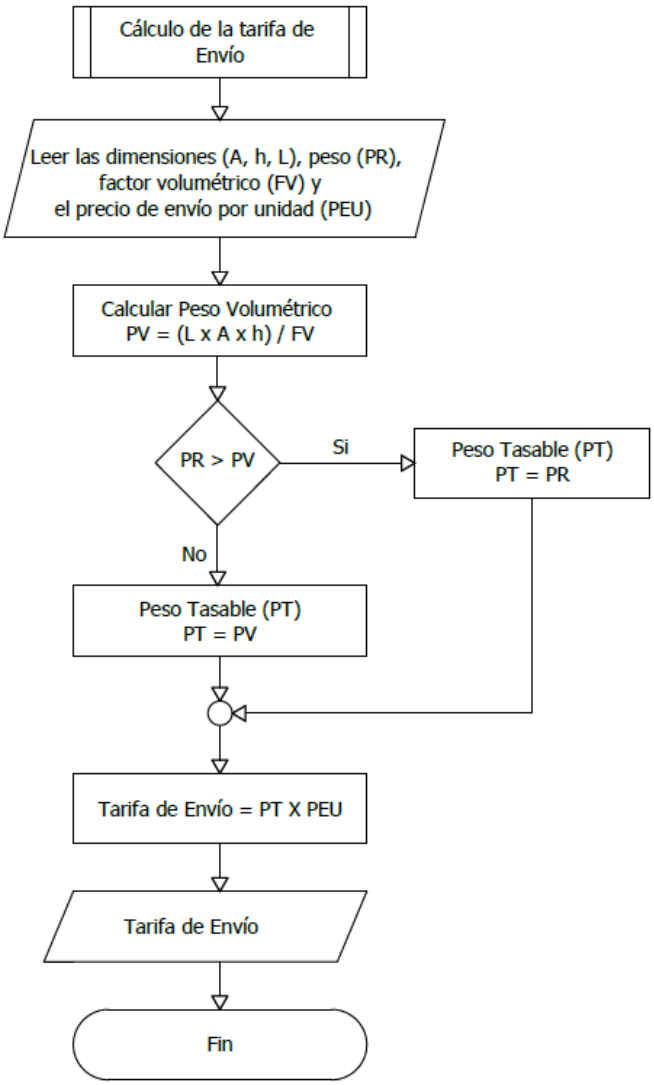


Figura 3.65 Diagrama de Flujo del cálculo de la tarifa de envío

3.7 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN CON VISIÓN ARTIFICIAL

Anteriormente se mencionó que en forma general el análisis de imágenes consiste en 5 etapas [19]:

- Adquisición de la imagen
- Pre procesamiento (mejorar la calidad de la imagen aplicando filtros)
- Segmentación (identificar el objeto de estudio en la imagen)

- Medición o Extracción de Características
- Interpretación de Resultados o Clasificación

La estructura general de un sistema de visión artificial inicia por la etapa sensorial donde se captura la imagen, seguido se presenta la etapa de pre-procesamiento donde se pretende mejorar la imagen de forma que sea más clara y se puedan identificar las características en análisis del objeto de mejor forma, luego viene la etapa de segmentación donde se debe diferenciar los objetos útiles para analizar.

A continuación se desarrollará en orden el diseño del procesamiento de las imágenes para adquirir sus características requeridas.

3.7.1 Adquisición de la Imagen

Para la adquisición de la imagen se utiliza una cámara de 2 megapíxeles, esta cuenta con lentes que permiten ampliar el rango de visión hasta 170 grados, su protocolo de comunicación con la PC es USB. En la Figura 3.66 se puede observar la cámara seleccionada que utiliza tecnología CMOS.

Figura 3.66 Cámara ELP, 2 megapíxeles, con lentes de amplio ángulo 170 grados
Fuente: Información Técnica de la Cámara, Anexo B.12

3.7.2 Pre procesamiento y Segmentación de Imágenes

Existen varias técnicas de pre-procesamiento, las cuales deben seleccionarse según las características que se desean resaltar en la imagen, a continuación se describen las técnicas utilizadas en el sistema de volumetría y pesaje, basándose en [50] y como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 3.64:

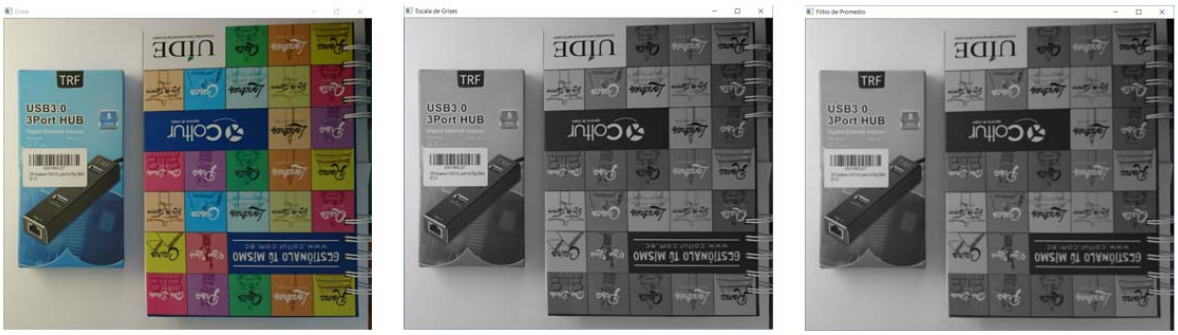
- Procesamiento de Color (conversión de la imagen a escala de grises)

Se pueden convertir o analizar las imágenes en sus diferentes colores, transformando las imágenes originales para que así resalten las características principales del objeto en análisis, o para simplificar la imagen y reducir la capacidad de procesamiento, mejorando el tiempo de respuesta. Al convertir la imagen original a escala de grises o a una imagen binaria, se simplifican sus datos y por ende su procesamiento será más rápido [50].

- Filtro de Promedio (Gaussian Blur)

Este filtro permite eliminar el ruido, restaurando los errores producidos por la iluminación y resolución de la cámara, se basa en sustituir el valor de brillo del pixel por la mediana de todos los valores de brillo, así se elimina valores anómalos aislados producto de ruidos en la adquisición de datos. [50]

En la Figura 3.67 se observa el resultado del proceso de pre-procesamiento.



(a) Imagen a Color (b) Imagen a Escala de Grises (c) Después de Aplicar el Filtro GaussianBlur

Figura 3.67 Pre-procesamiento de la Imagen

A continuación se presentan las técnicas de segmentación utilizadas para detectar los bordes de los objetos en análisis:

- Detección de Contornos (Detector Canny)

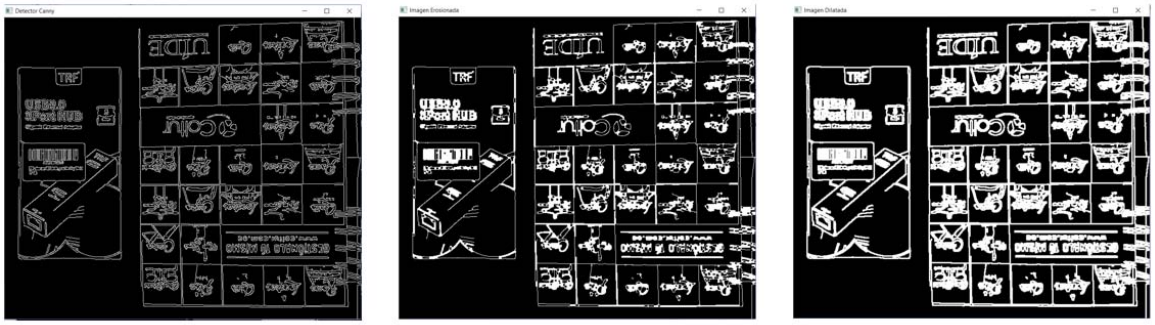
Permite identificar los límites donde se dan cambios significativos en los valores de los pixeles. De acuerdo con [50] para la detección de contornos se emplean algoritmos como: el operador de Sobel y Prewitt, el operador de Roberts o el algoritmo de Canny.

Para el análisis de los paquetes se seleccionó el algoritmo de Canny ya que este utiliza un algoritmo de múltiples etapas, donde requiere mayor esfuerzo

computacional, pero es considerado uno de los mejores para detección de bordes, tiene una tasa de error baja y tiene una buena localización, donde se minimiza la distancia entre el borde detectado y el borde real.

- Procesamiento Morfológico (Erosión y dilatación)

El procesamiento morfológico trata de modificar estructuras geométricas en la imagen. Estas dos operaciones permiten cerrar los espacios existentes en los bordes de los objetos en análisis, también da realce a los bordes sin importar su orientación [50]. En la Figura 3.68 se observa el resultado del proceso de segmentación.



(a) Detección de Bordes (Canny) (b) Imagen Erosionada (c) Imagen Dilatada

Figura 3.68 Segmentación de la Imagen

3.7.3 Medición o Extracción de Características de la Imagen

Después de realizar la segmentación se pasa al proceso de extracción de características, estas pueden ser de color, geometría, correspondencia entre regiones, entre otras. En el caso de este proyecto se requiere analizar solo las características geométricas del objeto. Estas características son comúnmente utilizadas en el reconocimiento de patrones.

Después de haber procesado la imagen para resaltar los bordes, se realiza el proceso de extracción de características que inicia buscando los contornos de las figuras presentes en la imagen, se ordenan según el tamaño del área que abarcan las mismas (de menor a mayor), se procede a dibujar un rectángulo alrededor del objeto detectado, se detectan los puntos medios de cada lado del rectángulo y se calcula la distancia euclidiana entre los puntos centrales, se dibujan las líneas que unen estos puntos y se presentan los resultados.

Para transformar las mediciones realizadas de número de pixeles a centímetros o milímetros, se requiere determinar un valor del número de pixeles equivalente a la unidad de medida, lo cual se realiza de forma empírica en la fase de pruebas, para esto es importante resaltar que se debe tener siempre la misma distancia focal sobre cada uno de los paquetes en análisis, para no alterar este valor de conversión y que la medición sea confiable.

El resultado del proceso de extracción de características se muestra en la Figura 3.69.

Figura 3.69 Resultado de la Extracción de Características

CAPÍTULO IV
CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se detalla el proceso de construcción, las pruebas de funcionamiento y los resultados obtenidos de las mediciones realizadas con el sistema de pesaje y volumetría por módulos, también se presenta la calibración de los sensores y los resultados de funcionamiento general de la máquina.

4.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

La construcción del sistema de volumetría y pesaje se dividió en secciones como se muestra en la Figura 3.1. Cada una de estas secciones debe ser de ensamblada de forma correcta para que al final todas las partes formen un conjunto funcional.

4.1.1 Construcción del Chasis o Soporte Principal

En la Figura 4.1 se presenta el diagrama de construcción del chasis. Los materiales necesarios son:

- 9 m de tubería estructural cuadrada ASTM A 500, 40x40x3 mm
- Cuadrado de 600 x 600 mm de plancha laminada en caliente de acero ASTM A 36 de 3 mm de espesor
- 160 mm de pletinas de 3 mm de espesor
- 4 niveladores de 8 mm con tuerca

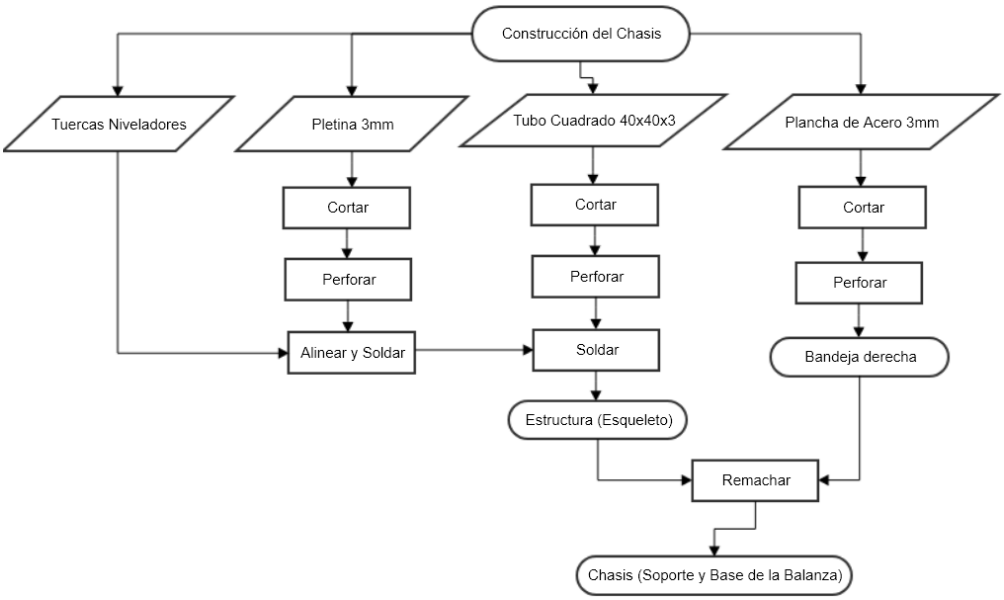


Figura 4.1 Diagrama de Construcción del Chasis

En la Figura 4.2 se muestra el resultado de la construcción del chasis.

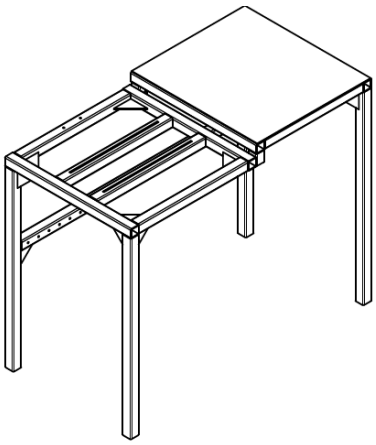


Figura 4.2 Chasis de la Máquina

4.1.2 Construcción de la Sección del Vertical de Medición.

La Figura 4.3 presenta el diagrama de construcción de la sección vertical de medición. Los materiales necesarios son:

- 3.5 m de tubería estructural cuadrada ASTM A 500, 30x30x2 mm
- Plancha laminada en caliente de acero ASTM A 36 de 3 mm de espesor
- Plancha de aluminio liso AA110H14 de 2 mm de espesor.
- Pletina de 50.8 mm (2 pulgadas) x 3mm de espesor

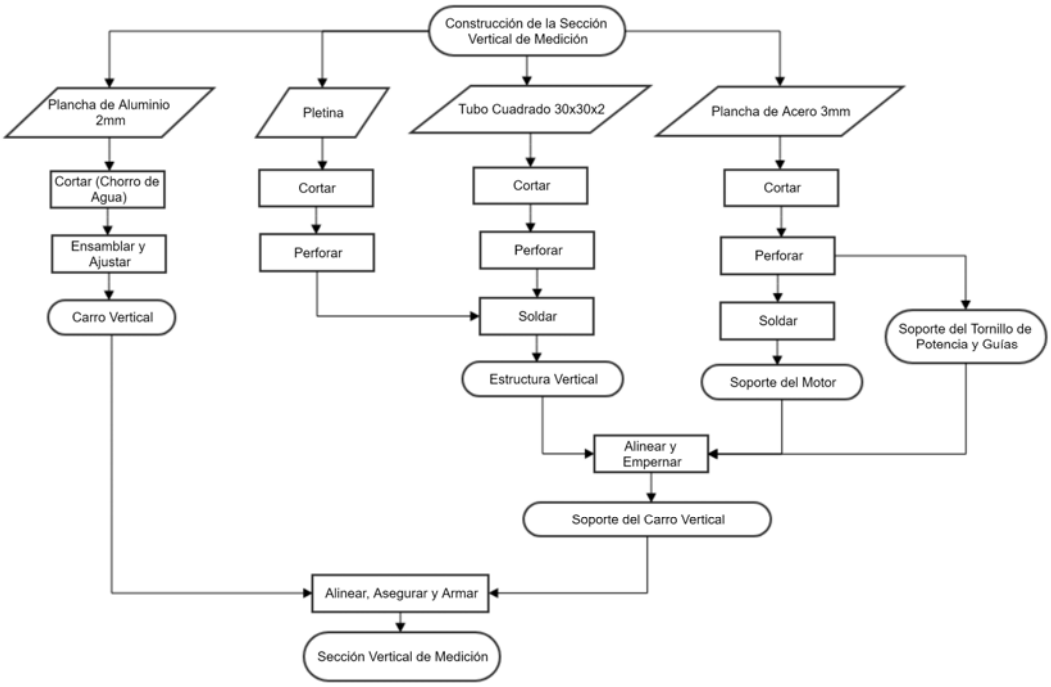


Figura 4.3 Diagrama de Construcción de la Sección Vertical de Medición

La Figura 4.4 muestra el resultado de la construcción.

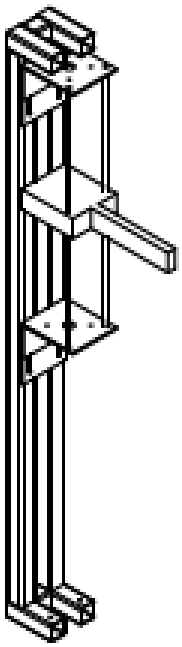


Figura 4.4 Sección Vertical de Mediciones

4.1.3 Construcción de la Bandeja de Pesaje

En la Figura 4.5 se presenta el diagrama de construcción de la bandeja de pesaje. Los materiales necesarios son:

- 2.25 m de tubería estructural cuadrada ASTM A 500, 40x40x3 mm
- (590 x 590 mm) Plancha laminada en caliente de acero ASTM A 36 de 3 mm de espesor
- Pletina de 50.8 mm (2 pulgadas) x 3 mm de espesor

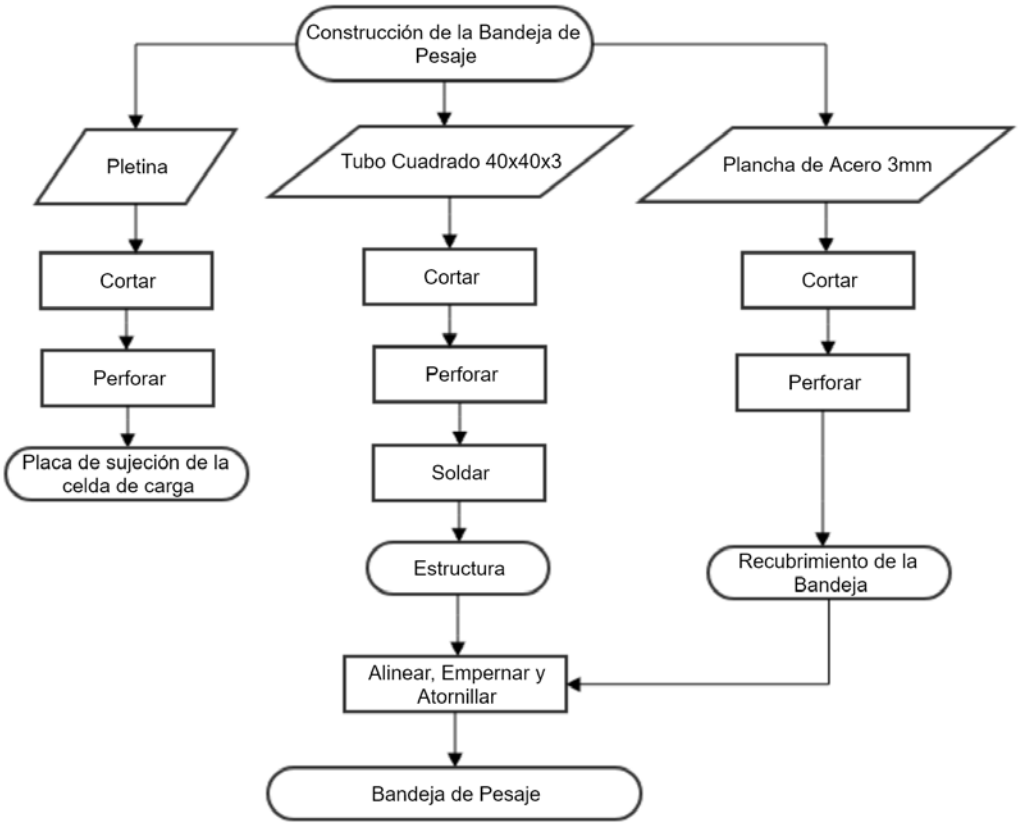


Figura 4.5 Diagrama de Construcción de la Bandeja de Pesaje

En la Figura 4.6 se muestra el resultado de la construcción de la bandeja de pesaje.

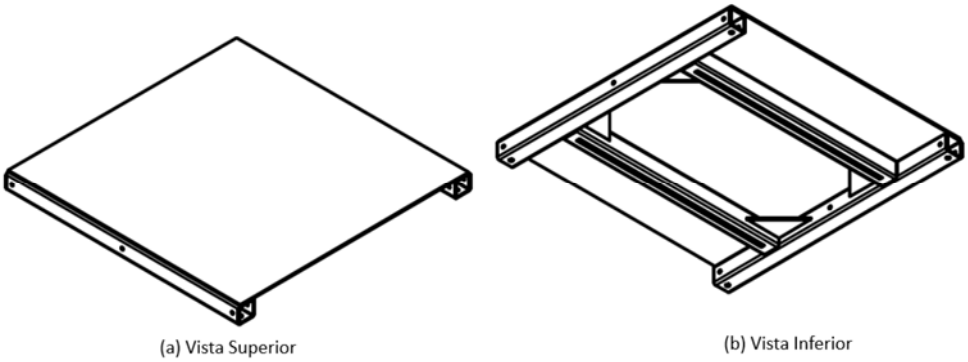


Figura 4.6 Construcción de la Bandeja de Pesaje

4.1.4 Construcción del Soporte de la Computadora e Impresora

En la Figura 4.7 se presenta el diagrama de construcción del soporte de la computadora e impresora. Los materiales necesarios son:

- 2 m de tubería estructural cuadrada ASTM A 500, 30x30x2 mm
- 1.1 m de tubería estructural cuadrada ASTM A 500, 40x40x3 mm

- (670 x 360 mm) Plancha laminada en caliente de acero ASTM A 36 de 3 mm de espesor
- 450 mm de tubo de acero inoxidable de ¼ pulgada
- 750 mm de pletina de 50.8 mm (2 pulgadas) x 3mm de espesor

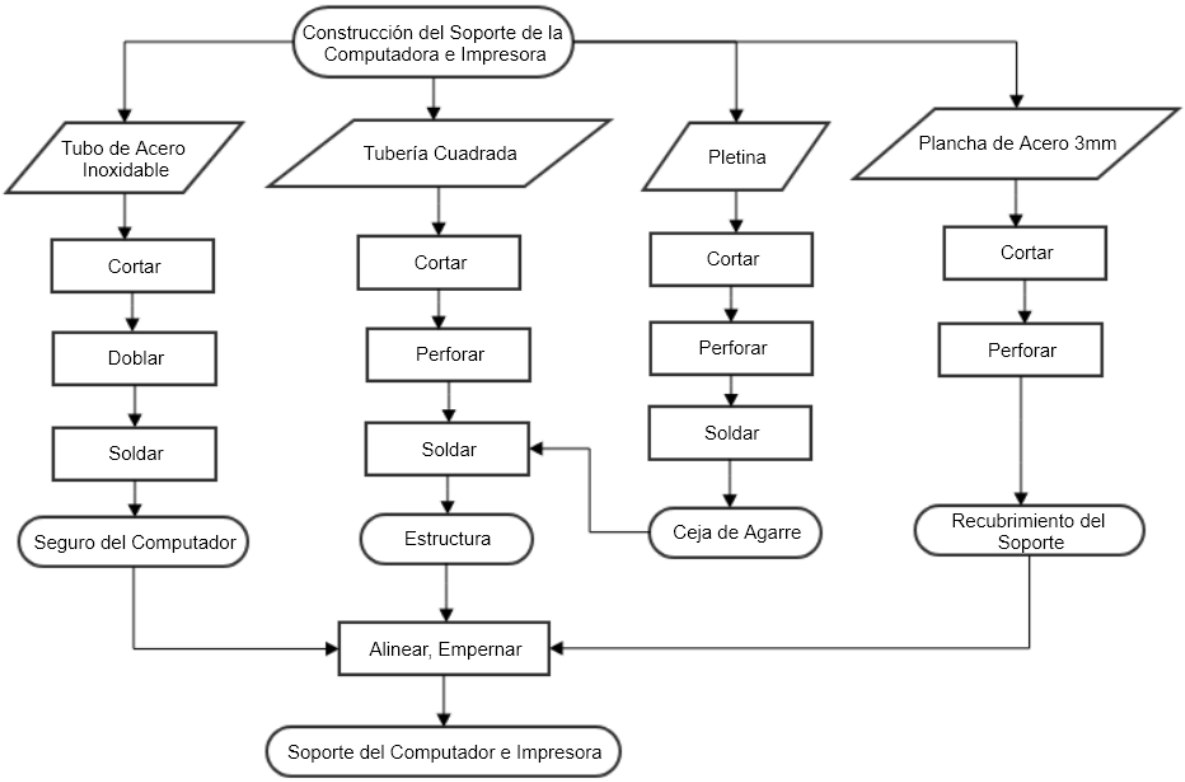


Figura 4.7 Diagrama de Construcción del Soporte de la Computadora e Impresora

En la Figura 4.8 se muestra el resultado de la construcción del soporte de la computadora e impresora.

