

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



**INGENIERÍA INVERSA Y DISEÑO DE LA
AUTOMATIZACIÓN DE UN DOSIFICADOR DE POLVOS,
UTILIZANDO CELDA DE CARGA A TRAVÉS DE
MICROCONTROLADOR ATMEGA PARA LA EMPRESA
JACS**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

PRESENTADA POR

Bach. SUÁREZ PHELLAN WILLY KEVIN

Asesor: Mg. Ing. PALOMARES ORIHUELA RICARDO JOHN

LIMA-PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto de mi carrera profesional y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Willy y Grevy.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi hermana Grevy

Por su comprensión, paciencia y afecto.

A mis profesores

Que me guiaron duramente con la formación académica para ser un profesional capaz de lograr lo que se proponga.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad.

A Willy y Grevy por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación y la motivación para cumplir mis metas. Por ser verdaderos ejemplos de vida.

A mi hermana Grevy, por siempre tomarse un tiempo para atender a mis dudas y responder a mis preguntas. Gracias Ingeniero Ricardo J. Palomares Orihuela por creer en mí y haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis profesional en la Universidad Ricardo Palma y por todo el apoyo.

A mis amigos por todos los momentos que pasamos juntos. Por las tareas que juntos realizamos y por sus enseñanzas en los proyectos desarrollados en grupo durante nuestra formación profesional.

A todos ellos, mil gracias.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Formulación del Problema	3
1.2. Objetivos	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	5
1.5. Estructura de la Tesis	6
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	9
2.2. Selección de Variables	11
2.2.1. Variable Dependiente	11
2.2.2. Variable Independiente.....	11
2.3. Bases Teóricas.....	12
2.3.1. Ingeniería Inversa y Automatización.....	12
2.3.1.1. Generalidades de la Ingeniería Inversa	12
2.3.1.2. Función de la Ingeniería Inversa en un proyecto	14
2.3.1.3. Técnicas y Aplicaciones de la Ingeniería Inversa.....	15
2.3.1.4. Proceso de Ingeniería Inversa en un producto finalizado	19
2.3.1.5 Generalidades de la Automatización	22
2.3.1.5. Tipos de automatización	23
2.3.1.6. Elementos de la automatización	24
2.3.1.7. Funciones de la automatización.....	27
2.3.2. Industria Alimentaria.....	27
2.3.2.1. Procesos de la Industria Alimentaria	28
2.3.2.2. Manipulación y almacenamiento	30
2.3.3. Sistema dosificador de polvo.....	32
2.3.3.1. Partes de un dosificador	32
2.3.3.2. Tipos de dosificadores	33
2.3.3.3. Componentes en un dosificador.....	37

2.3.3.5. Componentes en un sistema de alimentación por vibración.....	39
2.3.3.6 Sistema de medición y dosificación.....	43
2.3.3.7 Componentes en un sistema de medición y dosificación	44
2.3.3.8 Elementos para el control de electrónica	55
2.3.3.9 Elementos para la interfaz de usuario	57
CAPITULO III: ANALISIS Y REDISEÑO DE LOS SISTEMAS	62
3.1. Análisis Físico.....	62
3.1.1. Vista genérica del funcionamiento del dosificador original.....	63
3.1.2. Análisis de la apariencia física	63
3.1.3. Modelamiento en 3D del diseño exterior y medidas	64
3.2. Diseño mecánico y electrónico de la máquina original	65
3.2.1. Sistema de alimentación	65
3.2.2. Sistema de medición y dosificación	69
3.3. Planeamiento del rediseño de los sistemas.....	71
3.3.1. Rediseño del mecanismo de alimentación.....	71
3.3.2. Cálculos realizados para realizar el rediseño.....	74
3.3.2.1. Nuevo centro de gravedad del motor.....	74
3.3.2.2. Cálculo para selección del motor.....	76
3.3.2.2. Fuerza en la vibración del motor	80
3.3.2.3. Torque del motor	81
3.3.3. Rediseño del mecanismo de dosificación.....	82
3.3.4. Rediseño de la interface.....	86
3.3.5. Diseño del programa.....	88
CAPITULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS	98
4.1. Descripción de pruebas	98
4.1.1. Pruebas en el control de motor	98
4.1.2. Pruebas en el sensor de celda de carga.....	98
4.1.3. Pruebas del servomotor y CNY70.....	99
4.1.4. Pruebas del programa e interface en el sistema.....	99
4.1.5. Pruebas de los componentes en el simulador	99
4.2. Resultados conseguidos	100
4.2.1. Resultados de prueba de motor.....	100
4.2.2. Resultados de la prueba de celda de carga	101
4.2.3. Resultados de la prueba del servomotor y CNY70	107