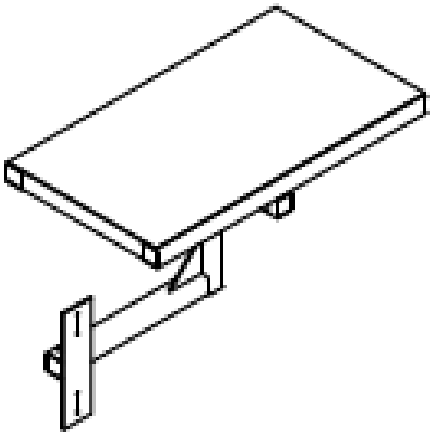


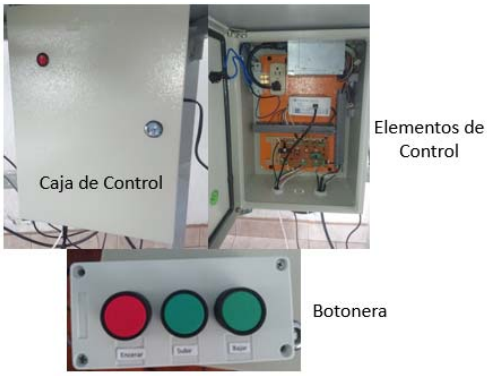
Figura 4.8 Soporte de la Computadora e Impresora

4.1.5 Ensamblaje Final

Para formar el sistema de volumetría y pesaje es muy importante seguir los siguientes pasos indicados en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1 Ensamblaje de la Estructura

Procedimiento	Gráfico
Nivelar el chasis (soporte y base de la balanza), utilizando los niveladores roscados colocados en las bases de la estructura.	
Colocar, nivelar y ajustar bien la bandeja de pesaje y la celda de carga al chasis o base de la balanza.	
Colocar la torre vertical, alinear, nivelar y ajustar la estructura, sobre el chasis.	
Colocar el soporte del computador e impresora, alinear y ajustar bien sobre el chasis	

Alinear los ejes guía y el tornillo de potencia para colocar el carro vertical.	
Colocar el carro de movimiento vertical, con la cámara y sensor ultrasónico	
Conectar el sistema electrónico de mediciones, botones de control y colocar la caja de control.	

Finalmente en la Figura 4.9 se muestran imágenes de máquina ensamblada.

Figura 4.9 Máquina de pesaje y volumetría ensamblada

4.2 PRUEBAS Y RESULTADOS

El sistema de volumetría y pesaje tuvo 3 fases de pruebas y calibración. La primera fase de pruebas se refiere a la calibración y pruebas del sistema de medición de peso, la segunda fase de pruebas se enfoca en la medición de la altura de los paquetes ingresados al sistema, mientras que la última fase de pruebas se enfoca en las mediciones realizadas por el sistema de visión artificial.

4.2.1 Pruebas y Resultados de las Mediciones de Peso

La fase de verificación de las mediciones de peso se realizó con pesas estándar de gimnasio, las cuales fueron pesadas inicialmente en una balanza comercial para constatar su carga y luego se extrajeron los datos de las mediciones con el sistema de pesaje propuesto.

Se realizaron pruebas con diferentes cargas, dentro del rango de 0 a 50 kg.

La primera prueba se realizó con 4.54 kg (10 lb), en la Tabla 4.2 se presentan las mediciones, el error de la medición y el rango de diferencia entre el valor real y la medición del sistema. Según esto se realiza el gráfico de la Figura 4.9.

Tabla 4.2 Mediciones realizadas con la pesa de 10 libras o 4.54 kg

#	Medición kg	Peso Real kg	% Error	Rango
1	4.56	4.54	0.44%	0.020
2	4.55	4.54	0.27%	0.012
3	4.56	4.54	0.49%	0.022
4	4.54	4.54	0.18%	0.008
5	4.55	4.54	0.35%	0.016
6	4.55	4.54	0.31%	0.014
7	4.55	4.54	0.31%	0.014
8	4.54	4.54	0.18%	0.008
9	4.55	4.54	0.35%	0.016
10	4.55	4.54	0.40%	0.018
Máximo			**0.49%**	**0.022**

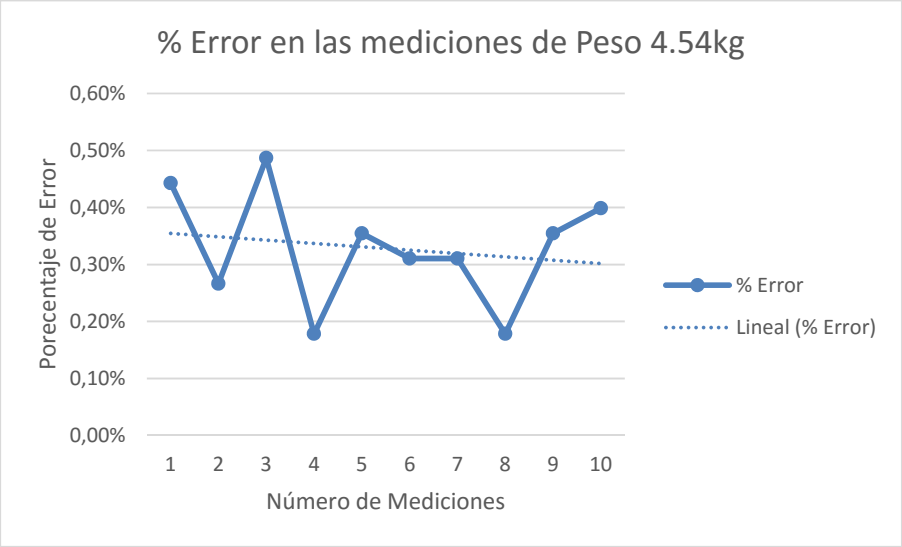


Figura 4.10 Gráfico del Error en las mediciones de 10 lb

En la Figura 4.10 se puede observar como oscila el porcentaje de error en las mediciones, entre 0 y 0.5%.

El sistema de procesamiento de datos, en el caso de la medición del peso, promedia cinco mediciones seguidas del paquete en análisis y entrega este promedio como el resultado de la medición final. Para verificar la fiabilidad del sistema de medición y si existe algún factor de corrección necesario a aplicar se construyen las cartas de control de promedios, el objetivo principal es analizar la variación del proceso, ver la Figura 4.11, revisar el Anexo A.8.

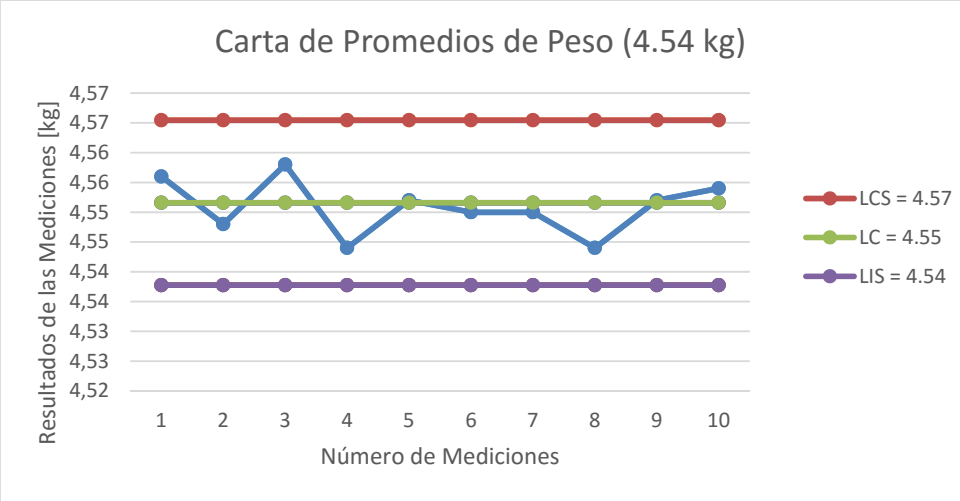


Figura 4.11 Carta de Control de Promedios de las pruebas con la pesa de10 libras

En la Figura 4.11 se puede mencionar que LCS es el valor promedio máximo o superior, LC es el valor medio y LIS es el valor promedio mínimo o inferior. De acuerdo a [51] y basándose en la Figura 4.12 donde se presentan los patrones fuera de control en las cartas de control se puede concluir que las mediciones de peso utilizando una pesa de 10 lb están correctas y presentan un comportamiento controlado.

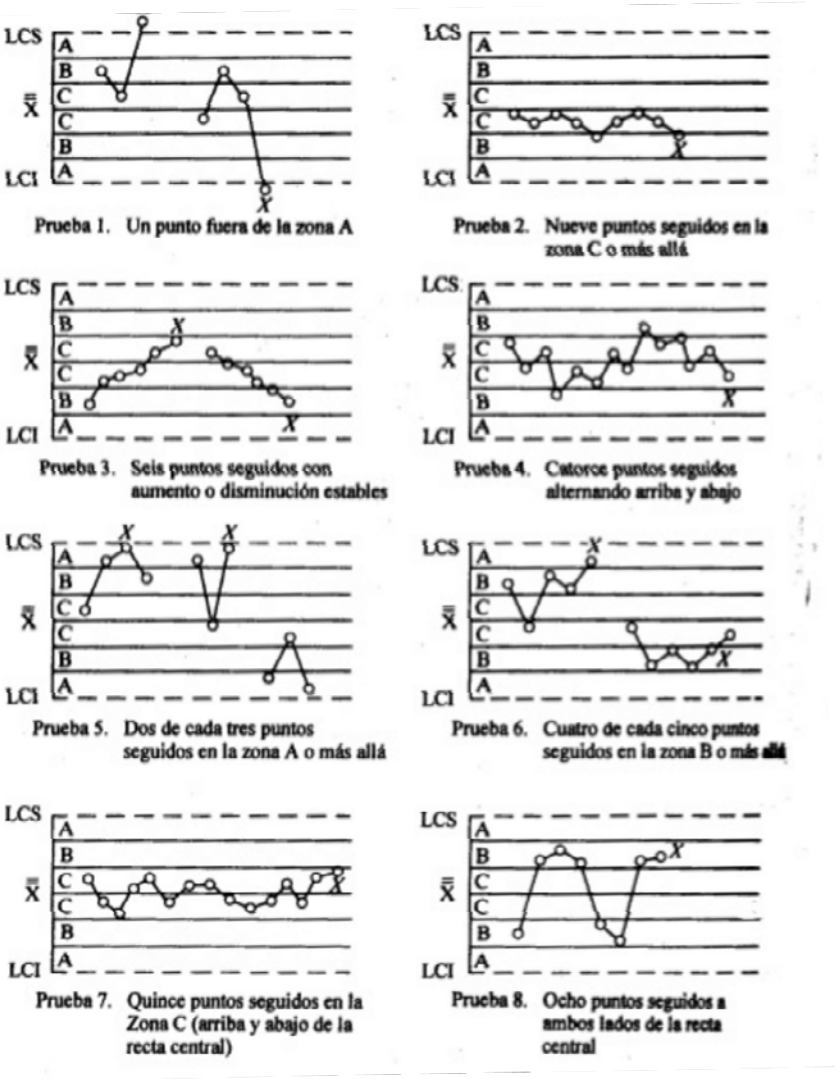


Figura 4.12 Patrones Fuera de Control
Fuente: Análisis y Planeación de la Calidad [51]

La segunda prueba se realizó con 22.68 kg (50 lb), en la Tabla 4.3 se presentan las mediciones, el error y el rango de diferencia entre el valor real y la medición del sistema. Según esto se realiza el gráfico de la Figura.4.13.

Tabla 4.3 Mediciones realizadas con la pesa de 50 lb o 22.68 kg

#	Medición kg	Peso Real kg	% Error	Rango
1	22.72	22.68	0.19%	0.042
2	22.71	22.68	0.13%	0.028
3	22.70	22.68	0.09%	0.020
4	22.71	22.68	0.14%	0.032
5	22.71	22.68	0.15%	0.034
6	22.72	22.68	0.19%	0.042
7	22.73	22.68	0.20%	0.046
8	22.70	22.68	0.10%	0.022
9	22.72	22.68	0.19%	0.042
10	22.71	22.68	0.15%	0.034
Máximo			**0.20%**	**0.046**

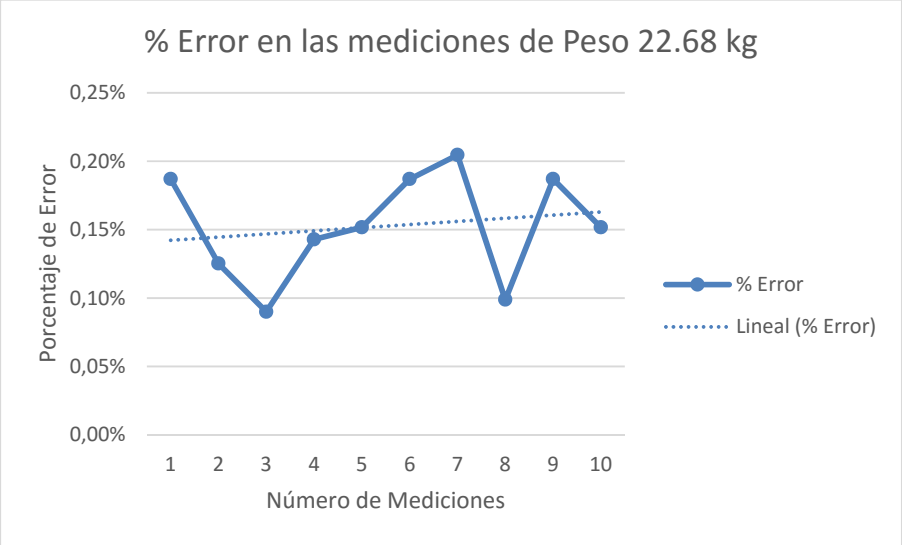


Figura 4.13 Gráfico del Error en las mediciones de 50 lb

En la Figura 4.13 se puede observar como oscila el porcentaje de error en las mediciones, entre 0 y 0.2%, reduciéndose el error con las mediciones realizadas anteriormente. Las cartas de control de estas mediciones se presentan en la Figura 4.14.

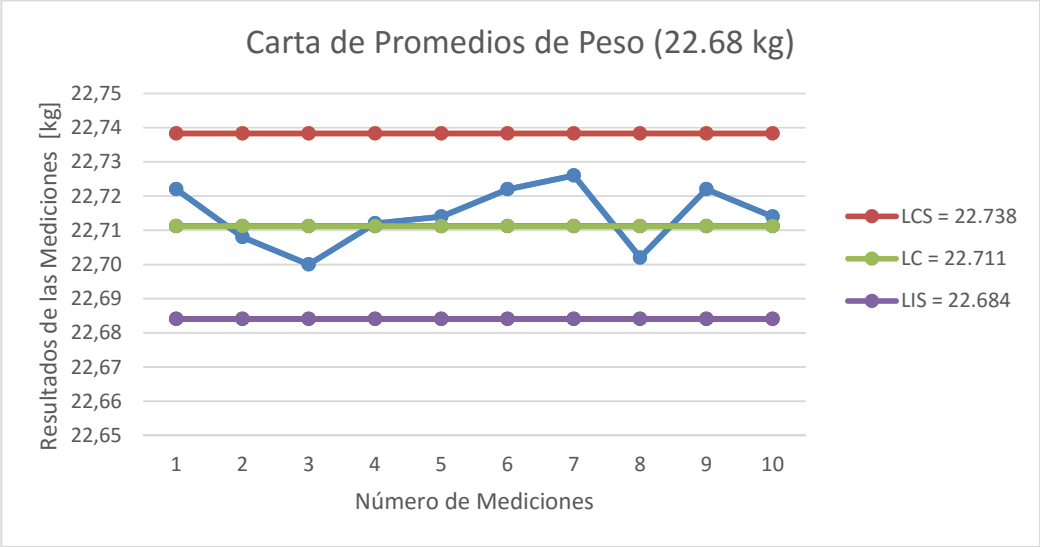


Figura 4.14 Carta de Control de Promedios de las Pruebas con 50 lb

Comparando los gráficos de la Figura 4.14 y los gráficos fuera de control de la Figura 4.12, se puede concluir que las mediciones de 22.68 kg (50 lb) son correctas y presentan un comportamiento controlado.

La tercera prueba se realizó con 50.4 kg (111.11 lb), en la Tabla 4.4 se presentan las mediciones, el error y el rango de diferencia entre el valor real y la medición del sistema. Según esto se realiza el gráfico de la Figura.4.15.

Tabla 4.4 Mediciones realizadas con 50.4 kg

#	Medición kg	Peso Real kg	% Error	Rango
1	50.36	50.40	0.08%	0.040
2	50.37	50.40	0.06%	0.030
3	50.39	50.40	0.02%	0.010
4	50.39	50.40	0.02%	0.010
5	50.40	50.40	0.00%	0.000
6	50.38	50.40	0.04%	0.020
7	50.36	50.40	0.08%	0.040
8	50.35	50.40	0.10%	0.050
9	50.39	50.40	0.02%	0.010
10	50.40	50.40	0.00%	0.000
Máximo			**0.10%**	**0.050**

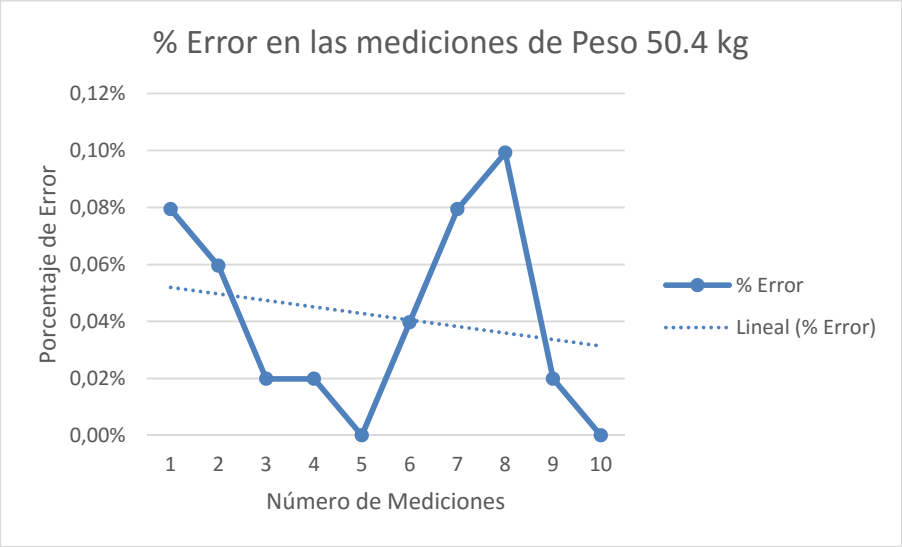


Figura 4.15 Gráfico del Error en las mediciones de 50.4 kg
Fuente: Propia

En la Figura 4.15 se puede observar que el porcentaje de error en las mediciones de 50.4 kg oscila entre 0 y 0.1%, lo cual indica una reducción en el porcentaje de error comparado con las mediciones realizadas anteriormente.

Las cartas de control de estas mediciones se presentan en la Figura 4.16.

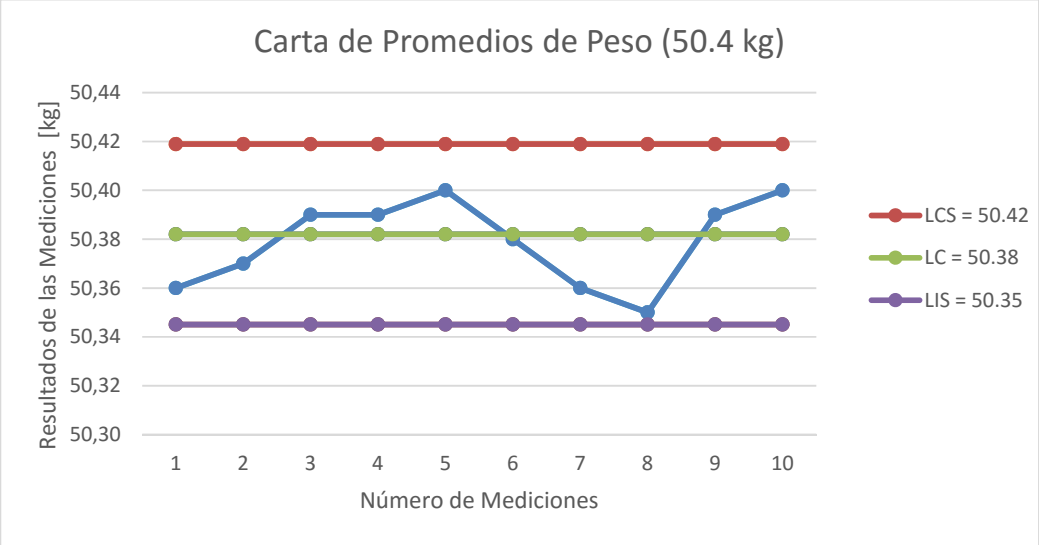


Figura 4.16 Carta de Control de Promedios de las Pruebas con 50.4 kg

Comparando los gráficos de la Figura 4.16 y los gráficos fuera de control de la Figura 4.12, se puede concluir que las mediciones de 50.4 kg son correctas y presentan un comportamiento controlado.

Como resultado de las pruebas de pesaje se puede decir que el error máximo se encuentra alrededor del 0.5%, también es importante resaltar que el error en las mediciones se reduce conforme se incrementa el valor de la carga o peso a medir. Según los gráficos de las cartas de control el proceso de medición de peso es un proceso controlado.

4.2.2 Pruebas y Resultados de las Mediciones de Altura

La fase de verificación de las mediciones de altura se realizó con cajas de diferentes tamaños, las cuales fueron medidas manualmente al inicio de las pruebas y luego se extrajeron los datos de las mediciones con el sistema de volumetría propuesto. En este caso se constará el funcionamiento del sensor ultrasónico y el algoritmo de medición para determinar la altura del paquete.

Se realizaron pruebas con cajas de diferente altura, dentro del rango de 0 a 40 cm. El valor de la medición final realizada por el sistema, es un promedio de 5 mediciones consecutivas de la altura del paquete.

La primera prueba se realizó con una caja de 7.2 cm de altura, en la Tabla 4.5 se presentan las mediciones, el error de la medición y el rango de diferencia entre el valor real y la medición del sistema. Utilizando esta información se realizó el gráfico de la Figura 4.17.

Tabla 4.5 Mediciones de Altura 7.2 cm

#	Medición (cm)	Altura Real (cm)	% Error	Rango
1	7.10	7.20	1.39%	0.100
2	7.05	7.20	2.08%	0.150
3	7.11	7.20	1.25%	0.090
4	7.13	7.20	0.97%	0.070
5	7.12	7.20	1.11%	0.080
6	7.09	7.20	1.53%	0.110
7	7.07	7.20	1.81%	0.130
8	7.11	7.20	1.25%	0.090
9	7.09	7.20	1.53%	0.110
10	7.16	7.20	0.56%	0.040
Máximo			**2.08%**	**0.150**

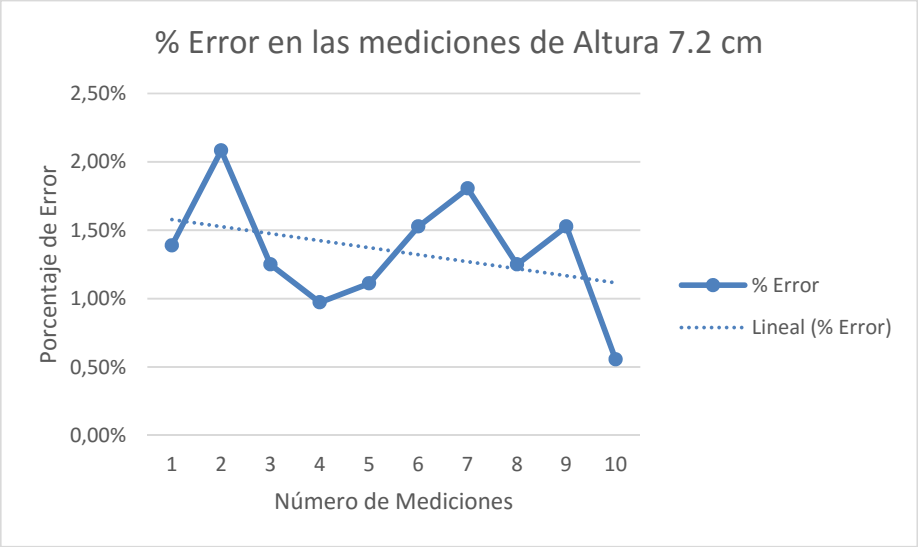


Figura 4.17 Gráfico del Error en las mediciones de altura de 7.2 cm

En la Figura 4.17 se puede observar que el porcentaje de error en las mediciones de 7.2 cm oscila entre 0 y 2.08 %.

Las cartas de control de estas mediciones se presentan en la Figura 4.18.

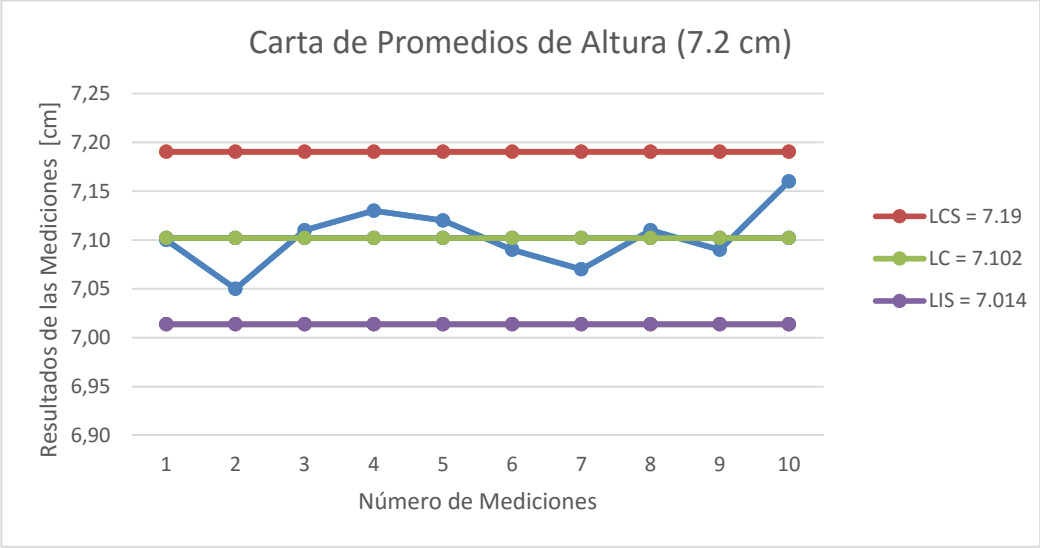


Figura 4.18 Carta de Control de Promedios de las Mediciones de Altura de 7.2 cm

Comparando los gráficos de la Figura 4.18 y los gráficos fuera de control de la Figura 4.12, se puede concluir que las mediciones de 7.2 cm son correctas y presentan un comportamiento controlado.

La segunda prueba se realizó con una caja de 30.4 cm de altura, en la Tabla 4.6 se presentan las mediciones, el error de la medición y el rango de diferencia entre el valor

real y la medición del sistema. Utilizando esta información se realizó el gráfico de la Figura 4.19.

Tabla 4.6 Mediciones de Altura de 30.4 cm

#	Medición (cm)	Altura Real (cm)	% Error	Rango
1	29.88	30.40	1.71%	0.520
2	30.21	30.40	0.62%	0.190
3	30.17	30.40	0.76%	0.230
4	29.97	30.40	1.41%	0.430
5	30.11	30.40	0.95%	0.290
6	29.94	30.40	1.51%	0.460
7	30.24	30.40	0.53%	0.160
8	30.20	30.40	0.66%	0.200
9	30.03	30.40	1.22%	0.370
10	30.07	30.40	1.09%	0.330
Máximo			**1.71%**	**0.520**

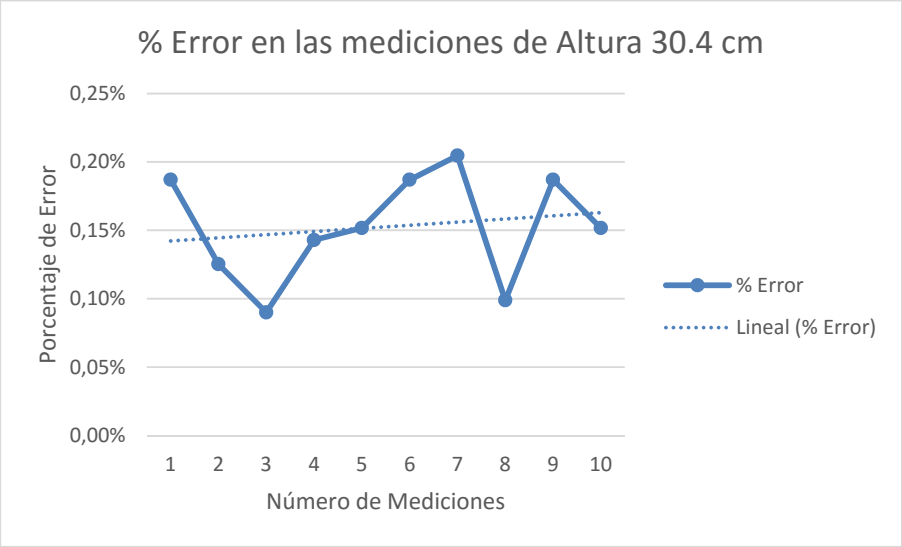


Figura 4.19 Gráfico del Error en las mediciones de altura de 30.4 cm

En la Figura 4.19 se puede observar que el porcentaje de error en las mediciones de 30.4 cm oscila entre 0 y 1.71%, similar a las mediciones anteriores.

Las cartas de control de estas mediciones se presentan en la Figura 4.20.

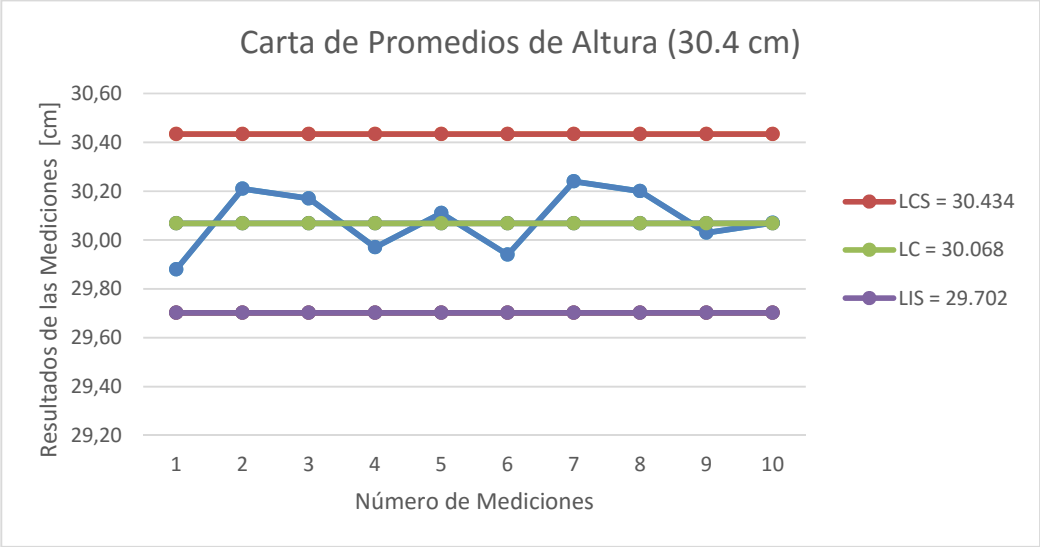


Figura 4.20 Carta de Control de Promedios de las mediciones de altura de 30.4 cm

Comparando los gráficos de la Figura 4.20 y los gráficos fuera de control de la Figura 4.12, se puede concluir que las mediciones de 30.4 cm son correctas y presentan un comportamiento controlado.

La tercera prueba se realizó con una caja de 51 cm de altura, en la Tabla 4.7 se presentan las mediciones, el error y el rango de diferencia entre el valor real y la medición del sistema. Utilizando los valores del error se realiza el gráfico de la Figura 4.21.

Tabla 4.7 Mediciones de Altura de 51 cm

#	Medición (cm)	Altura Real (cm)	% Error	Rango
1	51.32	51.00	0.63%	0.320
2	50.93	51.00	0.14%	0.070
3	51.02	51.00	0.04%	0.020
4	50.96	51.00	0.08%	0.040
5	51.21	51.00	0.41%	0.210
6	51.06	51.00	0.12%	0.060
7	51.15	51.00	0.29%	0.150
8	51.32	51.00	0.63%	0.320
9	51.04	51.00	0.08%	0.040
10	50.91	51.00	0.18%	0.090
Máximo			**0.63%**	**0.320**

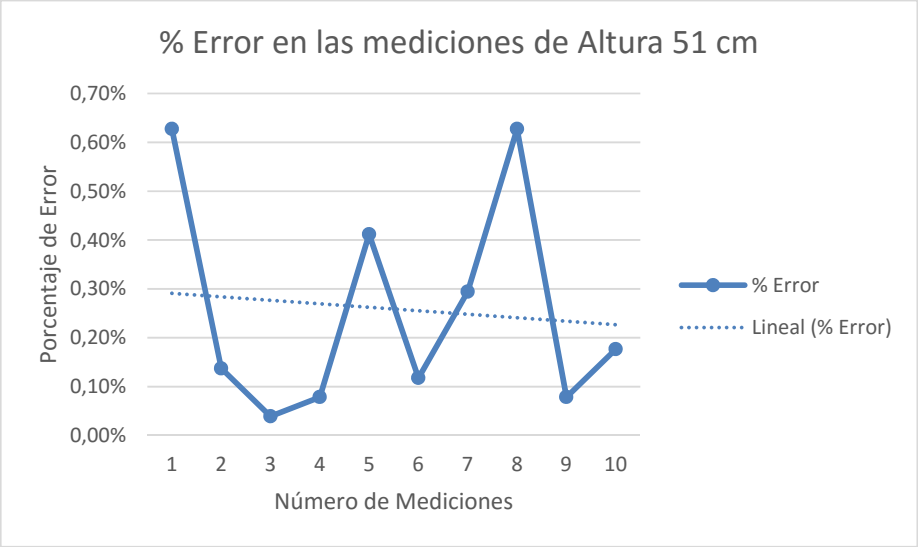


Figura 4.21 Gráfico del Error en las mediciones altura de 51cm

En la Figura 4.21 se puede observar que el porcentaje de error en las mediciones de 51 cm oscila entre 0 y 0.63%, por debajo del error máximo de las mediciones anteriores.

Las cartas de control de estas mediciones se presentan en la Figura 4.22.

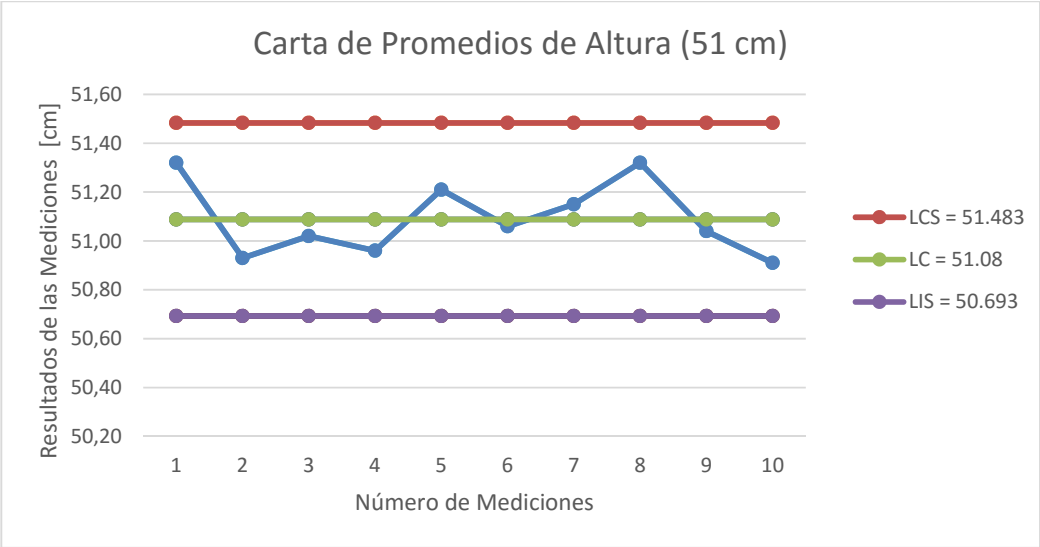


Figura 4.22 Carta de Control de Promedios de las Mediciones de Altura de 51cm

Comparando los gráficos de la Figura 4.22 y los gráficos fuera de control de la Figura 4.12, se puede concluir que las mediciones de 51 cm son correctas y presentan un comportamiento controlado.

Como resultado de las pruebas de medición de altura se puede decir que el error máximo se encuentra alrededor del 2%. Este error de medición se presenta de forma constante en la mayoría de mediciones realizadas. Según los gráficos de las cartas de control el proceso de medición de peso es un proceso controlado.

Es importante indicar que para una mejor precisión el sensor de distancia, no debe ubicarse muy próximo al paquete a medir, por tanto para las mediciones de altura el sistema de medición ubicará el sensor ultrasónico a 75 cm de la bandeja de pesaje.

4.2.3 Pruebas y Resultados de las Mediciones con Visión Artificial

El sistema de visión artificial permite determinar la profundidad y ancho del paquete, o en el caso de cilindros el diámetro del mismo. La fase de verificación de las mediciones se realizó con cajas de diferentes tamaños, las cuales fueron medidas inicialmente con un flexómetro para constatar sus dimensiones y luego se extrajeron las dimensiones de las cajas con el sistema de volumetría propuesto.

Se realizaron pruebas con diferentes cajas, tomando en cuenta que el objetivo máximo de medición son cajas de 40 x 40 x 40 cm. Es importante indicar que para realizar la medición con el sistema de visión artificial la distancia focal entre la superficie superior del paquete y la cámara debe ser constante, en este caso es de 58 cm.

La primera prueba se realizó con una caja pequeña de 9.2 x 11.3 cm, los datos de las dimensiones que muestran mayor error en la medición se muestran en la Tabla 4.8, la información completa de las mediciones se encuentra en el Anexo A.10. Tomando los valores de las diferentes mediciones se realiza el gráfico de la Figura 4.23.

Tabla 4.8 Mediciones de 9.2 cm con el sistema de V.A.

#	Mediciones (cm)	Valor Real (cm)	Error %	Rango
1	9.1	9.2	1.09%	0.1
2	9.5	9.2	3.26%	0.3
3	9.1	9.2	1.09%	0.1
4	9.1	9.2	1.09%	0.1
5	9	9.2	2.17%	0.2
6	9.2	9.2	0.00%	0
7	9.2	9.2	0.00%	0
8	9	9.2	2.17%	0.2
9	9.2	9.2	0.00%	0
10	9.5	9.2	3.26%	0.3
Máximo			**3.26%**	**0.3**

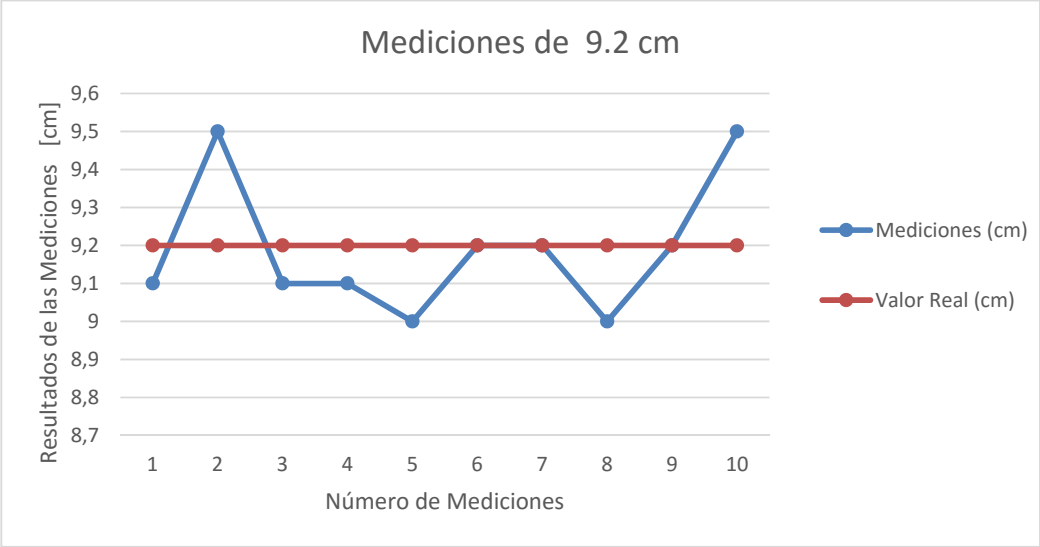


Figura 4.23 Mediciones de 9.2cm con el sistema de VA

De acuerdo con el gráfico anterior y los datos de la Tabla 4.8 se puede decir que el error máximo de esta medición es del 3.26%, pero su error promedio es del 1.41%. Estos datos son importantes para después de varias pruebas determinar el error general del sistema de visión artificial.

La segunda prueba se realizó con una caja mediana de 31.72 x 23.2 cm, los datos de las dimensiones que muestran mayor error en la medición se muestran en la Tabla 4.9, la información completa de las mediciones se encuentra en el Anexo A.10. Tomando los valores de las diferentes mediciones se realiza el gráfico de la Figura 4.24.

Tabla 4.9 Mediciones de 23.2 cm con el sistema de V.A.

#	Mediciones (cm)	Valor Real (cm)	Error %	Rango
1	23.4	23.2	0.86%	0.2
2	23.4	23.2	0.86%	0.2
3	22.9	23.2	1.29%	0.3
4	23.1	23.2	0.43%	0.1
5	23	23.2	0.86%	0.2
6	23	23.2	0.86%	0.2
7	21.7	23.2	6.47%	1.5
8	23	23.2	0.86%	0.2
9	22.9	23.2	1.29%	0.3
10	22.88	23.2	1.38%	0.32
Máximo			**6.47%**	**1.5**
Promedio			**1.52%**	**0.352**

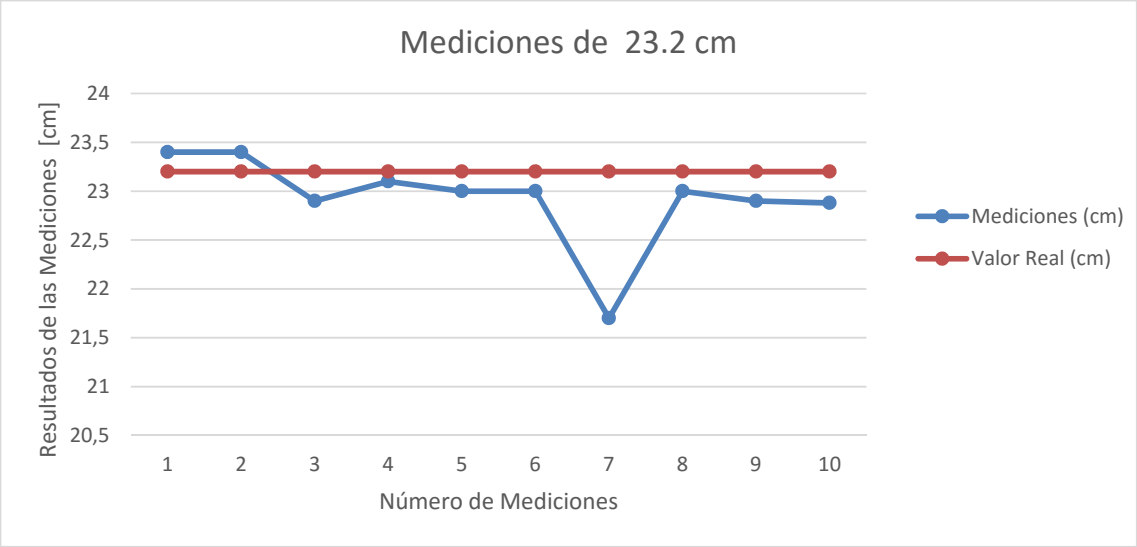


Figura 4.24 Mediciones de 23.2cm con el sistema de VA

De acuerdo con el gráfico anterior y los datos de la Tabla 4.9 se puede decir que el error máximo de esta medición es del 6.47%, pero su error promedio es del 1.52%. Este último es cercano al error promedio de las mediciones anteriores. Mientras que la mayor variación con relación al valor real en una medición es de 1.5 cm.

La tercera prueba se realizó con una caja grande de 40 x 32.5 cm, en la Tabla 4.10 se muestran las mediciones relacionadas con 40 cm, la información completa de las mediciones se encuentra en el Anexo A.10. Tomando los valores de las diferentes mediciones se realiza el gráfico de la Figura 4.25.

Tabla 4.10 Mediciones de 40 cm con el sistema de V.A.

#	Mediciones (cm)	Valor Real (cm)	Error %	Rango
1	39.1	40	2.25%	0.9
2	39	40	2.50%	1
3	38.9	40	2.75%	1.1
4	39.1	40	2.25%	0.9
5	39.2	40	2.00%	0.8
6	39.5	40	1.25%	0.5
7	39.1	40	2.25%	0.9
8	39	40	2.50%	1
9	39.6	40	1.00%	0.4
10	38.7	40	3.25%	1.3
Máximo			**3.25%**	**1.3**
Promedio			**2.20%**	**0.88**

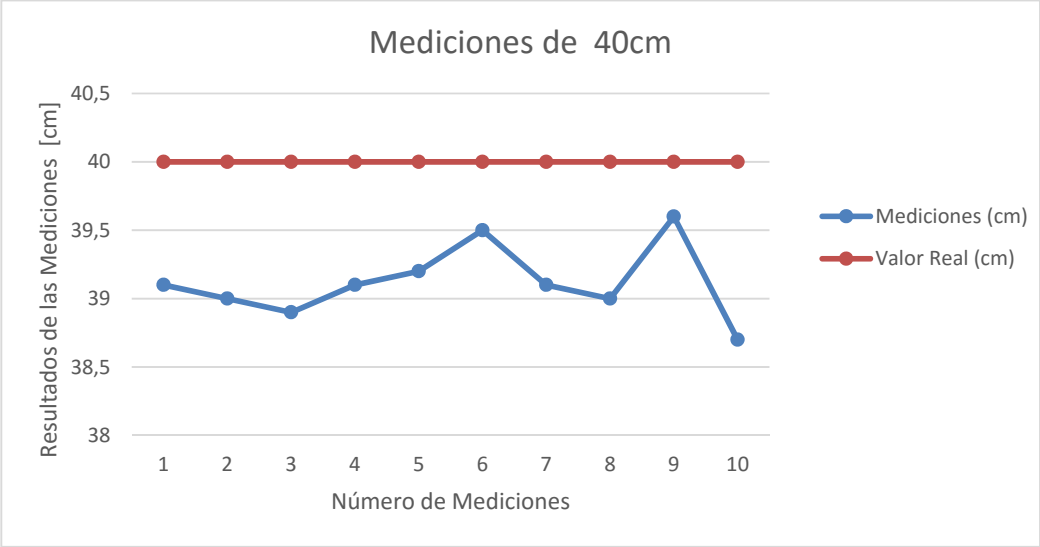


Figura 4.25 Mediciones de 40cm con el sistema de VA

De acuerdo con el gráfico anterior y los datos de la Tabla 4.10 se puede decir que el error máximo de esta medición es del 3.25%, su error promedio es del 2.2%. Mientras que la mayor variación con relación al valor real en una medición es de 1.3 cm.