4.2.4. Resultados de la prueba de programa e interface del sistema	108
4.2.5. Resultados de las pruebas de los componentes en el simulador.....	109
4.3. Presupuesto estimado de la futura implementación del rediseño.....	111
CONCLUSIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXOS	120

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Vista Exterior y componentes del dosificador original, imagen y rótulo de plano	121
Anexo 2. Diagrama de control de electroimán, diseño original	123
Anexo 3. Vista completa de componentes del rediseño, figura y rótulo de plano.....	124
Anexo 4. Vista Interna de componentes del dosificador rediseñado, figura y rótulo de plano	126
Anexo 5. Diseño electrónico del dosificador	128
Anexo 6. Vistas de placa impresa en ARES	129
Anexo 7. Hoja de datos de la celda de carga	130
Anexo 8. Hoja de datos del controlador ATmega2560	132
Anexo 9. Hoja de datos del servomotor FUTABA.....	134
Anexo 10. Hoja de datos de circuito acondicionamiento HX711.....	135
Anexo 11. Hoja de datos de pantalla LCD 16 x 2 ADM1602K.....	139
Anexo 12. Programa del dosificador	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Las industrias alimentarias, sus materias primas y procesos	29
Tabla 2. Parametros ATmega328	54
Tabla 3. Parámetros AT2560	55
Tabla 4. Datos del motor DC utilizado	79
Tabla 5. Tabla de porcentajes del motor	101
Tabla 6. Presupuesto de armazón y base	111
Tabla 7. Presupuesto de armazón y base en INOX.....	111
Tabla 8. Presupuesto de sensores y actuadores.....	112
Tabla 9. Presupuesto de piezas de placa de control	113
Tabla 10. Presupuesto impresión de placa.....	114
Tabla 11. Presupuesto total.....	114

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de la estructura básica de la Tesis.....	6
Figura 2. Gráfico de los tipos de proyectos de Ingeniería	15
Figura 3. Diagrama de procedimiento de Ingeniería Inversa en una pieza mecánica	17
Figura 4. Diagrama de Proceso de Ingeniería Inversa	19
Figura 5. Ejemplo de Automatización – Panel de Control	23
Figura 6. Ejemplos de tipos de automatización	23
Figura 7. Ejemplos de sensores.....	25
Figura 8. Ejemplos de Preaccionadores	25
Figura 9. Ejemplos de Accionadores	26
Figura 10. Ejemplo físico de un PLC	26
Figura 11. Partes de un dosificador	32
Figura 12. Dosificador de tornillo.....	34
Figura 13. Dosificador de paletas	35
Figura 14. Dosificador de banda rodante.....	36
Figura 15. Dosificador de banda rodante con balanza.....	36
Figura 16. Dosificador gravimétrico, por la combinación de tres volumétricos	37
Figura 17. Esquema de aplicación de un electroimán	39
Figura 18. Esquema de un electroimán.....	40
Figura 19. Funcionamiento de un electroimán	42
Figura 20. Ejemplo de un motor con excéntrica.....	43
Figura 21. Vista de conexión físicas de una celda de carga	46
Figura 22. Diagrama de conexiones del HX711	47
Figura 23. Diagrama interno del HX711	47
Figura 24. Diagrama de funcionamiento de un motor	49
Figura 25. Vista interna de servomotor	50
Figura 26. Dinámica del funcionamiento de un servomotor	51
Figura 27. Ejemplos de microcontroladores en distintos tamaños	52
Figura 28. Partes de un microprocesador.....	52
Figura 29. Gráfica de muestra de PWM en 25%, 50% y 75%	56
Figura 30. Diagrama de bloques de una pantalla LCD de 16x2	58
Figura 31. Diseño electrónico de un teclado de matriz de 4x4.....	59
Figura 32. Paso de movimiento del material	63