Tomando en cuenta los resultados de las mediciones de 40 cm y 23.2 cm se encuentran por debajo del valor real de medición, se determina que es necesario reajustar el valor de conversión del número de pixeles equivalentes a la unidad de medición. Se requiere disminuir este valor para así disminuir el rango existente entre el valor real y el valor medido, reduciendo también el error de medición.

Este factor de conversión se redujo de 14 pixeles/cm a 13.7 pixeles/cm para mejorar las mediciones, tomando en cuenta que la resolución deseada es de +- 1cm (rango máximo). En la Tabla 4.11 se presentan los resultados de las mediciones de 40 cm después de modificar el factor de conversión.

Tabla 4.11 Mediciones de 40 cm con el sistema de V.A corregido.

#	Mediciones (cm)	Valor Real (cm)	Error %	Rango
1	40.0	40	0.11%	0.0
2	39.5	40	1.25%	0.5
3	40.8	40	2.00%	0.8
4	40.0	40	0.11%	0.0
5	40.4	40	1.00%	0.4
6	40.4	40	0.91%	0.4
7	40.0	40	0.11%	0.0
8	39.2	40	2.00%	0.8
9	40.8	40	2.00%	0.8
10	39.3	40	1.75%	0.7
Máximo			**2.00%**	**0.8**
Promedio			**1.12%**	**0.4**

Mientras que en la Figura 4.26 se observa que los valores de las mediciones ya oscilan hacia arriba y debajo de la línea del valor real, también se puede observar que el rango disminuye e igual el error de medición. También se puede observar que las mediciones no exceden la resolución deseada de + - 1cm.

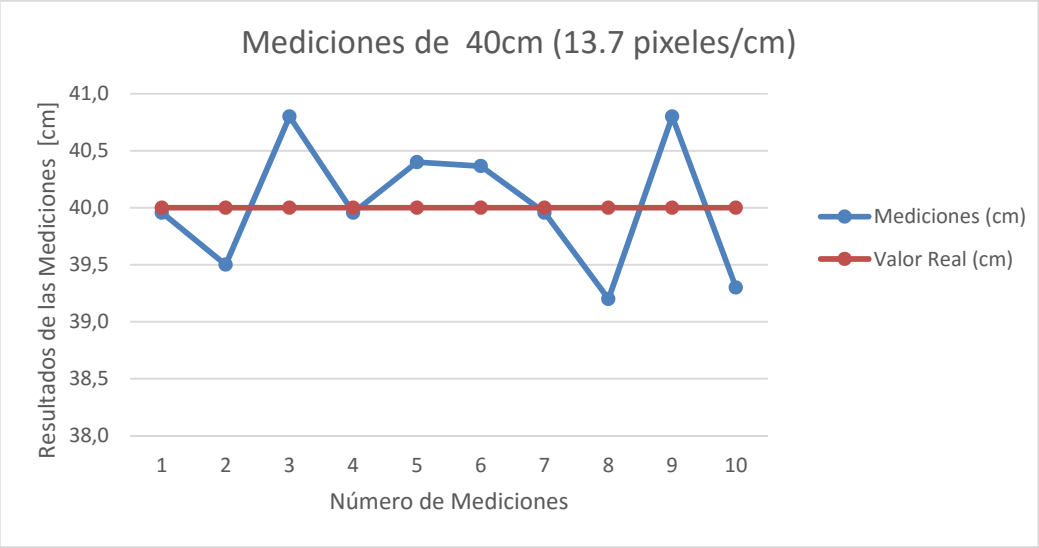


Figura 4.26 Mediciones de 40cm con el sistema de VA recalibrado

4.3 CERTIFICACIÓN DE LA BALANZA

La calibración de un equipo corresponde a un conjunto de operaciones realizadas en condiciones específicas con las que se establece las características de un sistema de medición, mediante la relación entre los valores representados por un material de referencia y los valores generados por el equipo de medición. Un certificado de calibración de una máquina permite verificar el error de medida del sistema, el cual corresponde a la variación entre la medida real y el resultado obtenido del equipo en análisis. El resultado de la calibración indica un reporte completo del error que tiene el instrumento de medición, las tablas y curvas de corrección que deberían aplicarse, la precisión de las medidas, la exactitud de los patrones y la validez de la calibración.

Es importante para la empresa que la balanza sea certificada y calibrada, ya que así se tiene mediciones confiables, con errores aceptables, los cuales no afectaran en el cálculo de la tarifa de envío del sistema, evitando el cobro injusto por malas mediciones sin perjudicar al cliente, ni beneficiar a la empresa, garantizando la fiabilidad y trazabilidad de las mediciones. La certificación de la balanza se debe realizar de forma continua debido al envejecimiento de los componentes, los cambios de temperatura y el estrés mecánico que soportan los instrumentos, lo cual deteriora poco a poco sus funciones y precisión de medición.

En Ecuador el INEN, Servicio Ecuatoriano de Normalización, se encarga de certificar y calibrar equipos, instrumentos o sistemas de medición. Para solicitar la calibración de la balanza se deben seguir la guía adjunta en el Anexo B.13.

La fecha de validez de la certificación indica cuando debe ser la próxima evaluación del sistema. A continuación se presentan en resumen los pasos a seguir para realizar la certificación de la balanza. Este proceso puede tardar de 1 a 2 meses.

- Registrar y Activar una cuenta en el portal de servicios de calibración de metrología del INEN
- Ingresar la solicitud de calibración al sistema del INEN
    - Agregar el equipo para calibración, con los datos de la máquina. (Carga máxima, precisión, error del instrumento, marca, fabricante, entre otros).
    - Generar la solicitud de calibración

- Pagar el servicio de calibración (Aproximadamente $60)
- Agendar una cita para la calibración
- Realizar las pruebas necesarias en el INEN
- Recibir el reporte de calibración y la certificación.

CONCLUSIONES

El sistema de pesaje y volumetría creado se clasifica como una máquina semiautomática de medición y facturación, más no como una máquina industrial ya que no interviene en ningún proceso de producción ni construcción de algún producto.

Después de haber realizado pruebas y analizar los resultados del sistema de volumetría y pesaje se puede concluir que la máquina tiene un error en su sistema de pesaje de hasta un 2% con una precisión 0.02 kg, mientras que en relación al sistema de volumetría su precisión es de 1cm.

El sistema de visión artificial puede medir la profundidad y ancho del paquete sin importar su posición sobre la bandeja de pesaje, pero es importante recalcar que para que las mediciones sean fiables, la cámara deberá ubicarse siempre a la misma distancia focal del paquete, es decir la distancia entre la superficie superior del paquete y la cámara debe ser constante (58 cm) para la medición de cualquier paquete, motivo por el cual se construyó el carro vertical del sistema de volumetría, este permite ubicar la cámara en la posición adecuada a la distancia focal sobre cualquier paquete hasta de 40x40x40 cm.

La técnicas de transformación morfológicas de dilatación y erosión de la imagen, dentro del proceso de segmentación del sistema de visión artificial, permiten cerrar los contornos de los objetos encontrados en las imágenes y también separa los objetos que están unidos de forma errónea debido al procesamiento de la imagen, esto permite que la detección de los bordes de los objetos sea más efectiva.

La base de datos del sistema, permite al usuario registrar los datos del remitente, destinatario, ruta de envío, prioridad, fecha, volumen, peso y su tarifa de envío; toda esta información es importante para la empresa y pueden acceder a ella a través de la interfaz HMI de la máquina, este software permite generar reportes de los envíos realizados y modificar datos de los clientes, rutas de envío, entre otras funciones más; esto marca una gran diferencia con los sistemas de cubicaje existentes en el mercado que solo muestran la información de las mediciones del paquete.

Luego de realizar el registro del envío, el software de la interfaz permite generar una etiqueta adhesiva para identificar los paquetes, esta contiene los datos del remitente,

destinatario, prioridad, destino, peso, tarifa de cobro y numero de guía. De esta forma se puede evitar los errores en el momento de cargar el camión al revisar el lugar de destino del paquete y su prioridad de envío. Es importante mencionar que con un rollo de papel adhesivo la impresora puede generar un promedio de 270 etiquetas.

El diseño de la estructura mecánica del sistema de pesaje, permite que la celda de carga sea reemplazada por una del mismo tipo, pero de diferentes dimensiones, ya que se pueden ajustar los soportes del sensor a la longitud de la nueva celda de carga, tomando siempre en cuenta que la bandeja de pesaje debe quedar nivelada. Esto da versatilidad a la máquina en el caso de ser necesario el cambio del sensor de peso, a diferencia de otras máquinas ya existentes, que requieren que se instale un modelo igual o de las mismas dimensiones del sensor de peso a sustituirse.

Para nivelar el chasis o la base de la balanza, es importante colocar soportes de altura regulable en cada una de las patas de la mesa que compone el chasis, permitiendo así que la máquina se pueda adaptarse a superficies no niveladas.

La celda de carga instalada en el sistema de pesaje resiste hasta 200 kg, pero en el caso de una sobrecarga, la bandeja de mediciones se apoyará sobre el chasis de la máquina brindando soporte a la celda de carga y evitando su ruptura.

El sistema de movimiento del carro vertical de la máquina, cuenta con 2 fines de carrera, los cuales detienen el movimiento del motor en caso de que el carro llegue al límite superior o inferior de la torre vertical, para evitar daños en el motor y en la estructura de la máquina. Es importante mencionar que los usuarios u operarios no tienen contacto con el eje del tornillo de potencia, ni con el motor y debido a que el torque requerido para el movimiento es bastante bajo, no representa una amenaza para el usuario.

El sistema de volumetría y pesaje implementado será de mucha ayuda para la empresa OrionLogistics en especial en el proceso de estandarización de su método de cobro, basándose en el método LTL, también representa un herramienta muy útil que permite tomar las dimensiones del paquete y su peso de forma automática.

RECOMENDACIONES

Inicialmente la máquina requiere ser nivelada, utilizando los soportes de nivelación ubicados en las patas del chasis y ajustando correctamente la bandeja de pesaje y la torre vertical. La nivelación de la máquina es necesaria para adquirir mediciones confiables por parte del sensor de carga, sensor de altura (ultrasónico) y el sistema de visión artificial.

Se recomienda instalar la interfaz HMI en una computadora de 64 bits con disponibilidad de 3 puertos USB como mínimo, también es importante instalar y mantener actualizado el programa MySQL para la base de datos, antes de la operación del sistema de pesaje y volumetría se debe instalar en la PC los controladores del PLC, la cámara y la impresora térmica.

Al realizar el proceso de calibración de la balanza, es importante que no exista ninguna carga sobre la misma.

Se recomienda que la superficie del paquete que no tenga figuras o logos, se ubique hacia arriba, para que el sistema de visión artificial funcione más rápidamente y de forma eficaz.

Se recomienda que los paquetes o cilindros a medir muestren su superficie cerrada hacia arriba (tapa), para una medición confiable de la altura.

Es importante el mantenimiento continuo del sistema electrónico y mecánico, en especial lubricar el sistema de movimiento del carro vertical.

Se puede modificar los permisos del programa de la interfaz, para poder utilizar el programa de registro sin conexión al sistema de volumetría y pesaje.

BIBLIOGRAFÍA

[1] D. Maloney and L. Talavera, "Beneficios de la Volumetría," *Technotes by LYL Ingeniería,* no. 6, 2015.

[2] H. Instruments, "Sistemas de Pesaje Verificables en Aplicaciones abiertas de automatización," Sistemas de Pesaje Verificables, Febrero 2015. [En línea]. Disponible en : http://www.hbm.com/es/2592/sistemas-de-pesaje-legal-en-aplicaciones-abiertas-de-automatizacion/. [Accessed Enero 2016].

[3] L. Avedaño, Fundamentos de Instumentación, Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

[4] A. Creus Solé, Instrumentación industrial, 7ma ed., Marcombo, 2008.

[5] H. Steinmeyer, "Pesaje dinámico," *Revista Electroindustria,* 2005.

[6] C. Quantronix, "Cubiscan," Enero 2016. [En línea]. Disponible en: www.cubiscan.com. [Accessed Febrero 2016].

[7] Paracelcube, "Paracelcube," Diciembre 2015. [En línea]. Disponible en: http://parcelcube.com/?gclid=CjwKEAjw6sC5BRCogcaY_dKZ2nESJABsZihxy0G1qqQSoGAhJsHonteD7I0nBiVaLqTnAAU_gwR3TBoCNCDw_wcB. [Accessed Enero 2016].

[8] M. Toledo, "Mettler Toledo," Febrero 2016. [En línea]. Disponible en: http://int.mt.com/int/es/home/products/Transport_and_Logistics_Solutions/Cargoscan_pallet_dimensioning.html. [Accessed Febrero 2016].

[9] DIGI, 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.digisystem.com/sa/products/category/006/112/.

[10] C. Quantronix, Manual de Usuario Cubiscan 150.

[11] C. Quantronix, Manual de Usuario Cubiscan 210-DS.

[12] M. Solutions, "CubiScan 150," México, 2016.

[13] M. Solutions, "CubiScan 200-TS," México, 2016.

[14] Quantronix, "Cubiscan 200-TS," Farmington, Utah, Estados Unidos, 2011.

[15] A. Robinson, "10 Factors wich determine LTL Freight Rates," Noviembre 2013. [En línea]. Disponible en: http://cerasis.com/2013/11/19/ltl-freight-rates/.

[16] Correos del Ecuador C.E.P., Febrero 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.correosdelecuador.gob.ec/?p=2545.

[17] R. Logistics, Enero 2016. [En línea]. Disponible en: http://www.rohlig.com/es/centro-de-informacion/transporte-aereo/relacion-pesovolumen.html.

[18] Ministerio de Educación España, "Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales," 2012.

[19] R. Gonzales and O. Wintz, Digital Image Processing, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Co., 1991.

[20] Sivart, "Introducción a la Visión Artificial," 2013. [En línea]. Disponible en: http://sivartsl.com/descargas/artificial.pdf.

[21] Quantronix, "CubiScan," 2013. [En línea]. Disponible en: http://www.cubiscan.com/. [Accessed Febrero 2016].

[22] Mettler Toledo, "Mettler Toledo Controladores volumétricos de palés y paquetes," Febrero 2016. [En línea]. Disponible en: http://int.mt.com/int/es/home/products/Transport_and_Logistics_Solutions/Cargoscan_pallet_dimensioning.html. [Accessed Mayo 2016].

[23] Montra S.A., "Montra," 2012. [En línea]. Disponible en: http://www.montra.com.mx/html_new/us/us_esp.html. [Accessed Febrero 2016].

[24] Montra S.A., "CubiScan 150 demo de medición y comunicación con servidor," YouTube, México, 2010.

[25] M. S. Solutions, "Siati Group uses Magaya Software and CubiScan Scales," 25 Febrero 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.magaya.com/en-us/News/PostId/23/case-study-siati-group. [Accessed Marzo 2016].

[26] C. Riba, Diseño concurrente, ETSEIB-UPC, 2002.

[27] D. Astessiano, P. Romero and B. Sensale, "Proyecto Pez Robot," Montevideo, 2008.

[28] Siemens, "siemens.com," Siemens, 2017. [En línea]. Disponible en: http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/logo/pages/default.aspx#El_20nuevo_20software_20en_20un_20nuevo_20dise_c3_b1o. [Accessed Febrero 2017].

[29] Industrial Shields, "industrialshields.com," 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.industrialshields.com/es/shop/plc-arduino-ardbox-20-ios-analog/. [Accessed Abril 2017].

[30] Python, "python.org," Python, 2017. [En línea]. Disponible en: www.python.org/. [Accessed Febrero 2017].

[31] Microsoft, "msdn.microsoft.com," 2017. [En línea]. Disponible en: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd492171.aspx. [Accessed Febrero 2017].

[32] MySQL, "mysql.com," MySQL, 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.mysql.com/. [Accessed Febrero 2017].

[33] Progress, "knowledgebase.progress.com," Progress, 2017. [En línea]. Disponible en: http://knowledgebase.progress.com/. [Accessed Febrero 2017].

[34] R. Mott, Resistencia de Materiales, México: Pearson Educación, 2009.

[35] XVigas, "XVigas," [En línea]. Disponible en: http://pwnage2apps.esy.es/xvigas/xvigas.html.

[36] IPAC S.A., "Ipac-Acero," 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=9.

[37] J. A. López Juárez and L. Bañon, "Estructuras Metálicas. Material de Apoyo," Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig - Alicante, 2012.

[38] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2008.

[39] DISMETAL, "dismetal.ec," 2017. [En línea]. Disponible en: http://dismetal.ec/productos/planchas/aluminio-liso. [Accessed 2017].

[40] H. Rodríguez Galbarro, "Ingemecanica.com," 2011. [En línea]. Disponible en: http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html#seccion2http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html#seccion2. [Accessed 10 Febrero 2017].

[41] R. A. Serway, Física, McGraw-Hill, 1992.

[42] R. L. Norton, Diseño de Máquinas, México: Pearson, 2011.

[43] Global Metals, "Stainless Steel 304/304L," 2014.

[44] A. Semiconductors, "Hoja de Datos HX711". Estados Unidos 2006.

[45] L. M. Vega Fidalgo and D. Zorita Tellez, "Laboratorio de Procesado de Imagen," 2006. [En línea]. Disponible en: https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_03_04/infra_y_ultra/aplicaciones_ultrasonidos.htm. [Accessed 2017].

[46] A. Martínez , V. Blanca, N. Castilla and R. Pastor, Cálculo de Fusibles de una Instalación Eléctrica en Baja Tensión, Valencia: ETS Arquitectura.

[47] Electrónica Fácil, "Electronicafacil.net," 2010. [En línea]. Disponible en: https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Valores-normalizados-cables-AWG.php. [Accessed 2017].

[48] M. J. Bellido Días, Normas Básicas y Recomendaciones en el Diseño de PCBs, 2015.

[49] P. Rodríguez, "Diseño de Interfaces Hombre-Máquinca (HMI)," Valdivia, 2008.

[50] M. Martínez and J. Potes, "Diseño e Implementacion de un sistema de visión artificial para detectar una especie de arácnidos y nuevos brotes de flora en un hábitat alterado por un incendio," Santiago de Cáli, 2013.

[51] J. M. Juram and F. M. Gryna, Análisis y Planteamiento de la Calidad, McGrawHill.

[52] IDESAI, 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.idesai.es/index.php/es/productosidesai.

[53] L. Ingeniería. [En línea]. Disponible en: http://www.lyl-ingenieria.com/es/soluciones-logistica/sistemas-estaticos/cubiscansup/sup-100-medicion-de-volumen-y-peso-de-objetos-medianos/c5r62/.

[54] D. Perez, «Sensores de Distancia por Ultrasonido,» 2006.

[55] G. V. José A., Introducción a los Microcontroladores, Cap. 11, E. M. G. Hill, Ed., 1992.

[56] C. Canto, "Sensores Ultrasónicos UASLP," 2010.

[57] Centro Nacional de Biotecnología, 2010. [En línea]. Disponible en: http://wwwuser.cnb.csic.es/~fotonica/Photonic_en/Review/ccd1.htm.

[58] D. Gómez, L. Martínez and O. Parada, "Diseño del plan de mejoramiento en el proceso de recepción de mercancía y de despachos urbanos.," Bogotá, 2015.

[59] D. Mey, "Visión por Computador," Santigo de Chile, 2004.

[60] L. A. García Moreno, Desarrollo de Software para Medición Automática de Alturas a Través de una Cámara no Calibrada, España: Universidad Rey Juan Carlos, 2010.

[61] R. Mott, Diseño de elementos de máquinas, México: Pearson, 2006.

[62] J. Medina, Predimensionamiento de Vigas, Venezuela: Universidad de los Andes, 2013.

ANEXOS

Anexo A Cálculos, Gráficos y Análisis

Anexo A.1 Casa de la Calidad

Anexo A.2 Iteraciones para el diseño de la viga horizontal doblemente empotrada sometida a una carga uniformemente distribuida (Chasis)

Anexo A.3 Iteraciones para el diseño del Recubrimiento de la Bandeja de Pesaje (viga horizontal doblemente empotrada sometida a una carga uniformemente distribuida)

Anexo A.4 Iteraciones para el diseño de la pletina de soporte de la celda de carga

Anexo A.5 Dimensionamiento de los pernos de sujeción de la Mesa Lateral

Anexo A.6 Iteraciones para el diseño del carro vertical

Anexo A.7 Diseño Tornillo de Potencia

Anexo A.8 Cartas de Control Mediciones de Peso

Anexo A.9 Cartas de Control Mediciones de Altura

Anexo A.10 Mediciones con el Sistema de Visión Artificial

Anexo B Hojas de Datos y Catálogos

Anexo B.1 Catálogo Tubería Estructural Cuadrada / IPAC-Acero

Anexo B.2 Catálogo de Planchas Laminadas en Caliente / IPAC-Acero

Anexo B.3 Catálogo de Productos Laminados Pletina / IPAC-Acero

Anexo B.4 Catálogo de Planchas de Aluminio Liso / Dismetal

Anexo B.5 Características del Acero Inoxidable AISI 304 / Global Metals

Anexo B.6 Hoja de Datos Módulo HX711

Anexo B.7 Hoja de Datos Celda de Carga 200 kg

Anexo B.8 Hoja de Datos Sensor Ultrasónico

Anexo B.9 Hoja de Datos Módulo A4988

Anexo B.10 Hoja de Datos Motor Paso a Paso

Anexo B.11 Hoja de Datos Fuente Altek Modelo: PX-500W

Anexo B.12 Hoja de Datos Cámara ELP

Anexo B.13 Guía para la certificación de la Balanza

Anexo B.14 Placa Electrónica, Diseño y Circuito Impreso

Anexo C Planos

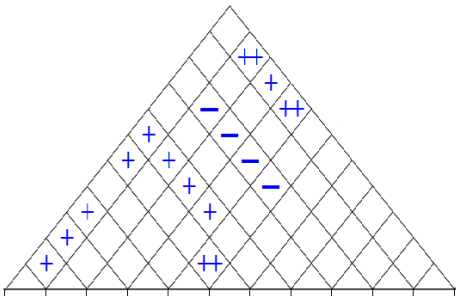
Anexo D Fotografías

Anexo D.1 Construcción

Anexo D.2 Pruebas de Funcionamiento

Anexo A Cálculos, Gráficos y Análisis

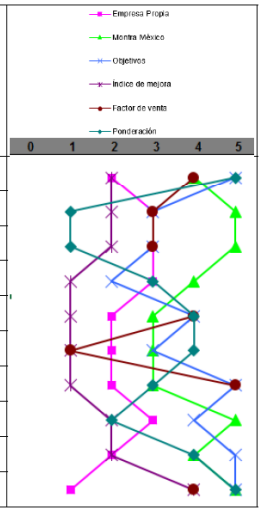
Anexo A.1 Casa de la Calidad QFD



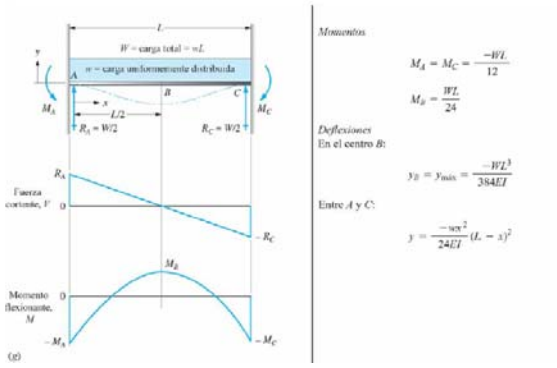
Legend		
⊖	Strong Relationship	9
O	Moderate Relationship	3
▲	Weak Relationship	1
++	Strong Positive Correlation	
+	Positive Correlation	
−	Negative Correlation	
▼	Strong Nagative Correlation	
▼	Objective Is To Minimize	
▲	Objective Is To Maximize	
X	Objective Is To Hit Target	

Número de Fila	Máximo Valor de Relación en la Fila	Peso Relativo	Peso / Importancia	Características Técnicas de los productos (voz del ingeniero) / Necesidades y deseos del usuario (voz del usuario)	Algoritmo de cálculo de la tarifa a cobrar, basado en un método estándar	Sistema de visión artificial para tomar dimensiones	Celda de Carga	Sensor de Distancia	Comunicación con la computadora	Interfaz del sistema de volumetría	Etiqueta con información del paquete	Transformación y regulación para la fuente de alimentación	Velocidad de medición	Estructura metálica de soporte del sistema	Forma, Geometría y Distribución de elementos en la máquina	Empresa Propia	Montra S.A México	Objetivos	Índice de mejora	Factor de Venta	Ponderación
				Dirección de Mejoramiento Minimizar (▼), Maximizar (▲), Objetivo (x)	X	▲	▲	▲	X	X	X	▲	▼	X	X						
1	9	13.0	5	Determinar la tarifa de envío en función de las mediciones realizadas y el destino del paquete	⊖	O	O	O	▲	O						2	4	5	2	4	5
2	9	10.4	4	Medir cajas de máximo 40 x 40 x 40 cm		⊖		⊖						O		3	5	3	2	3	1
3	9	10.4	4	Medir un peso máximo de 50 kg			⊖							O		3	5	3	2	3	1
4	9	7.8	3	Tener comunicación de la máquina con la PC					⊖	▲						3	4	2	1		3
5	9	10.4	4	Seleccionar el destino y visualizar la información del paquete en el programa informático						⊖						2	3	4	1	4	4
6	9	7.8	3	Identificar los paquetes con su información							⊖					2	3	3	1	1	4
7	9	7.8	3	Los paquetes a medir serán cajas y cilindros										O	⊖	2	3	5	1	5	3
8	9	11.7	4.5	Uso de la energía de la red pública 120VAC a 60 Hz								⊖				3	5	4	2		2
9	3	10.4	4	Uso de un método estándar para fijar la tarifa a cobrar	O											2	4	5	2		4
10	9	10.4	4	Mejorar el tiempo de medición		▲	▲	▲					⊖			1	5	5	4	4	5
				Objetivo o Valor Límite	Método LTL	Resolución de la cámara y control de luz	Celda de Carga con una capacidad de 50kg	Rango de medición hasta 60cm	Comunicación USB o Serial	Soft-ware para el control del sistema	Diseño e impresión de la etiqueta	Fuente de alimentación	6 segundos	Mínimo debe soportar 80kg	Distribución óptima de los sensores en la estructura.						
				Dificultad (0 = Fácil de Lograr, 10 = Extremadamente difícil)	4	8	6	4	8	9	5	4	8	7	8						
				Máximo valor de realción en la columna	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9						
				Peso / Importancia	148.1	142.9	142.9	142.9	83.1	140.3	70.1	105.2	93.5	85.7	70.1						
				Peso Relativo	12.1	11.7	11.7	11.7	6.8	11.5	5.7	8.6	7.6	7.0	5.7						

Análisis Competitivo (0=Peor, 5=Mejor)



Anexo A.2 Iteraciones para el diseño de la viga horizontal doblemente empotrada sometida a una carga uniformemente distribuida (Chasis)



Wcarga	50	kg
Wequipo	20	kg
Wadicional	80	kg
Wtotal	195	kg

F caida	490	N

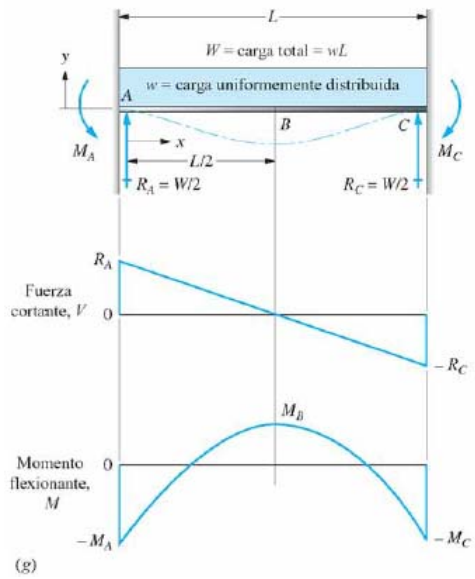
W	2401	N	2.401	KN
w	2.00083333	N / mm	2000.83333	N/m

L	1200	mm	1.2	m	
R	1200.5	N	1.2005	KN	
Ma=Mc	-240100	N mm	-240.1	N m	
Mb	120050	N mm	120.05	N m	
E	207000	N/mm2	207	GPa	Acero

Ancho tuberia	Espesor	Inercia I		Y	Y/L	Precisión	Parte
mm	mm	cm4	mm4	mm		Moderada	General de
20	1.4	0.56	5600	-9.32065217	0.00776721	FALSO	FALSO
	1.5	0.58	5800	-8.99925037	0.00749938	FALSO	FALSO
	1.8	0.66	6600	-7.90843215	0.00659036	FALSO	FALSO
	2	0.7	7000	-7.45652174	0.00621377	FALSO	FALSO
25	1.4	1.16	11600	-4.49962519	0.00374969	FALSO	FALSO
	1.5	1.22	12200	-4.27833215	0.00356528	FALSO	FALSO
	1.8	1.39	13900	-3.75508289	0.00312924	FALSO	FALSO
	2	1.49	14900	-3.5030639	0.00291922	FALSO	VERDADERO
30	1.4	2.08	20800	-2.50940635	0.00209117	FALSO	VERDADERO
	1.5	2.2	22000	-2.37252964	0.00197711	FALSO	VERDADERO
	1.8	2.53	25300	-2.06306926	0.00171922	FALSO	VERDADERO
	2	2.73	27300	-1.91192865	0.00159327	FALSO	VERDADERO
40	1.4	5.18	51800	-1.00763807	0.0008397	FALSO	VERDADERO
	1.5	5.49	54900	-0.95074048	0.00079228	FALSO	VERDADERO
	1.8	6.39	63900	-0.81683337	0.00068069	FALSO	VERDADERO
	2	6.95	69500	-0.75101658	0.00062585	FALSO	VERDADERO
	2.5	8.23	82300	-0.63421206	0.00052851	FALSO	VERDADERO
	3	9.36	93600	-0.55764586	0.0004647	VERDADERO	FALSO
	4	11.18	111800	-0.4668663	0.00038906	VERDADERO	FALSO
50	1.4	10.42	104200	-0.50091797	0.00041743	VERDADERO	FALSO
	1.5	11.07	110700	-0.47150544	0.00039292	VERDADERO	FALSO
	1.8	12.95	129500	-0.40305523	0.00033588	VERDADERO	FALSO
	2	14.15	141500	-0.36887387	0.00030739	VERDADERO	FALSO

El anexo completo se encuentra en el archivo “Cálculos Mecánicos.xlsx”, en la Hoja de Cálculo “Viga H. Distribuida Total”. Revisar el CD adjunto.

Anexo A.3 Iteraciones para el diseño del Recubrimiento de la Bandeja de Pesaje (viga horizontal doblemente empotrada sometida a una carga uniformemente distribuida)



Momentos

$$M_A = M_C = \frac{-WL}{12}$$

$$M_B = \frac{WL}{24}$$

Deflexiones

En el centro B:

$$y_B = y_{máx} = \frac{-WL^3}{384EI}$$

Entre A y C:

$$y = \frac{-wx^2}{24EI}(L - x)^2$$

Wcarga	50	kg
Wequipo	5	kg
Wadicional	30	kg
Wtotal	**85**	**kg**

Dimensiones de la Plancha		
Profundidad	590	mm
Ancho	590	mm

w	1.41	N/mm	1411.86 N/m
W	**833**	**N**	84.94 Kgf
L	590	mm	

Ra	416.5	N	42.47 kgf
Rc	416.5	N	42.47 kgf

Ma=Mc	-40955.83	N mm	-40.96	N m
Mb	20477.92	N mm	20.48	N m

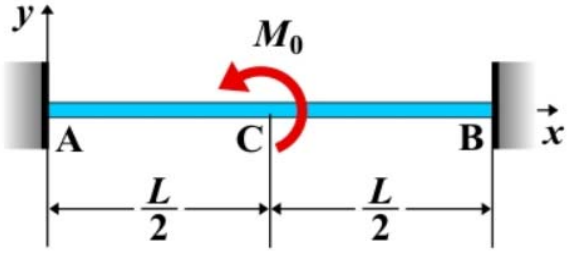
E	207000	N/mm2	207	GPa	Acero ASTM A36

EI	**274.7925**

Espesor (mm)	Inercia (mm4)	Ymax (mm)	Y/L	General	Presicion Moderada
3	1327.5	-1.6213058	0.002747976	VERDADERO	FALSO
4	3146.666667	-0.68398839	0.001159302	VERDADERO	FALSO
5	6145.833333	-0.35020205	0.000593563	VERDADERO	FALSO
6	10620	-0.20266323	0.000343497	FALSO	VERDADERO
7	16864.16667	-0.12762465	0.000216313	FALSO	VERDADERO
8	25173.33333	-0.08549855	0.000144913	FALSO	VERDADERO
9	35842.5	-0.06004836	0.000101777	FALSO	VERDADERO
10	49166.66667	-0.04377526	7.41954E-05	FALSO	VERDADERO
12	84960	-0.0253329	4.29371E-05	FALSO	VERDADERO

El anexo completo se encuentra en el archivo “Cálculos Mecánicos.xlsx”, en la Hoja de Cálculo “Plancha de Acero 590 x 590 empotrada”. Revisar el CD adjunto.

Anexo A.4 Iteraciones para el diseño de la pletina de soporte de la celda de carga



Wcarga	50	kg
Wcelda	22	kg
Wadicional	30	kg
Wtotal	102	kg

Long. Momento	150	mm	longitud de la celda de carga

Ftotal	**499.8**	**N**	
Mo	**74970**	**N mm**	74.97 N m
L viga	120	mm	

RA	937.125	N
RB	-937.125	N

MAC	37485	N mm	37.485	N m
MCB	-37485	N mm	-37.485	N m

VA	937.125	N
VB	937.125	N

E	2.07E+05	N/mm2	Acero ASTM A36

La deflexion máxima se presenta al 1/3 o 2/3 de la viga
x donde Ymax 40

Pletina		Pletina								
Ancho (pulg)	Espesor (pulg)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	I (mm4)	Y ac	Y cb	Y max	Ymax/L	Presicion Moderada	General
1/2	1/8	12.7	3.18	33.87300013	-0.71280747	-2.851229881	2.851229881	0.005940062	FALSO	FALSO
1/2	3/16	12.7	4.76	114.3213754	-0.211202213	-0.844808854	0.844808854	0.001760018	FALSO	VERDADERO
1/2	1/4	12.7	6.35	270.984001	-0.089100934	-0.356403735	0.356403735	0.000742508	FALSO	VERDADERO
3/4	1/8	19.05	3.18	50.8095002	-0.47520498	-1.900819921	1.900819921	0.003960042	FALSO	FALSO
3/4	3/16	19.05	4.76	171.4820632	-0.140801476	-0.563205903	0.563205903	0.001173346	FALSO	VERDADERO
3/4	1/4	19.05	6.35	406.4760016	-0.059400623	-0.23760249	0.23760249	0.000495005	VERDADERO	FALSO
1	1/8	25.4	3.18	67.74600026	-0.356403735	-1.425614941	1.425614941	0.002970031	FALSO	VERDADERO
1	3/16	25.4	4.76	228.6427509	-0.105601107	-0.422404427	0.422404427	0.000880009	FALSO	VERDADERO
1	1/4	25.4	6.35	541.9680021	-0.044550467	-0.178201868	0.178201868	0.000371254	VERDADERO	FALSO
1	3/8	25.4	9.53	1829.142007	-0.013200138	-0.052800553	0.052800553	0.000110001	VERDADERO	FALSO
1	1/2	25.4	12.70	4335.744017	-0.005568808	-0.022275233	0.022275233	4.64067E-05	VERDADERO	FALSO
1 1/4	1/8	31.75	3.18	84.68250033	-0.285122988	-1.140491953	1.140491953	0.002376025	FALSO	VERDADERO
1 1/4	3/16	31.75	4.76	285.8034386	-0.084480885	-0.337923542	0.337923542	0.000704007	FALSO	VERDADERO
1 1/4	1/4	31.75	6.35	677.4600026	-0.035640374	-0.142561494	0.142561494	0.000297003	VERDADERO	FALSO
1 1/4	3/8	31.75	9.53	2286.427509	-0.010560111	-0.042240443	0.042240443	8.80009E-05	VERDADERO	FALSO
1 1/2	1/8	38.1	3.18	101.6190004	-0.23760249	-0.95040996	0.95040996	0.001980021	FALSO	VERDADERO

El anexo completo se encuentra en el archivo “Cálculos Mecánicos.xlsx”, en la Hoja de Cálculo “Pletina Soporte Celda de Carga”. Revisar el CD adjunto.

Anexo A.5 Dimensionamiento de los pernos de sujeción de la Mesa Lateral

Diseño de los Pernos de Sujeción de la Mesa Lateral

W impresora	3	kg	Peso aproximado de la impresora térmica
W computadora	7	kg	Peso aproximado de la computadora
W equipo	**10**	**kg**	

W tuberia	1.68	kg/m	Peso de cada metro de tuberia de cuadrada de acero de 30mm de lado y 2 de espe
L tuberia estructura	4.5	m	Longitud de la tubería cuadrada de acero que forma la mesa lateral de soporte
W tuberia estructura	**7.56**	**kg**	Peso de la estructura de la mesa lateral

8930400	mm3

W pancha 1220x2440 mm	70.1	kg	Peso aproximado de la plancha completa (catálogo)
W plancha completa	7.85E-06	kg/mm3	Peso en kg de un mm3 de la plancha de 3 mm
Vol. Plancha Recubrimiento	763800	mm3	La plancha de recubrimiento usada es de 670 x 380 x 3 mm
W Plancha de Recubrimiento	**6.000**	**kg**	

Wequipo	10.00	kg
Wadicional	20.00	kg
Wtuberia	7.56	kg
Wplancha	6.00	kg
Wtotal	**43.56**	**kg**
Ft	**426.89**	**N**
L	0.45	m

450mm	distancia excentrica		

Vcortante	**426.89**	**N**		
M	**192.0996**	**Nm**	**192100**	**N mm**

F/n	F'a	213.444	N
	F'b	213.444	N

(M ra)/(ra^2 + rb^2)	F''a	960.50	N	ra	100	0.1 m
(M rb)/(ra^2 + rb^2)	F''b	960.50	N	rb	100	0.1 m

Fa	983.93	N	Mayor Esfuerzo
Fb	983.93	N	

τ	Fa/As	(0.577 Sy) / n

n=	2	factor de seguridad	
Sy=	240	Mpa	Perno clase 4.6 M5-M36 acero de bajo o medio carbono

As	D^2 π /4

As=	(Fa n)/(0.577 Sy)	
4 D^2 π	(Fa n)/(0.577 Sy)	
D^2	(4 Fa n)/(0.577 Sy π)	
D	**4.25362**	**mm**

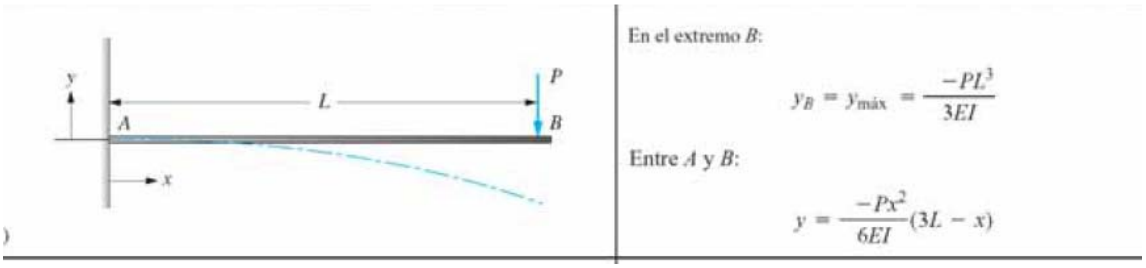
D	5	mm

Tabla 11-7 Especificaciones métricas y resistencias para

Número de clase	Intervalo del tamaño del diám. ext. (mm)	Resistencia de prueba mínima (MPa)	Resistencia a la fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tensión mínima (MPa)	
4.6	M5–M36	225	240	400	baj
4.8	M1.6–M16	310	340	420	baj
5.8	M5–M24	380	420	520	baj
8.8	M3–M36	600	660	830	me
9.8	M1.6–M16	650	720	900	me
10.9	M5–M36	830	940	1 040	ma
12.9	M1.6–M36	970	1 100	1 220	ale

El anexo completo se encuentra en el archivo “Cálculos Mecánicos.xlsx”, en la Hoja de Cálculo “Pernos de Sujeción Lateral”. Revisar el CD adjunto.

Anexo A.6 Iteraciones para el diseño del carro vertical



Wcarga	7	kg
Wequipo	0.7	kg
Wadicional	3.08	kg
Wtotal	10.78	kg

P	**105.644**	**N**

L	400	mm				
M	42257.6	N mm	42.2576	N m		
E	7.00E+04	N/mm2		70000	Mpa	**Elasticidad para aluminio 6061**

Alto viga	Ancho Viga	Espesor	Inercia I		Y	Y/L	Precision Moderada	General
mm	mm	mm	cm4	mm4	mm			
41.5	95	0.7	6.755692125	67556.92125	-0.47657984	0.00119145	FALSO	VERDADERO
41.5	95	0.9	8.758678875	87586.78875	-0.36759273	0.000918982	FALSO	VERDADERO
41.5	95	1	9.77249375	97724.9375	-0.32945804	0.000823645	FALSO	VERDADERO
41.5	95	1.2	11.8249565	118249.565	-0.27227387	0.000680685	FALSO	VERDADERO
41.5	95	1.5	14.96630313	149663.0313	-0.21512505	0.000537813	FALSO	VERDADERO
41.5	**95**	**2**	**20.3714875**	**203714.875**	**-0.15804573**	**0.000395114**	**VERDADERO**	FALSO
41.5	95	2.5	25.99279688	259927.9688	-0.12386611	0.000309665	VERDADERO	FALSO
41.5	95	3	31.83498125	318349.8125	-0.10113487	0.000252837	VERDADERO	FALSO

El anexo completo se encuentra en el archivo “Cálculos Mecánicos.xlsx”, en la Hoja de Cálculo “Carro Vertical Aluminio”. Revisar el CD adjunto.

Anexo A.7 Diseño del Tornillo de Potencia

Diseño del Tornillo de Potencia para mover el Carro Vertical		
Wequipos	0.7	kg
Wmateriales	1	kg
Wextra	0.68	kg
Wtotal	**2.38**	**kg**
F	23.324	N

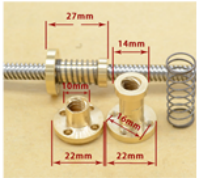
n	4		número de entradas
p	2	mm	paso del tornillo
de	8	mm	diámetro externo
dm	7	mm	diámetro medio
di	6	mm	diámetro interno
dc	16	mm	diámetro medio del collarín
u	0.36		coef. Rozamiento de la tuerca
uc	0.36		coef. Rozamiento del collarín
alfa	14.50	grados	
L (avance)	8	mm	Avance

• Coeficientes de rozamiento estático y cinético

Superficies en contacto	μ_s	μ_k
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre concreto	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25-0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en humanos	0.01	0.003

Fuente: Serway R. A.. *Física*. Editorial McGraw-Hill. (1992)

Name	8mm Acme Leadscrew with
Pitch	2 mm
star	1/ 4
Material	Stainless steel for leadscre



autobloqueante 0.09094568 VERDADERO

$$\mu > \frac{p}{\pi \cdot d_m}$$

CUADRADA

El torque total T_u para levantar la carga con una cuerda cuadrada es, entonces,

$$T_u = T_{u_c} + T_c = \frac{Pd_p}{2}\left(\frac{\pi\mu d_p + L}{\pi d_p - \mu L}\right) + \mu_c P\frac{d_c}{2} \qquad (11.4g)$$

Se puede hacer el mismo análisis para el caso del descenso de la carga, como se muestra en la figura 11-6b. Los signos de la fuerza aplicada y de fricción cambian, en tanto el torque T_d para bajar la carga es

$$T_d = T_{d_c} + T_c = \frac{Pd_p}{2}\left(\frac{\pi\mu d_p - L}{\pi d_p + \mu L}\right) + \mu_c P\frac{d_c}{2} \qquad (11.4h)$$

autobloqueante 0.35219539 VERDADERO

$$\mu \geq \frac{L}{\pi d_p}\cos\alpha$$

ACME

CUERDAS ACME El ángulo radial de una cuerda Acme (o cualquiera otra) introduce un factor adicional en las ecuaciones de torque. La fuerza normal entre el tornillo y la tuerca está ampliada en dos planos, en el ángulo de avance λ, como se muestra en la figura 11-6, y en el ángulo $\alpha = 14.5°$ de la cuerda Acme, como se indica en la figura 11-7. Se hace una deducción similar a la de la cuerda cuadrada para obtener las expresiones para los torques de elevación y descenso

$$T_u = T_{u_c} + T_c = \frac{Pd_p}{2}\left(\frac{\pi\mu d_p + L\cos\alpha}{\pi d_p\cos\alpha - \mu L}\right) + \mu_c P\frac{d_c}{2} \qquad (11.5a)$$

$$T_d = T_{d_c} + T_c = \frac{Pd_p}{2}\left(\frac{\pi\mu d_p - L\cos\alpha}{\pi d_p\cos\alpha + \mu L}\right) + \mu_c P\frac{d_c}{2} \qquad (11.5b)$$

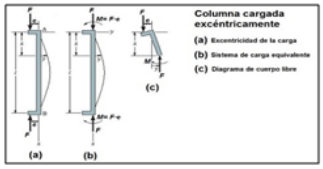
Torque para Elevar la Carga						
Tu	106.1764209	N mm		Tu	106.530496	Nmm
	0.106176421	N m			0.1065305	Nm

T motor 0.39Nm

Torque para Bajar la Carga						
Td	44.62707154	N mm		Td	44.8343083	Nmm
	0.044627072	N m			0.04483431	Nm

ESFUERZO DE COMPRESION			
O=F/A	0.824917754	N/mm2	Mpa
	824917.7539	N/m2	Pa

Peso excentrico	0.7	kg
Fe	6.86	N
e	310	mm



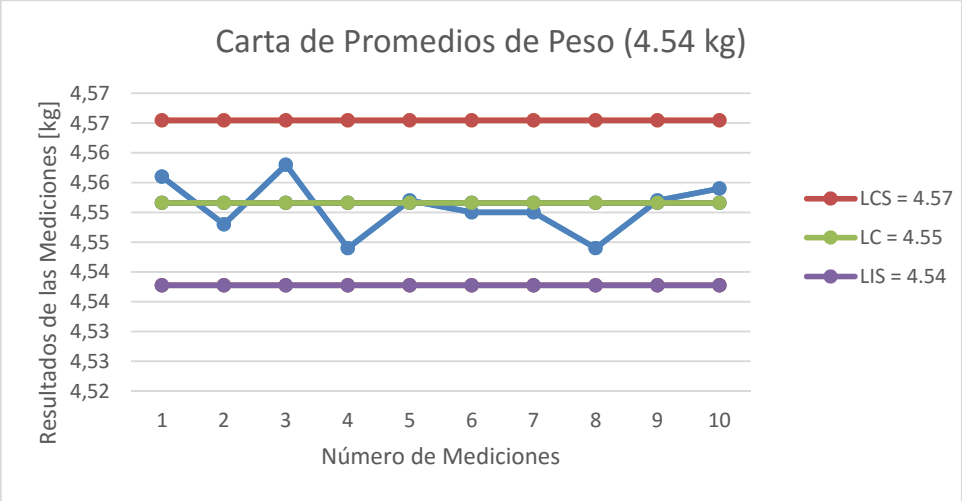
ESFUERZO COMBINADO (Torsión y Compresión) con Carga Excéntrica			
O combinado	101.1090369	N/mm2	Mpa
	101109036.9	N/m2	Pa

$$\sigma_{combinado} = \frac{4\,F_{total}}{\pi \cdot d_i^{\,2}} + \frac{32 \cdot F_{equipos} \cdot e}{\pi \cdot d_i^{\,3}}$$

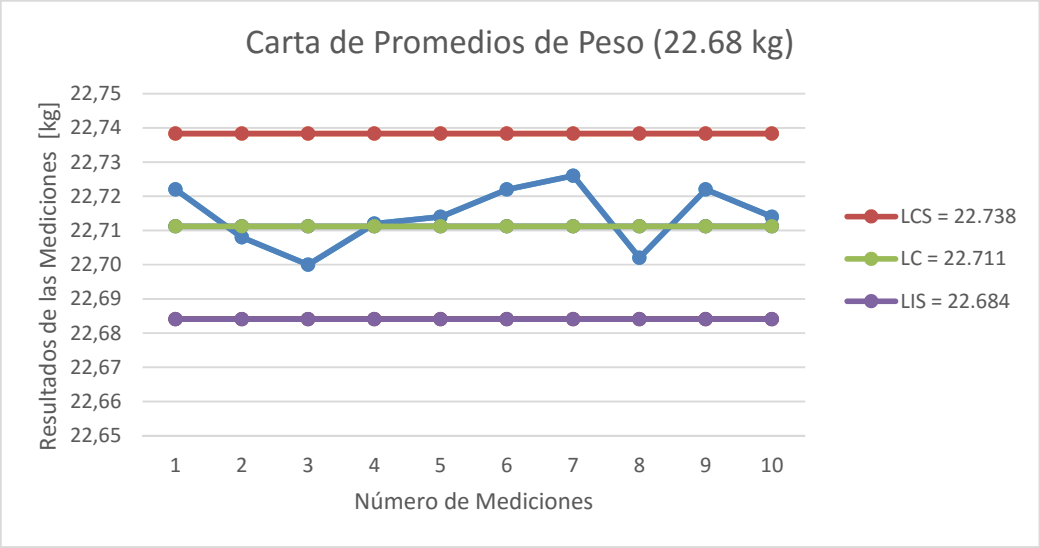
El anexo completo se encuentra en el archivo “Cálculos Mecánicos.xlsx”, en la Hoja de Cálculo “Tornillo de Potencia”. Revisar el CD adjunto.