Figura 33. Modelo base de dosificador.....	64
Figura 34. Modelamiento 3D de vista externa del dosificador en Solidworks.....	64
Figura 35. Medidas de la tolva en Solidworks.....	65
Figura 36. Modelamiento del sistema de alimentación, desarrollado en Solidworks.....	66
Figura 37. Diagrama electrónico de control de fase de una carga inductiva en ISIS	67
Figura 38. Modelamiento del sistema de medición y dosificación en Solidworks.....	69
Figura 39. Diseño base de la base vibratoria hecha en Solidworks	73
Figura 40. Rediseño del mecanismo de transporte al sensor en Solidworks	73
Figura 41. Diagrama electrónico del control del motor en ISIS	74
Figura 42. Diagrama de la excéntrica en Solidworks	75
Figura 43. Diagrama de fuerzas en contenido de dosificador.....	77
Figura 44. Diagrama del motor, modelamiento en Solidworks	77
Figura 45. Gráfico de Eficiencia del PWM vs Fuerza de vibración	81
Figura 46. Gráfico de Eficiencia del PWM vs el Torque del motor	82
Figura 47. Modelamiento 3D de mecanismo de dosificación en Solidworks	84
Figura 48. Módulo conectado al sensor y al controlador.....	84
Figura 49. Diseño electrónico del sensor CNY70 y la celda de carga en ISIS.....	85
Figura 50. Rediseño mecánico interno completo del dosificador en Solidworks.....	86
Figura 51. Diseño externo en 3D con la nueva interface en Solidworks	87
Figura 52. Diseño electrónico completo adaptado en ISIS.....	87
Figura 53. Diseño 3D de la placa en PROTEUS	88
Figura 54. Diagrama de flujo del programa.....	90
Figura 55. Librerías en el programa en plataforma Arduino	93
Figura 56. Configuración de la matriz de teclado.....	93
Figura 57. Configuración de teclado y declaración de variables	94
Figura 58. Pantalla del modus operandi del dosificador.....	96
Figura 59. Ejemplo de pantalla cuando se escoge un Modo de Operación	96
Figura 60. Modo Automático.....	97
Figura 61. Modo Manual	97
Figura 62. Motor con base de acrílico	100
Figura 63. Programa de calibración	102
Figura 64. Valores de lectura de celda de carga en "peso 0"	102
Figura 65. Valores de lectura en celda de carga con 200 gramos.....	103
Figura 66. Programa con el nuevo dato	104

Figura 67. Valores en gramos con el nuevo programa	104
Figura 68. Datos en controlador prueba con pesos	105
Figura 69. Valores en controlador dosificando a 50 gramos	106
Figura 70. Valores en controlador, dosificando a 50 gramos	107
Figura 71. Servomotor cerrado	107
Figura 72. Servomotor abierto	108
Figura 73. Vistas de pantalla según modo de operación.....	109
Figura 74. Simulación de máquina dosificadora	109
Figura 75. Métodos para eliminar ruido en motores.....	110
Figura 76. Motor en prueba	110

RESUMEN

La presente tesis presenta el análisis y rediseño de una dosificadora de polvos, utilizando técnicas de ingeniería inversa y automatización. Para la comprensión de lo que conlleva realizar un proceso de ingeniería inversa se tomó en cuenta los métodos aplicados y publicados por otros ingenieros. A partir de estos se elaboró por un procedimiento para aplicar la ingeniería inversa con el objetivo de estudiar una dosificadora de origen extranjero.

Después de escoger un método y procedimiento para aplicar la ingeniería inversa, se realizaron los análisis de los sistemas del objetivo de la investigación, empezando por el funcionamiento, análisis físico, análisis electrónico, ventajas y desventajas de cada uno. Posteriormente, se utilizó la información recopilada por el proceso de ingeniería inversa y se comenzó el proceso de rediseño del dosificador, a partir de las sugerencias y posibles mejoras encontradas. Al diseñar se consideró cada uno de los mecanismos usados y se les realizó las mejoras y observaciones de manera individual. En cada uno se desarrolló igualmente, un rediseño mecánico, electrónico y su desarrollo de programa correspondiente.

Terminado el proceso de rediseño, se ensambló un prototipo que cumpla como simulador del programa y sus componentes. Para comprobar el funcionamiento se realizaron las siguientes pruebas:

1. Una prueba del control principal del dosificador que además ayudó a asignar los valores de las variables que se usaron.
2. Una prueba para calibrar y preparar el sensor de peso anterior a la simulación.
3. Una prueba para otros componentes, que fueron un servomotor y un sensor CNY70.
4. Una prueba para revisar el orden del programa y su eficacia en la tesis
5. Una prueba general con todos los componentes trabajando simultáneamente

Al haberse efectuado la simulación y realizado todas las pruebas, se consideró el rediseño con un resultado exitoso.