Anexo A.8 Cartas de Control Mediciones de Peso

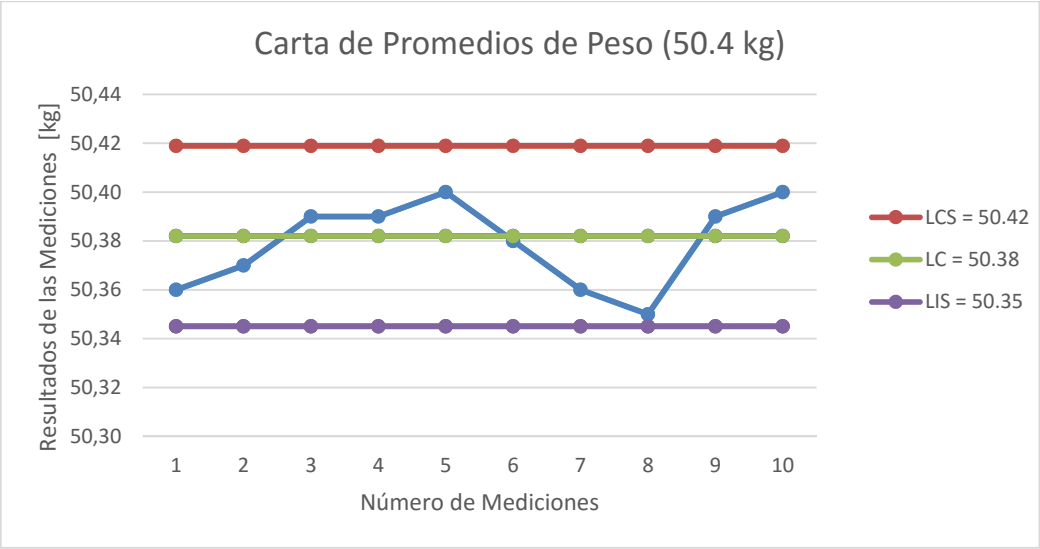
Carta de Control de Promedios de las pruebas con la pesa de10 lb (4.54 kg)



Carta de Control de Promedios de las pruebas con la pesa de 50 lb (22.68 kg)



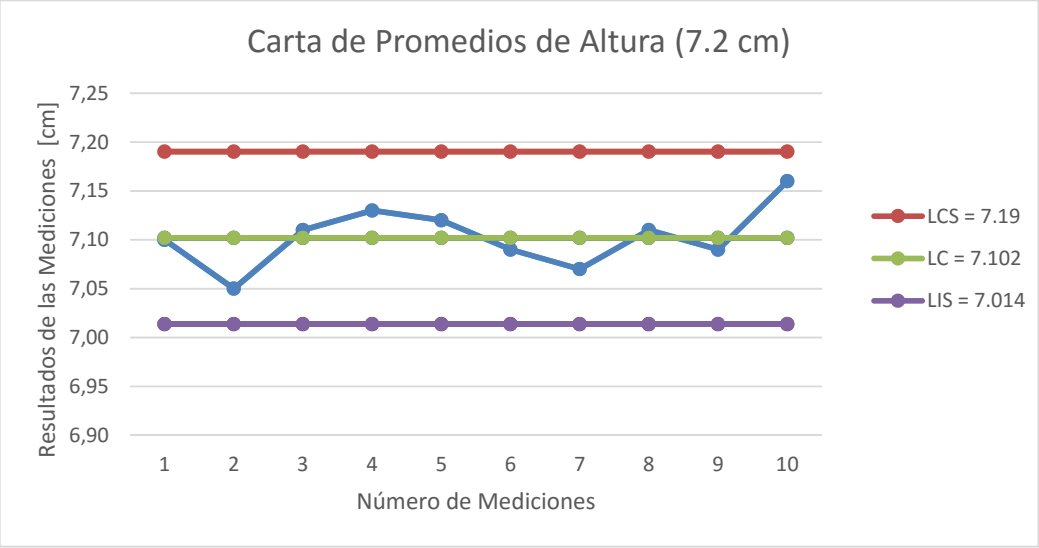
Carta de Control de Promedios de las pruebas con 50.4 kg



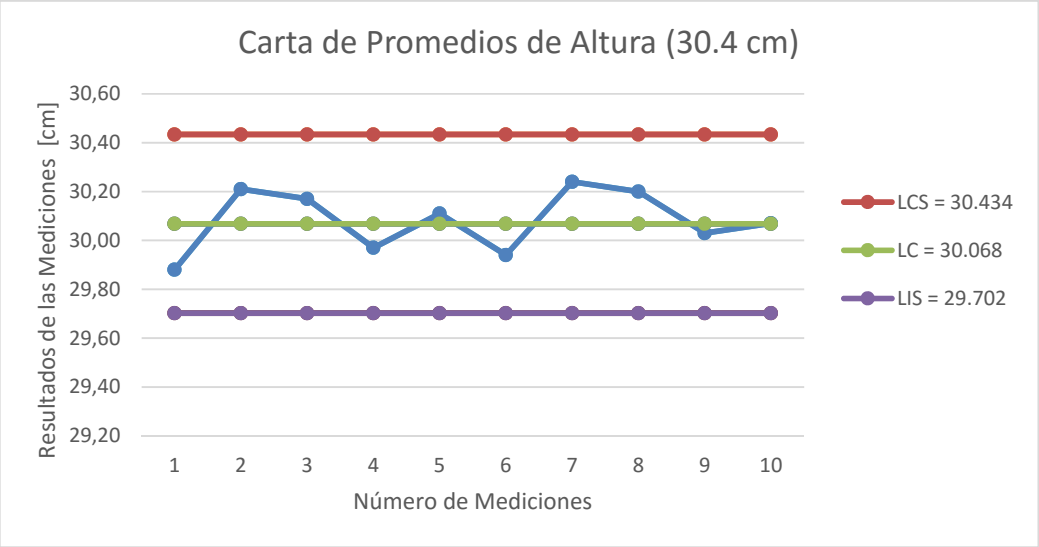
El anexo completo se encuentra en el archivo “Cartas de Control Peso.xlsx”. Revisar el CD adjunto.

Anexo A.9 Cartas de Control Mediciones de Altura

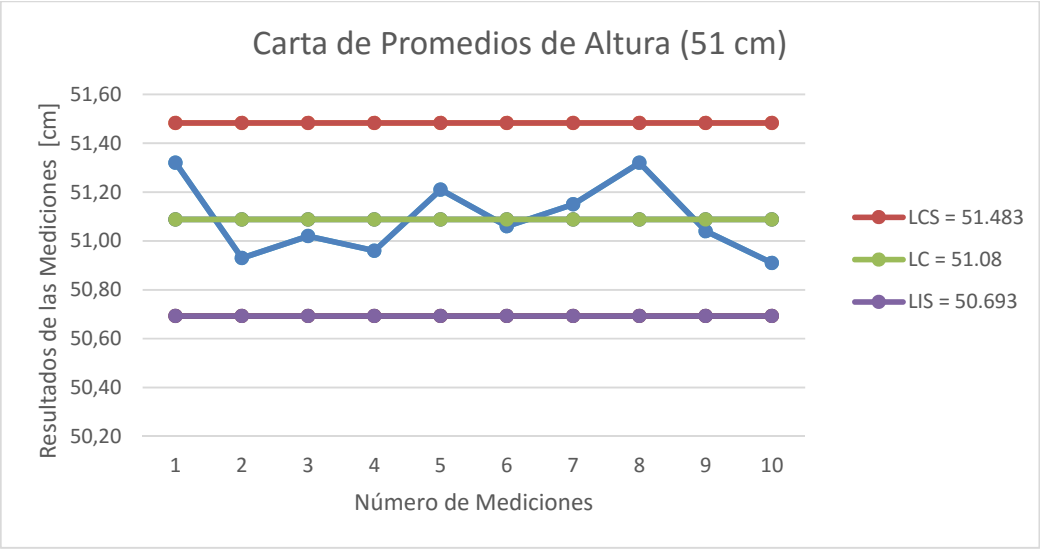
Carta de Control de Promedios de las Mediciones de Altura de 7.2 cm



Carta de Control de Promedios de las mediciones de altura de 30.4 cm

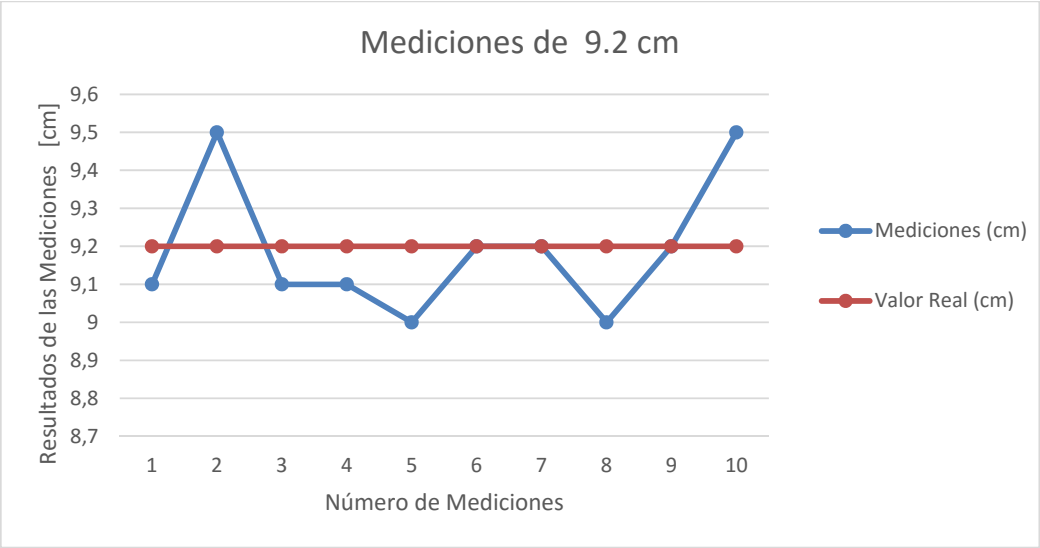


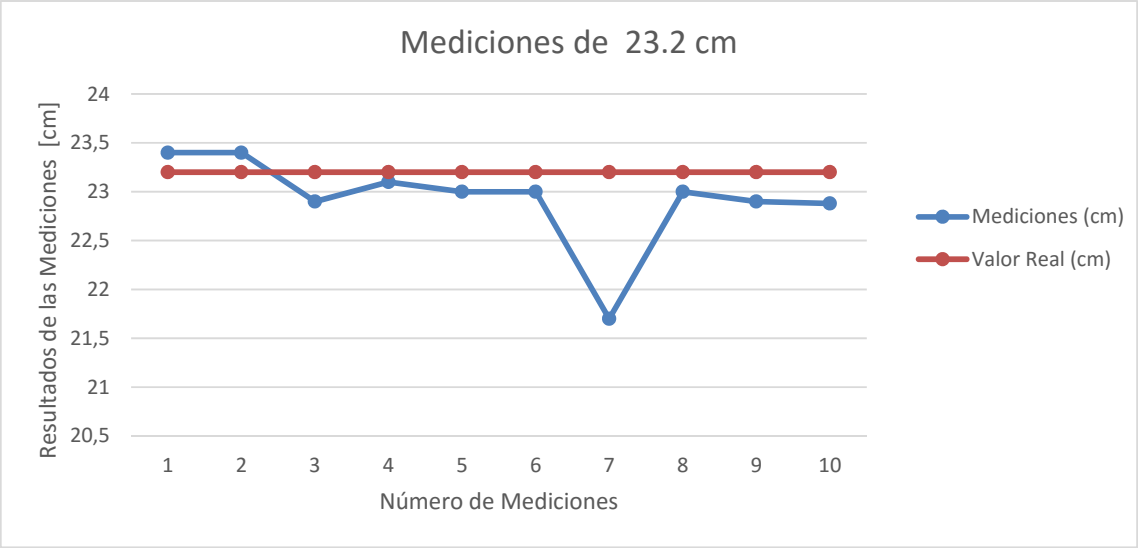
Carta de Control de Promedios de las mediciones de altura de 51 cm

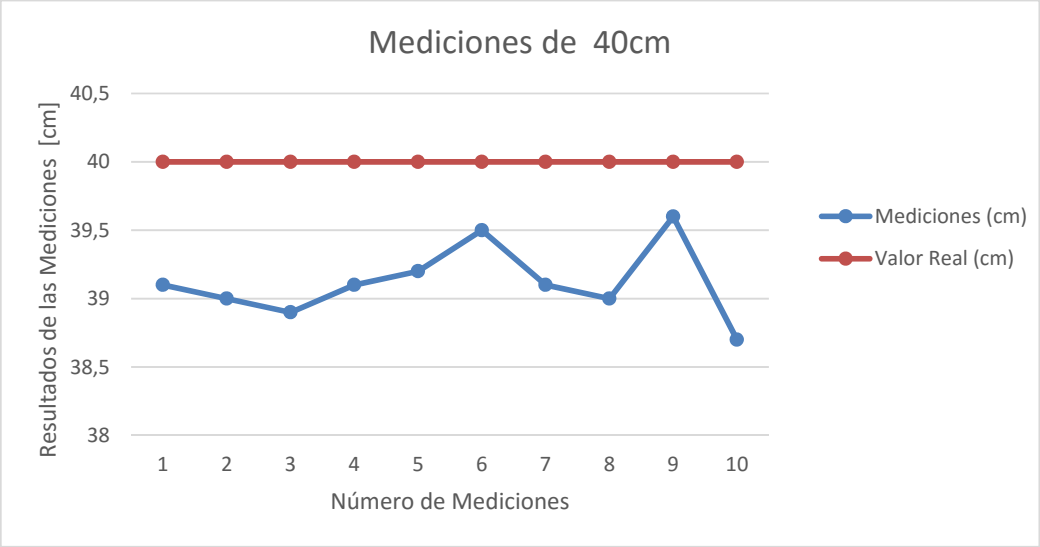


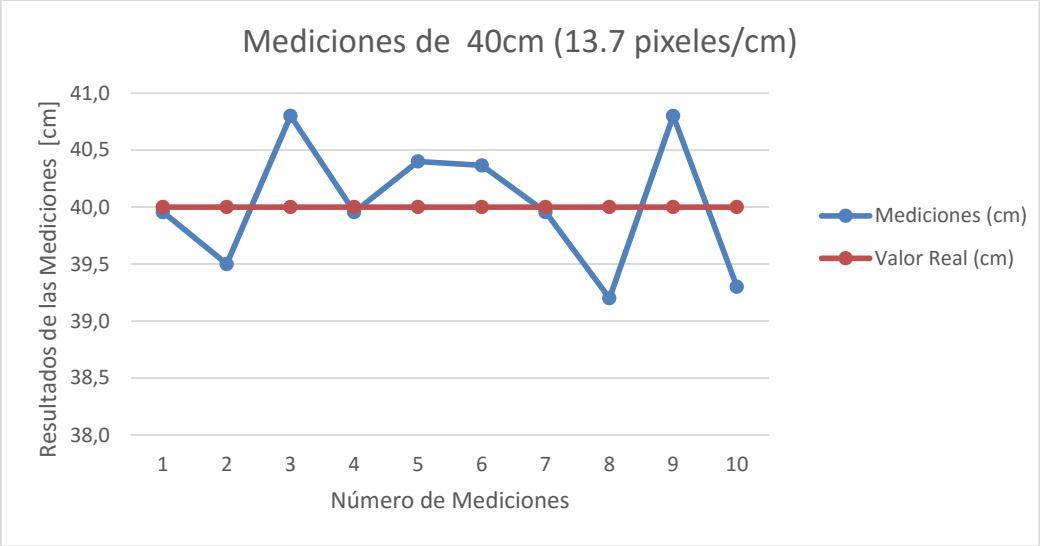
El anexo completo se encuentra en el archivo “Cartas de Control Peso.xlsx”. Revisar el CD adjunto.

Anexo A.10 Mediciones con Visión Artificial









El anexo completo se encuentra en el archivo “Mediciones con VA.xlsx”. Revisar el CD adjunto.

Anexo B Hojas de Datos y Catálogos

Anexo B.1 Catálogo Tubería Estructural Cuadrada / IPAC-Acero

ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO

DESCARGAR ESPECIFICACIONES

Especificaciones:

Largo Normal:	6 metros
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado
Norma de calidad:	ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:	NTE INEN 2415
Espesores:	Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:	Otras dimensiones y largos, previa consulta

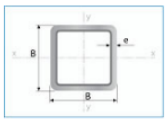
Certificados:

ASTM INTERNATIONAL

INEN

Tubería Estructural Cuadrada

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas Eje x-x = y-y		
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
50	1,40	2,67	2,10	10,42	4,17	1,97
	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
	1,80	3,39	2,66	12,95	5,18	1,96
	2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
	2,50	4,59	3,60	16,96	6,78	1,92
	3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
60	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
70	1,50	4,05	3,18	31,46	8,99	2,79
	1,80	4,83	3,79	37,09	10,60	2,77
	2,00	5,34	4,19	40,73	11,64	2,76
	2,50	6,59	5,17	49,43	14,12	2,74
	3,00	7,81	6,13	57,56	16,45	2,72
	4,00	10,15	7,97	72,22	20,64	2,67
75	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87
90	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94	3,59
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	8,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53
	4,00	13,35	10,48	162,02	36,01	3,48
100	1,80	6,99	5,48	111,62	22,32	4,00
	2,00	7,74	6,07	123,01	24,60	3,99
	2,50	9,59	7,53	150,65	30,13	3,96
	3,00	11,41	8,96	177,08	35,42	3,94
	4,00	14,95	11,73	226,46	45,29	3,89
	5,00	18,36	14,41	271,36	54,27	3,84
	6,00	21,63	16,98	312,00	62,40	3,80

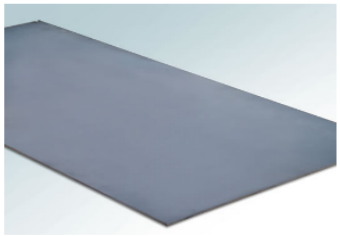


Aplicaciones

- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Agroganadera: maquinaria e implementos industriales, agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: columnas.
- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.

http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=9

Anexo B.2 Catálogo de Planchas Laminadas en Caliente / IPAC-Acero



ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO

DESCARGAR ESPECIFICACIONES

Especificaciones:

Recubrimiento:	Negro
Norma de Fabricación:	NTE INEN 115, ASTM A 6
Norma de Calidad:	ASTM A 570 Gr 36 / ASTM A 36 / ASTM A 283 Gr C / ASTM A 588 Gr A / ASTM A 131 Gr A / ASTM A 516 Gr 70
Observaciones:	Dimensiones y largos especiales, previa consulta.

Certificados:

INEN

Plancha Laminada en Caliente (Estándar)

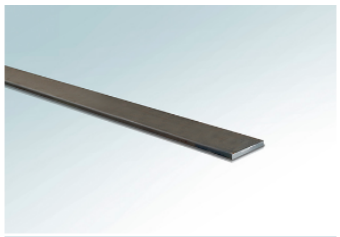
Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1220	2440	1,50	35,05
1220	2440	2,00	46,74
1220	2440	3,00	70,10
1220	2440	4,00	93,47
1220	2440	5,00	116,84
1220	2440	6,00	140,21
1220	2440	8,00	186,94
1220	2440	9,00	210,31
1220	2440	10,00	233,68
1220	2440	12,00	280,41

Aplicaciones

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes).
- Fabricación de tanques.
- Estructuras de puentes.
- Estructuras de barcos.
- Camisas de pilotes.
- Encofrados.
- Placas.
- Contención de tierra.
- Plataformas.
- Calderos.
- Tubería de grandes diámetros.

http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=20

Anexo B.3 Catálogo de Productos Laminados Pletina / IPAC-Acero



ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO

DESCARGAR ESPECIFICACIONES

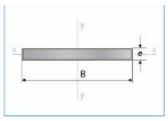
Especificaciones:

Largo Normal:	6 metros
Recubrimiento:	Negro
Espesores:	Desde 3,00 a 12,00 mm
Calidad de acero:	DIN 17100 / ST 37-2 / ASTM A-36
Norma de Fabricación:	INEN 2222 / ISO 1035
Observaciones:	Otras dimensiones y largos previa consulta

Certificados:

Productos Laminados Pletina

Dimensiones	Espesor	Peso
B	e	P
Pulg.	mm	kg/6m
1/2 x 1/8	3,00	1,70
1/2 x 3/16	4,00	2,26
1/2 x 1/4	6,00	3,39
3/4 x 1/8	3,00	2,68
3/4 x 3/16	4,00	3,58
3/4 x 1/4	6,00	5,37
1 x 1/8	3,00	3,53
1 x 3/16	4,00	4,71
1 x 1/4	6,00	7,07
1 x 3/8	9,50	10,59
1 x 1/2	12,00	14,13
1 1/4 x 1/8	3,00	4,24
1 1/4 x 3/16	4,00	5,65
1 1/4 x 1/4	6,00	8,47
1 1/4 x 3/8	9,50	12,71
1 1/2 x 1/8	3,00	5,37
1 1/2 x 3/16	4,00	7,16
1 1/2 x 1/4	6,00	10,74
1 1/2 x 3/8	8,00	16,11
1 1/2 x 1/2	12,00	21,48
2 x 1/8	3,00	7,07
2 x 3/16	4,00	9,50
2 x 1/4	6,00	14,13
2 x 3/8	9,50	21,20
2 x 1/2	12,00	28,26
2 1/2 x 1/4	6,00	18,37
2 1/2 x 3/8	9,50	27,55
2 1/2 x 1/4	6,00	18,37
3 x 1/4	6,00	21,20
3 x 3/8	9,50	31,80



Aplicaciones

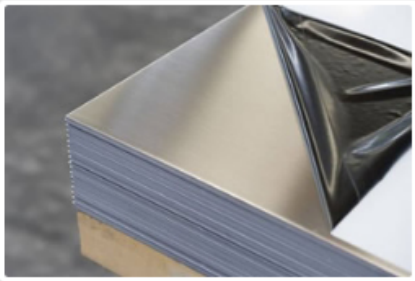
- Somier camas.
- Cerrajería en general (puertas, ventanas, rejas).
- Estructuras en general.
- Muebles metálicos.
- Paquete de resortes (Sistemas de suspensión).

http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=44

Anexo B.4 Catálogo de Planchas de Aluminio Liso / Dismetal

PLANCHAS DE ALUMINIO LISO

Debido a sus características físicas, químicas y mecánicas, lo hacen muy útil en varias ramas de la industria y construcción. Además de ser por su textura, peso y bajo costo, es uno de los materiales más utilizados en la producción alimenticia y acabados de construcción.



CALIDAD: AA110H14 LISA

OTRAS CALIDADES: PREVIA CONSULTA

FORMATO: 1220 x 2440
1000 X 2000

OTROS FORMATOS: PREVIA CONSULTA

ACABADOS: NATURAL

ESPESOR	DIMENSIONES		PESO
mm	ancho mm	largo mm	kg.
0.70	1220	2440	5.61
0.70	1000	2000	3.78
0.90	1220	2440	7.22
0.90	1000	2000	4.86
1.00	1220	2440	8.02
1.00	1000	2000	5.40
1.20	1220	2440	9.62
1.20	1000	2000	6.48
1.50	1220	2440	12.03
1.50	1000	2000	8.10
2.00	1220	2440	16.04
2.00	1000	2000	10.80
2.50	1220	2440	20.05
2.50	1000	2000	13.50
3.00	1220	2440	24.06
3.00	1000	2000	16.20

http://dismetal.ec/productos/planchas/aluminio-liso

Anexo B.5 Características del Acero Inoxidable AISI 304 / Global Metals

GLOBAL METALS www.globalmetals.com.au

STAINLESS STEEL - 304 / 304L

RELATED SPECIFICATIONS:

Germany	304 - W.Nr 1.4301 X5CrNi18-10
	304L - W. Nr. 1.4306 X2CrNi19-11
Great Britain	304 - BS970 Part3 1991 304S31
	304L - BS970 Part3 1991 304S11
Japan	JIS 4303 SUS 304
	JIS 4303 SUS 304L
USA	ASTM 276-986 304
	304 - UNS S30400
	304L - UNS S30403
	SAE 30304
	AISI 304
	AISI 304L

DESCRIPTION:

304 is a general purpose 18/8 stainless steel with good strength and excellent corrosion resistance. Used for food processing, architectural trim, brewing and oil refinery equipment. Subject to pitting and crevice corrosion in warm chloride components. 304L is a low carbon variant of 304 and more suitable for welding.

APPLICATIONS:

Used extensively in food processing equipment, particularly in beer brewing, milk processing and wine making, chemical containers, threaded fasteners and springs.

CHEMICAL ANALYSIS:

304

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	N %
Min.	-	-	-	-	-	18.00	8.00	-
Max.	0.08	1.00	2.00	0.045	0.03	20.00	11.00	0.10

304L

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	N %
Min.	-	-	-	-	-	18.00	8.00	-
Max.	0.03	1.00	2.00	0.045	0.03	20.00	12.00	0.10

MECHANICAL PROPERTIES:

304 (Annealed to ASTM A276)

Finish	Dia or Thickness mm	Tensile Strength MPa Min.	Yield Strength MPa min.	Elongation in 50mm % min.
Hot finish	All	515	205	40
Cold finish	≤12.7	520	310	30
Cold finish	>12.7	515	205	30

SIZES AVAILABLE:

Round bars supplied cold drawn to h9 condition up to 25.4mm, smooth turned and polished up to 127mm and peeled over 12.7mm. Square and Hex bars are cold drawn to h11 tolerance.
Size Range: 5mm-155mm

Anexo B.6 Hoja de Datos Módulo HX711

海芯科技 AVIA Semiconductor

HX711

24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales

DESCRIPTION

Based on Avia Semiconductor's patented technology, HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.

The input multiplexer selects either Channel A or B differential input to the low-noise programmable gain amplifier (PGA). Channel A can be programmed with a gain of 128 or 64, corresponding to a full-scale differential input voltage of ±20mV or ±40mV respectively, when a 5V supply is connected to AVDD analog power supply pin. Channel B has a fixed gain of 32. On-chip power supply regulator eliminates the need for an external supply regulator to provide analog power for the ADC and the sensor. Clock input is flexible. It can be from an external clock source, a crystal, or the on-chip oscillator that does not require any external component. On-chip power-on-reset circuitry simplifies digital interface initialization.

There is no programming needed for the internal registers. All controls to the HX711 are through the pins.

FEATURES

- Two selectable differential input channels
- On-chip active low noise PGA with selectable gain of 32, 64 and 128
- On-chip power supply regulator for load-cell and ADC analog power supply
- On-chip oscillator requiring no external component with optional external crystal
- On-chip power-on-reset
- Simple digital control and serial interface: pin-driven controls, no programming needed
- Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Current consumption including on-chip analog power supply regulator: normal operation < 1.5mA, power down < 1uA
- Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V
- Operation temperature range: -40 ~ +85℃
- 16 pin SOP-16 package

APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Industrial Process Control

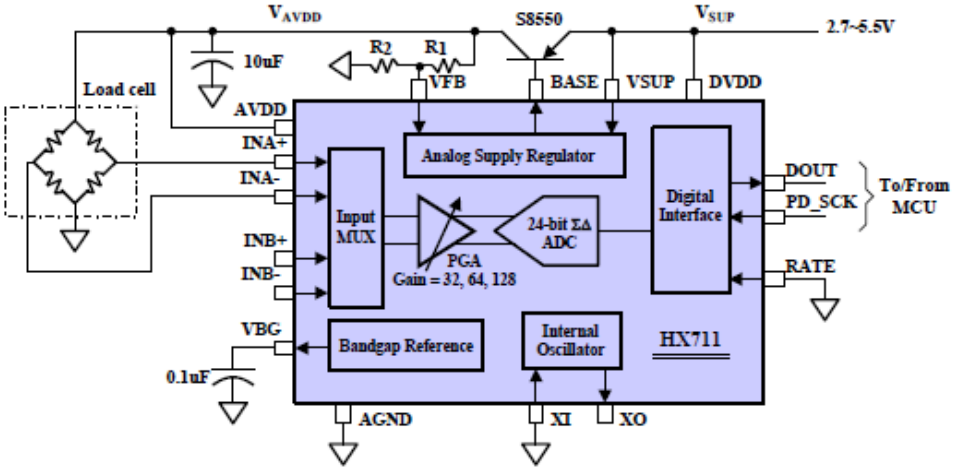
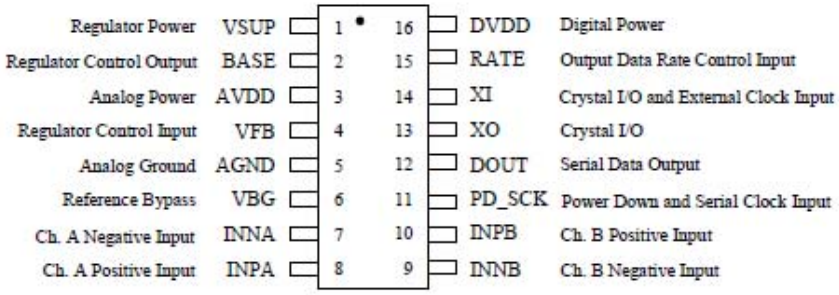


Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram

Pin Description



SOP-16L Package

Pin #	Name	Function	Description
1	VSUP	Power	Regulator supply: 2.7 ~ 5.5V
2	BASE	Analog Output	Regulator control output（NC when not used）
3	AVDD	Power	Analog supply: 2.6 ~ 5.5V
4	VFB	Analog Input	Regulator control input（connect to AGND when not used）
5	AGND	Ground	Analog Ground
6	VBG	Analog Output	Reference bypass output
7	INA-	Analog Input	Channel A negative input
8	INA+	Analog Input	Channel A positive input
9	INB-	Analog Input	Channel B negative input
10	INB+	Analog Input	Channel B positive input
11	PD_SCK	Digital Input	Power down control (high active) and serial clock input
12	DOUT	Digital Output	Serial data output
13	XO	Digital I/O	Crystal I/O (NC when not used）
14	XI	Digital Input	Crystal I/O or external clock input, 0: use on-chip oscillator
15	RATE	Digital Input	Output data rate control, 0: 10Hz; 1: 80Hz
16	DVDD	Power	Digital supply: 2.6 ~ 5.5V

Table 1 Pin Description

KEY ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Parameter	Notes	MIN	TYP	MAX	UNIT
Full scale differential input range	V(inp)-V(inn)		±0.5(AVDD/GAIN)		V
Common mode input		AGND+1.2		AVDD-1.3	V
Output data rate	Internal Oscillator, RATE = 0		10		Hz
	Internal Oscillator, RATE = DVDD		80		
	Crystal or external clock, RATE = 0		f_{clk}/1,105,920		
	Crystal or external clock, RATE = DVDD		f_{clk}/138,240		
Output data coding	2's complement	800000		7FFFFF	HEX
Output settling time (1)	RATE = 0		400		ms
	RATE = DVDD		50		
Input offset drift	Gain = 128		0.2		mV
	Gain = 64		0.4		
Input noise	Gain = 128， RATE = 0		50		nV(rms)
	Gain = 128， RATE = DVDD		90		
Temperature drift	Input offset（Gain = 128）		±6		nV/℃
	Gain（Gain = 128）		±5		ppm/℃
Input common mode rejection	Gain = 128， RATE = 0		100		dB
Power supply rejection	Gain = 128， RATE = 0		100		dB
Reference bypass（V_{BG}）			1.25		V
Crystal or external clock frequency		1	11.0592	20	MHz
Power supply voltage	DVDD	2.6		5.5	V
	AVDD，VSUP	2.6		5.5	
Analog supply current (including regulator)	Normal		1400		μA
	Power down		0.3		
Digital supply current	Normal		100		μA
	Power down		0.2		

（1）Settling time refers to the time from power up, reset, input channel change and gain change to valid stable output data.

Table 2 Key Electrical Characteristics

Analog Inputs

Channel A differential input is designed to interface directly with a bridge sensor's differential output. It can be programmed with a gain of 128 or 64. The large gains are needed to accommodate the small output signal from the sensor. When 5V supply is used at the AVDD pin, these gains correspond to a full-scale differential input voltage of ±20mV or ±40mV respectively.

Channel B differential input has a fixed gain of 32. The full-scale input voltage range is ±80mV, when 5V supply is used at the AVDD pin.

Power Supply Options

Digital power supply (DVDD) should be the same power supply as the MCU power supply.

When using internal analog supply regulator, the dropout voltage of the regulator depends on the external transistor used. The output voltage is equal to $V_{AVDD}=V_{BG}*(R1+R2)/ R1$ (Fig. 1). This voltage should be designed with a minimum of 100mV below VSUP voltage.

If the on-chip analog supply regulator is not used, the VSUP pin should be connected to either AVDD or DVDD, depending on which voltage is higher. Pin VFB should be connected to Ground and pin BASE becomes NC. The external 0.1uF bypass capacitor shown on Fig. 1 at the VBG output pin is then not needed.

Clock Source Options

By connecting pin XI to Ground, the on-chip oscillator is activated. The nominal output data rate when using the internal oscillator is 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

If accurate output data rate is needed, crystal or external reference clock can be used. A crystal can be directly connected across XI and XO pins. An external clock can be connected to XI pin, through a 20pF ac coupled capacitor. This external clock is not required to be a square wave. It can come directly from the crystal output pin of the MCU chip, with amplitude as low as 150 mV.

When using a crystal or an external clock, the internal oscillator is automatically powered down.

Output Data Rate and Format

When using the on-chip oscillator, output data rate is typically 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

When using external clock or crystal, output data rate is directly proportional to the clock or crystal frequency. Using 11.0592MHz clock or crystal results in an accurate 10 (RTE=0) or 80SPS (RATE=1) output data rate.

The output 24 bits of data is in 2's complement format. When input differential signal goes out of the 24 bit range, the output data will be saturated at 800000h (MIN) or 7FFFFFh (MAX), until the input signal comes back to the input range.

Serial Interface

Pin PD_SCK and DOUT are used for data retrieval, input selection, gain selection and power down controls.

When output data is not ready for retrieval, digital output pin DOUT is high. Serial clock input PD_SCK should be low. When DOUT goes to low, it indicates data is ready for retrieval. By applying 25~27 positive clock pulses at the PD_SCK pin, data is shifted out from the DOUT output pin. Each PD_SCK pulse shifts out one bit, starting with the MSB bit first, until all 24 bits are shifted out. The 25th pulse at PD_SCK input will pull DOUT pin back to high (Fig.2).

Input and gain selection is controlled by the number of the input PD_SCK pulses (Table 3). PD_SCK clock pulses should not be less than 25 or more than 27 within one conversion period, to avoid causing serial communication error.

PD_SCK Pulses	Input channel	Gain
25	A	128
26	B	32
27	A	64

Table 3 Input Channel and Gain Selection

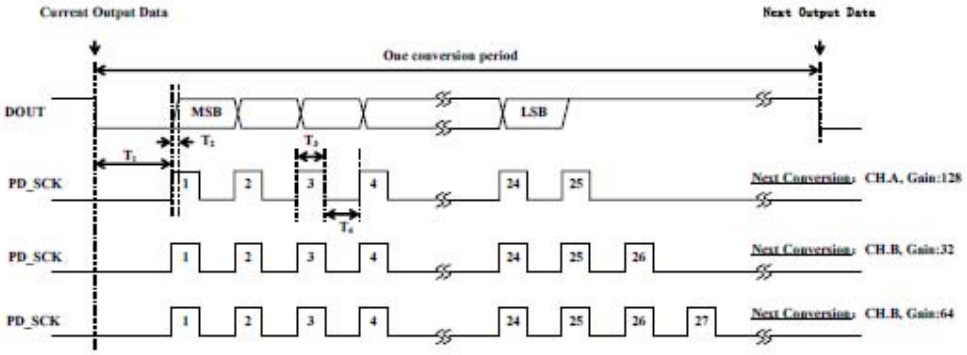


Fig.2 Data output, input and gain selection timing and control

Symbol	Note	MIN	TYP	MAX	Unit
T_1	DOUT falling edge to PD_SCK rising edge	0.1			μs
T_2	PD_SCK rising edge to DOUT data ready			0.1	μs
T_3	PD_SCK high time	0.2	1	50	μs
T_4	PD_SCK low time	0.2	1		μs

Reset and Power-Down

When chip is powered up, on-chip power on rest circuitry will reset the chip.

Pin PD_SCK input is used to power down the HX711. When PD_SCK Input is low, chip is in normal working mode.

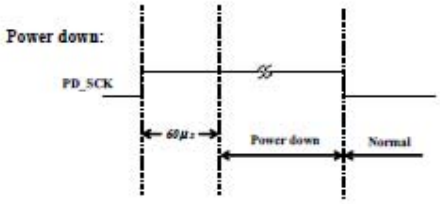


Fig.3 Power down control

When PD_SCK pin changes from low to high and stays at high for longer than 60μs, HX711 enters power down mode (Fig.3). When internal regulator is used for HX711 and the external transducer, both HX711 and the transducer will be powered down. When PD_SCK returns to low, chip will reset and enter normal operation mode.

After a reset or power-down event, input selection is default to Channel A with a gain of 128.

Application Example

Fig.1 is a typical weigh scale application using HX711. It uses on-chip oscillator (XI=0), 10Hz output data rate (RATE=0). A Single power supply（2.7～5.5V）comes directly from MCU power supply. Channel B can be used for battery level detection. The related circuitry is not shown on Fig. 1.

Reference PCB Board (Single Layer)

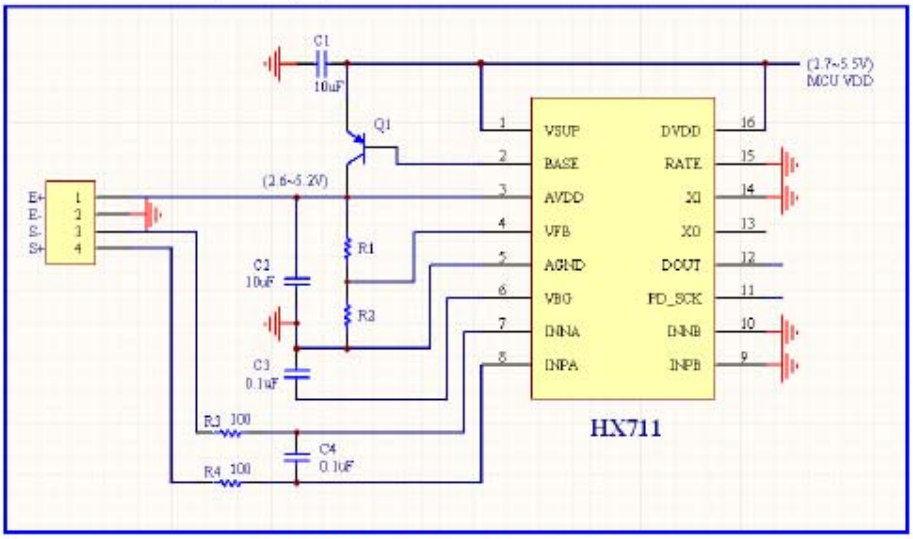


Fig.4 Reference PCB board schematic

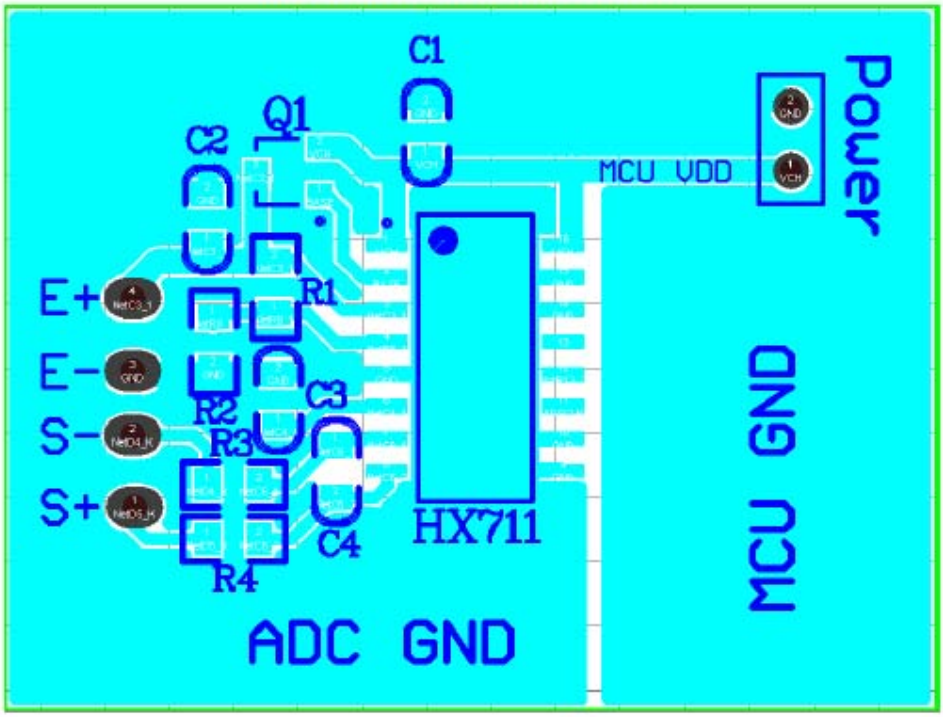
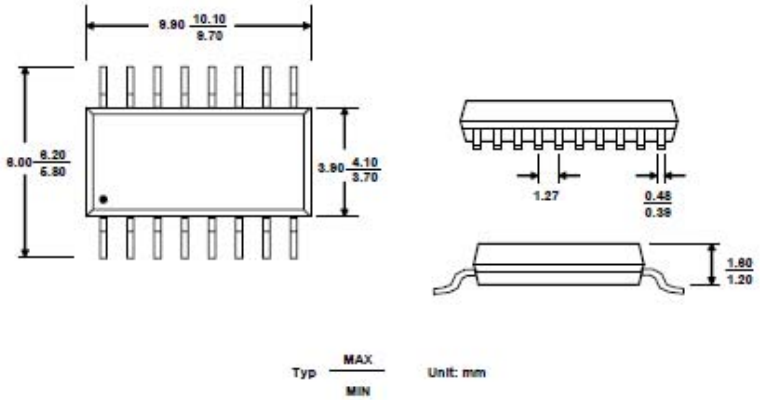


Fig.5 Reference PCB board layout

Package Dimensions



SOP-16L Package

Anexo B.7 Hoja de Datos Celda de Carga 200 kg

200kg Electronic Scale Load Cell Pressure Balanced Cantilever Load Weigh Sensor

Specification:

- Brand new
- Comprehensive error: 0.02% F.S
- Sensitivity: 1.0 0.1mv / v
- Nonlinearity: 0.02% F.S
- Hysteresis: 0.02% F.S
- Importance of: 0.02% F.S
- Creep: 0.02% F.S/10min
- 0:00 Output: 2% F.S
- Input Impedance: 405 10
- Output impedance: 350 3
- Insulation resistance: 5000M (100VDC)
- Excitation voltage: 5VDC ~ 12VDC
- Temperature compensation range: 10 ~ +40
- Operating temperature range: -20 ~ +60
- Temperature effect on zero 0.03% F.S/10
- Temmp.effect 0.02% F.S/10
- Safe overload 120%
- Ultimate Overload 150%
- Protection class IP65
- Size: approx. 15*3.8*2.4cm
- Wiring: Black Power + , white Power - Red Signal + green signal -

Use Special Note:

- The sensor is a precision parts, severe vibration, fall, collision, overload, overvoltage, etc., are very likely to cause permanent damage to the sensor or affect the accuracy and linearity, if you do not necessarily understand the parts, please buy carefully.

After all, the resistance and capacitance transistors and other components compared to other electronic components to be more fragile .

- Resistance strain gauge pressure sensorMainly by the elastic body, the resistance strain gauge cable and other components , the internal circuit using Huygens bridge, when the elastic body is deformed under load ,
- Resistance strain gauge (conversion element) film subjected to tensile or compressive strain deformation, its resistance will change (increase or decrease), so that the bridge out of balance, a corresponding differential signal for subsequent measurement circuit and handling.

Dimensions:

Anexo B.8 Hoja de Datos Sensor Ultrasónico

Water proof Integrated Ultrasonic Ranging Module- JSN-B02

There are many ultrasonic ranger module on the market, but sometimes, these kind of sensor needs to work in conditions more than the Lab. This water proof ultrasonic sensor meets this requirement. It has a good performance and almost the same usage of HC-S04 module. Compares to the SR04T module, this module is more easy to install and waterproofing.

Features

- small size, easy to use
- low voltage, low power consumption
- high accuracy
- strong anti-jamming
- integrated with wire enclosed waterproof probe, suitable for wet, harsh measurement occasions

Specification

- Working voltage: DC 5V
- Static working current: 5mA
- Working current: 30mA
- Acoustic emission frequency:40KHz
- Wiring:+5V(positive); Trig(control); Echo(receive); GND(cathode);

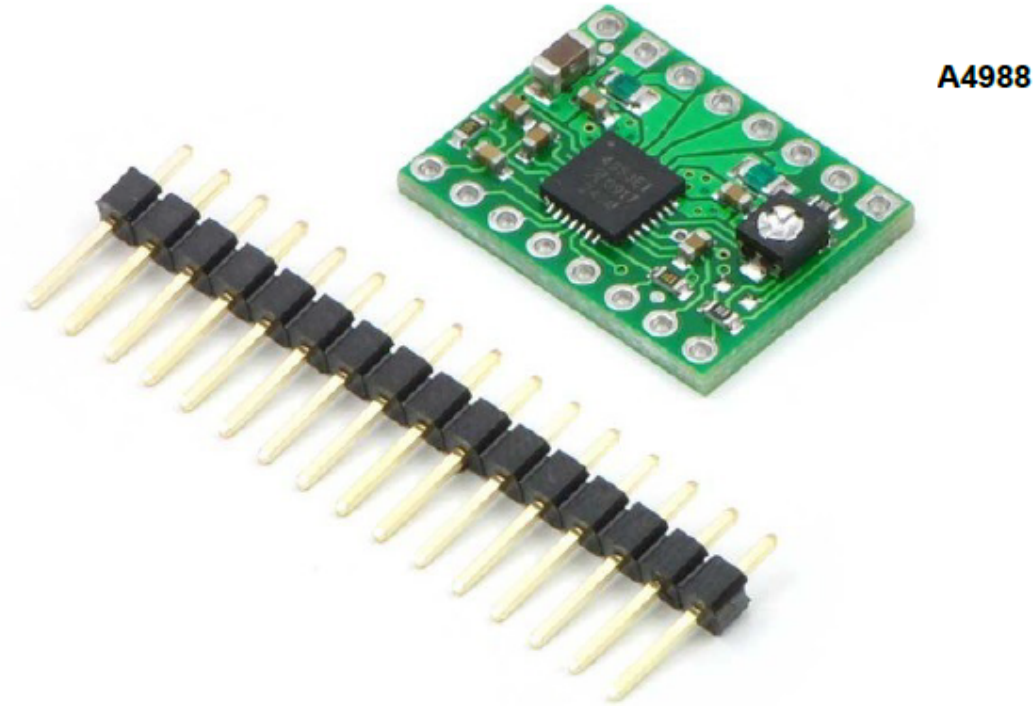
Application

- Horizontal distance messurement
- Obstacle avoidance, automatic control
- Traffic control
- Security, industrial control

Anexo B.9 Hoja de Datos Módulo A4988

RB-Pol-176

Pololu 8-35V 2A Single Bipolar Stepper Motor Driver A4988



Stepper Motor Driver Carrier

The A4988 stepper motor driver carrier is a breakout board for Allegro's easy-to-use A4988 microstepping bipolar stepper motor driver and is a drop-in replacement for the A4983 stepper motor driver carrier. The driver features adjustable current limiting, overcurrent protection, and five different microstep resolutions. It operates from 8 – 35 V and can deliver up to 2 A per coil.

Note: This board is a drop-in replacement for the original A4983 stepper motor driver carrier. The newer A4988 offers overcurrent protection and has an internal 100k pull-down on the MS1 microstep selection pin, but it is otherwise virtually identical to the A4983.

Description

Overview

This product is a carrier board or breakout board for Allegro's A4988 DMOS Microstepping Driver with Translator and Overcurrent Protection; we therefore recommend careful reading of the A4988 datasheet (380k pdf) before using this product. This stepper motor driver lets you control one bipolar stepper motor at up to 2 A output current per coil (see the Power Dissipation Considerations section below for more information). Here are some of the driver's key features:

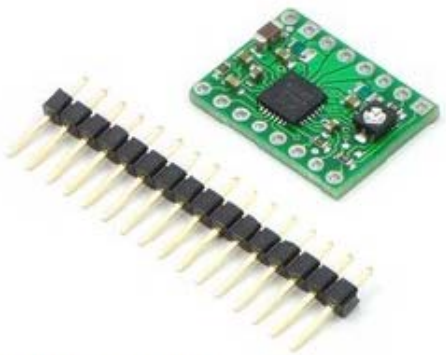
- •Simple step and direction control interface
- •Five different step resolutions: full-step, half-step, quarter-step, eighth-step, and sixteenth-step
- •Adjustable current control lets you set the maximum current output with a potentiometer, which lets you use voltages above your stepper motor's rated voltage to achieve higher step rates
- •Intelligent chopping control that automatically selects the correct current decay mode (fast decay or slow decay)
- •Over-temperature thermal shutdown, under-voltage lockout, and crossover-current protection
- •Short-to-ground and shorted-load protection (this feature is not available on the A4983)

Like nearly all our other carrier boards, this product ships with all surface-mount components —including the A4988 driver IC—installed as shown in the product picture.

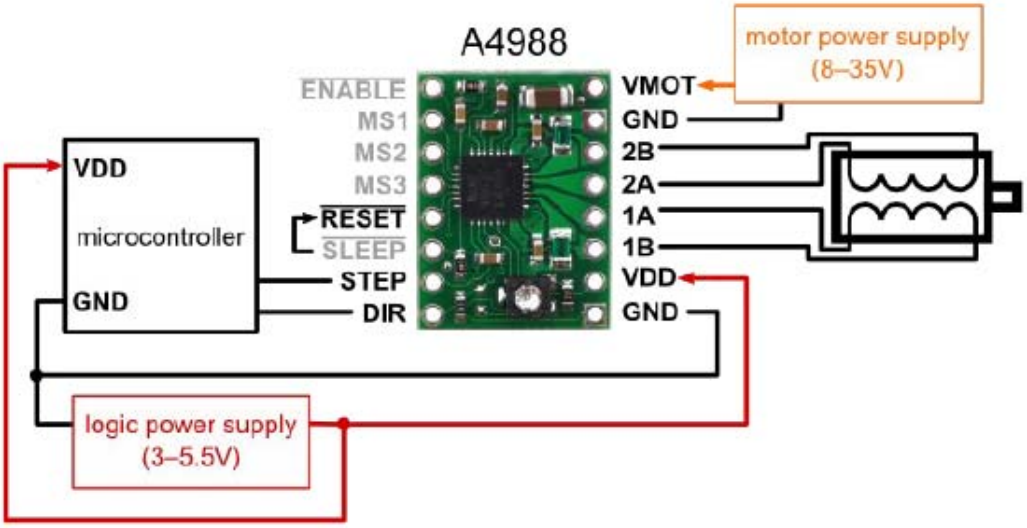
We also sell a larger version of the A4988 carrier that has reverse power protection on the main power input and built-in 5 V and 3.3 V voltage regulators that eliminate the need for separate logic and motor supplies.

Included hardware

The A4988 stepper motor driver carrier comes with one 1×16-pin breakaway 0.1" male header. The headers can be soldered in for use with solderless breadboards or 0.1" female connectors. You can also solder your motor leads and other connections directly to the board.



Using the driver



Minimal wiring diagram for connecting a microcontroller to an A4988 stepper motor driver carrier (full-step mode).

Power connections

The driver requires a logic supply voltage (3 – 5.5 V) to be connected across the VDD and GND pins and a motor supply voltage of (8 – 35 V) to be connected across VMOT and GND. These supplies should have appropriate decoupling capacitors close to the board, and they should be capable of delivering the expected currents (peaks up to 4 A for the motor supply).

Motor connections

Four, six, and eight-wire stepper motors can be driven by the A4988 if they are properly connected; a FAQ answer explains the proper wirings in detail.
Warning: Connecting or disconnecting a stepper motor while the driver is powered can destroy the driver. (More generally, rewiring anything while it is powered is asking for trouble.)

Warning: Connecting or disconnecting a stepper motor while the driver is powered can destroy the driver. (More generally, rewiring anything while it is powered is asking for trouble.)

Step (and microstep) size

Stepper motors typically have a step size specification (e.g. 1.8° or 200 steps per revolution), which applies to full steps. A microstepping driver such as the A4988 allows higher resolutions by allowing intermediate step locations, which are achieved by energizing the coils with intermediate current levels. For instance, driving a motor in quarter-step mode will give the 200-step-per-revolution motor 800 microsteps per revolution by using four different current levels.

The resolution (step size) selector inputs (MS1, MS2, MS3) enable selection from the five step resolutions according to the table below. MS1 and MS3 have internal 100kΩ pull-down resistors and MS2 has an internal 50kΩ pull-down resistor, so leaving these three microstep selection pins disconnected results in full-step mode. For the microstep modes to function correctly, the current limit must be set low enough (see below) so that current limiting gets engaged. Otherwise, the intermediate current levels will not be correctly maintained, and the motor will effectively operate in a full-step mode.

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	Quarter step
High	High	Low	Eighth step
High	High	High	Sixteenth step

Control inputs

Each pulse to the STEP input corresponds to one microstep of the stepper motor in the direction selected by the DIR pin. Note that the STEP and DIR pins are not pulled to any particular voltage internally, so you should not leave either of these pins floating in your application. If you just want rotation in a single direction, you can tie DIR directly to VCC or

GND. The chip has three different inputs for controlling its many power states: RST, SLP, and EN. For details about these power states, see the datasheet. Please note that the RST pin is floating; if you are not using the pin, you can connect it to the adjacent SLP pin on the PCB.

Current limiting

To achieve high step rates, the motor supply is typically much higher than would be permissible without active current limiting. For instance, a typical stepper motor might have a maximum current rating of 1 A with a 5Ω coil resistance, which would indicate a maximum motor supply of 5 V. Using such a motor with 12 V would allow higher step rates, but the current must actively be limited to under 1 A to prevent damage to the motor.

The A4988 supports such active current limiting, and the trimmer potentiometer on the board can be used to set the current limit. One way to set the current limit is to put the driver into full-step mode and to measure the current running through a single motor coil without clocking the STEP input. The measured current will be 0.7 times the current limit (since both coils are always on and limited to 70% in full-step mode). Please note that the current limit is dependent on the Vdd voltage.

Another way to set the current limit is to measure the voltage on the "ref" pin and to calculate the resulting current limit (the current sense resistors are 0.05Ω). The ref pin voltage is accessible on a via that is circled on the bottom silkscreen of the circuit board. See the A4988 datasheet for more information.

Power dissipation considerations

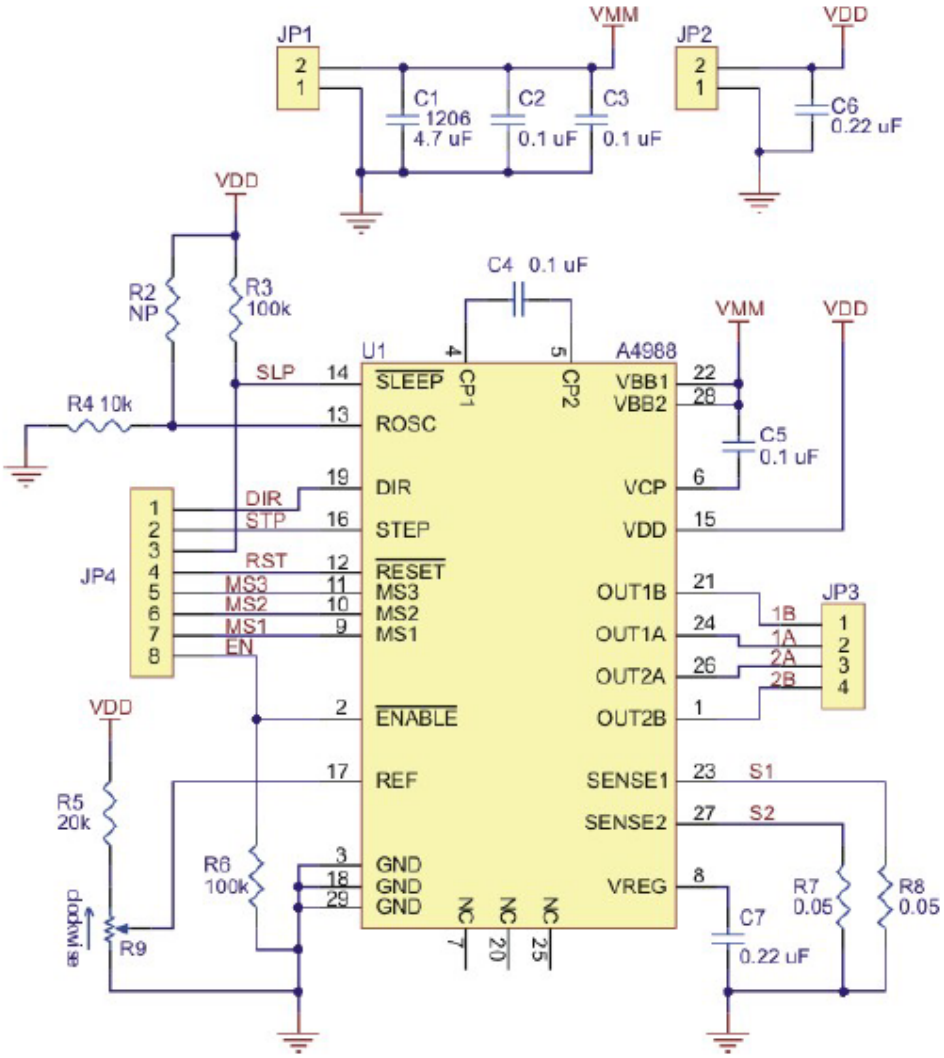
The A4988 driver IC has a maximum current rating of 2 A per coil, but the actual current you can deliver depends on how well you can keep the IC cool. The carrier's printed circuit board is designed to draw heat out of the IC, but to supply more than approximately 1 A per coil, a heat sink or other cooling method is required.

This product can get hot enough to burn you long before the chip overheats. Take care when handling this product and other components connected to it.

Please note that measuring the current draw at the power supply does not necessarily provide an accurate measure of the coil current. Since the input voltage to the driver can be significantly higher than the coil voltage, the measured current on the power supply can be quite a bit lower than the coil current (the driver and coil basically act like a switching step-down power supply). Also, if the supply voltage is very high compared to what the motor needs to achieve the set current, the duty cycle will be very low, which also leads to significant differences between average and RMS currents.

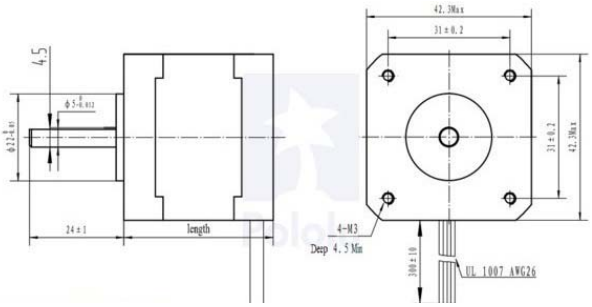
Schematic diagram

Schematic diagram of the md09b A4988 stepper motor driver carrier.



Anexo B.10 Hoja de Datos Motor Paso a Paso

Unipolar/Bipolar, 200 Steps/Rev, 42×48mm, 4V, 1.2 A/Phase



This hybrid stepping motor has a 1.8° step angle (200 steps/revolution). Each phase draws 1.2 A at 4 V, allowing for a holding torque of 3.2 kg-cm (44 oz-in). The motor has six color-coded wires terminated with bare leads that allow it to be controlled by both unipolar and bipolar stepper motor drivers. When used with a unipolar stepper motor driver, all six leads are used. When used with a bipolar stepper motor driver, the center-tap yellow and white wires can be left disconnected (the red-blue pair gives access to one coil and the black-green pair gives access to the other coil). We recommend using it as a bipolar stepper motor.

Dimensions

Size:	42.3 mm square × 48 mm (NEMA 17)[1]
NEMA size:	17
Weight:	350 g
Shaft diameter:	5 mm

General specifications

Shaft type:	5 mm "D"
Current rating:	1200 mA[2]
Voltage rating:	4 V
Holding torque:	44 oz·in
Steps per revolution:	200
Resistance:	3.3 Ohm[2]
Inductance per phase:	2.8 mH
Number of leads:	6
Lead length:	30 cm

Anexo B.11 Hoja de Datos Fuente Altek Modelo: PX-500W

Acteck www.acteck.com Work IT Move IT Live IT Link IT Play IT Equip IT

Ficha Técnica

Fuente de Poder

Fuente 500W, Micro ATX, 20+4 pines, 2 SATA

Power Supply 500W, Micro ATX, 20+4 pines, 2 SATA

Especificaciones Comerciales

- Más poder, menos espacio
- Para gabinetes compactos (Micro ATX)
- 500watts, 2 S-ATA (energía)
- Eficiente sistema de ventilación

Especificación principal

- Micro ATX
- Bajo nivel de ruido
- Sistema de ventilación
- Buena distribución del cableado
- Descripción de conectores: (1) 20+4 pines, (1) 12V 4 pines, (2) SATA (energía), (1) floppy, (2) molex,

Especificaciones de usabilidad

Commercial specifications

- More power, less space
- For slim PC cases (Micro ATX)
- 500w, 2 S-ATA (power)
- Efficient cooling system

Main feature

- Micro ATX
- Low noise level
- Ventilation System
- Efficient cable distribution
- Connector description: (1) 20+4 pins, (1) 12V 4 pins, (2) SATA (power), (1) floppy, (2) molex,

Usability specifications

Work IT

Característica del producto

Una fuente con máximo poder en mínimo espacio. La fuente de poder Blazar fue especialmente creada para abastecer a gabinetes compactos, como el Bern, Berlín y Kendal de Acteck, con lo que podrás conformar tu equipo de cómputo ideal en menos espacio y con mayor estilo.

La fuente Blazar es compatible con tarjetas Micro ATX y tiene todos los conectores que necesitas para ensamblar una PC poderosa y completa.

Su sistema de ventilación mantiene una temperatura óptima para aumentar la estabilidad del equipo.

Features

Supply maximum power on minimal space. The Blazar power supply unit was specially created to work with slim PC cases, such as the Bern, Berlin and Kendal of Acteck; perfect to bring together your ideal computer on less space and with great style.

The Blazar power supply is compatible with Micro ATX motherboards and has every connector you need to assemble a powerfull and complete PC.

Its cooling system maintains an optimal temperature to enhance the stability of the equipment.

Especificaciones:

Código:	GAFU-029
Modelo:	AF-B700
Descripción:	Micro ATX 500w/24P/2 S-ATA
Nombre:	Fuente de Poder
Garantía:	1 Año
Tamaño:	6*12.5*10 cm
Peso Neto:	Peso Neto: 832 gr
Factor:	Micro ATX
Voltaje de entrada:	100 VAC - 240 VAC
Corriente de Entrada:	115 VAC/10A Max. 230 VAC/ 5A Max
Gama de Frecuencia:	47-63 Hz
Conectores:	1x 20+4Pines/1x12V 4 Pines/2x SATA/2x molex/1 Floppy
Rango de Operación:	100 VAC - 240VAC
Consumo de Energía:	500W +12V +5V +3.3V -12V +5VSB 24A 26A 0.5A 20A 2A
País de origen :	China
NOM:	Requiere
Contenido de empaque:	1 Fuente de Poder 1 Cable de corriente 1 Manual de usuario

Especificaciones:

Code epicor:	GAFU-029
Model:	AF-B700
Description:	Micro ATX 500w/24P/2 S-ATA
Name:	Power Supply
Warranty:	1 year
Dimensions:	6*12.5*10 cm
Net Weight:	Net Weight: 832 gr
Factor:	Micro ATX
Input Voltage:	100 VAC - 240 VAC
Input Current:	115 VAC/10A Max. 230 VAC/ 5A Max
Frequency Range:	47-63 Hz
Connectors:	1x 20+4Pines/1x12V 4 Pines/2x SATA/2x molex/1 Floppy
Operating Range:	100 VAC - 240VAC
Power consumption:	500W +12V +5V +3.3V -12V +5VSB 24A 26A 0.5A 20A 2A
Country of origin :	China
NOM:	Required
Package contents:	1 Power Supply 1 Cable 1 User manual

Galería de imágenes:

Anexo B.12 Hoja de Datos Cámara ELP

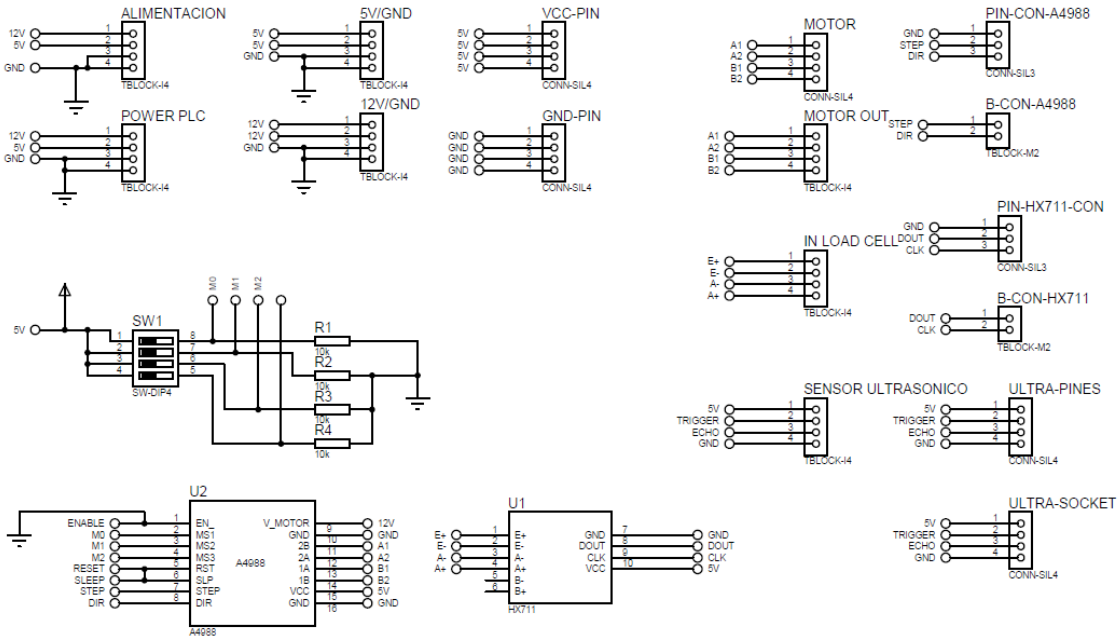
ELP 170degree Fisheye Lens Wide Angle USB Camera with Housing

- 2.0Megapixel 1080P Resolution Sensor 1/2.7" CMOS OV2710
- 1920(H)x1080(V)pixels@30fps, 1280x720p@60fps, 640x480@120fps
- Picture format MJPEG or YUY2 optional/USB Protocal USB2.0 HS/FS
- 170degree wide angle fisheye lens
- Mini black box housing
- Weight: 11.2 ounces
- Dimensions: 4.3 x 3.5 x 2.8 inches

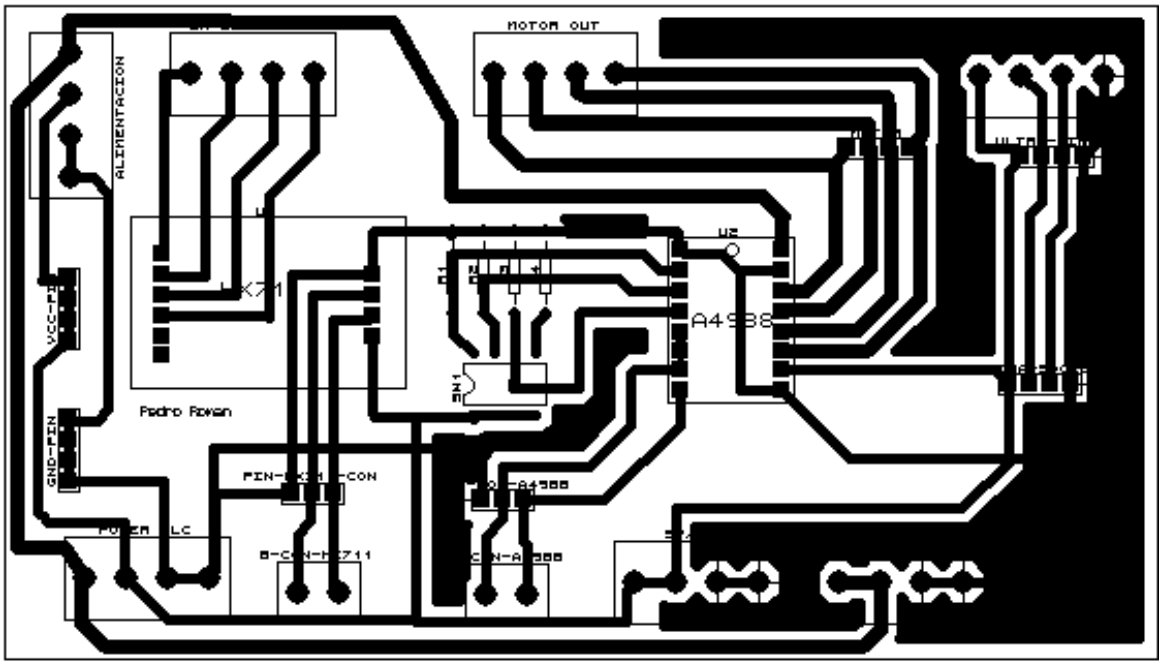
Anexo B.13 Guía para la Certificación de la Balanza

INEN Servicio Ecuatoriano de Normalización	**Manual de Usuario**	**N°: ACT-TIC-CDC-INEN-0001-2017-25**
	GESTIÓN DE TECNOLOGÍA	
OBJETIVO	Generar el manual de creación de solicitud de sistema de Servicios de Calibración de la Dirección Técnica de Metrología.	

Anexo B.14 Placa Electrónica, Diseño y Circuito Impreso



Esquema de la Placa Electrónica (Proteus 8)



Esquema del Circuito Impreso (Proteus 8)

Anexo C Planos