Palabras claves: Ingeniería inversa, automatización, PWM. (Pulse Weight Modulation), rediseño y celda de carga.

ABSTRACT

This thesis presents the analysis and redesign of a powder dosing machine, using reverse engineering techniques and automation. For the understanding of what it takes to perform a reverse engineering process, the methods applied and published by other engineers were taken into account. From these was developed by a procedure to apply reverse engineering with the aim of studying a dosing machine of foreign origin.

After choosing a method and procedure to apply reverse engineering, the analysis of the systems of the research objective was carried out, starting with the operation, physical analysis, electronic analysis, advantages and disadvantages of each one.

Subsequently, the information collected by the reverse engineering process was used and the process of redesigning the dispenser was started, based on the suggestions and possible improvements found. When designing, each of the mechanisms used was considered and improvements and observations were made individually. In each one, a mechanical, electronic redesign and its corresponding program development were developed.

Once the redesign process was finished, a prototype was assembled to serve as a simulator of the program and its components. To verify the operation, the following tests were carried out:

1. A test of the main control of the dozer that also helped assign the values of the variables that were used.
2. A test to calibrate and prepare the weight sensor prior to the simulation.
3. A test for other components, which were a servomotor and a CNY70 sensor.
4. A test to review the order of the program and its effectiveness in the thesis.
5. A general test with all the components working simultaneously.

After the simulation and all the tests were done, the redesign was considered with a successful result.

Keywords: Reverse engineering, automation, PWM. (Press Weight Modulation), redesign and load cell.

INTRODUCCIÓN

Constantemente se puede apreciar el avance de la tecnología, sin embargo, no crece sin ninguna razón u objetivo detrás de esta. Este avance responde a las necesidades de las personas, ya sea para cubrir alguna deficiencia o acelerar un proceso.

En el caso del mercado y la industria, la competencia entre empresas lleva a la necesidad de mejorar constantemente sus productos y simplificando sus procesos, para ello están siempre atentos a las nuevas tecnologías que les faciliten o agilicen procesos para siempre un paso delante de sus competidores.

Debido a que actualmente muchas empresas están interesadas en desarrollar la misma tecnología que se usan en máquinas importadas, con el propósito de adaptarlas o assimilarlas como propias, se realizan estudios que brindan el conocimiento necesario para comprender su funcionamiento y adecuarlas mejor a las necesidades del usuario. Este proceso de analizar y luego recrear un instrumento o herramienta y adaptarla a las necesidades propias es un proceso de ingeniería que se aplica a diario y da paso a una gama de posibilidades.

Cuando se requiere que una máquina realice no solo una acción en específico, sino que además tenga ciertos cuidados adicionales debido al material que trabaja, necesita entonces de ciertos agregados que garanticen que la máquina cumpla con las expectativas del comprador.

Un sector como el de producción de alimentos, donde los procesos de dosificación en pequeñas cantidades son importantes, este trabajo se hace necesario. El objetivo principal de esta tesis es entonces, aplicar herramientas de análisis y rediseño de una máquina dosificadora, rediseñar una nueva máquina que cumpla con las dosis indicadas por el usuario, trabajando con dosificaciones de manera consecutiva y que esté al entendimiento del cliente. Por lo que se termina reemplazando algunas tecnologías mecánicas con electrónicas, con el fin de ahorrar tiempo, reducir costos y mejorar las dosificaciones haciéndolas más exactas.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, las empresas se limitan a revisar y comprar las tecnologías extranjeras y prestan poca atención a las posibilidades que ofrecen los desarrolladores en su país. Por otra parte, existen empresas cuyo objetivo es aprender de estos productos extranjeros y adaptarlos, prepararlos para las condiciones del país e incluso personalizarlos para las preferencias del cliente y sus usuarios, entre estas se encuentra en la empresa JACS, su departamento de investigación está constantemente investigando sobre maquinaria extranjera.

Este grupo de desarrollo e investigación trabaja aplicando la ingeniería invertida para poder analizar y recrear mecanismos usados en maquinaria extranjera, que a veces traerlas conlleva un precio no solo por la máquina, sino también en los gastos que son el envío y los impuestos que traen consigo, los costos de instalación e incluso capacitación. A parte que la información que dispongan no siempre esté al alcance de su comprensión debido a la diferencia de idioma y conceptos.

Tomándolos como ejemplo en su área de maquinaria destinada al sector alimenticio, tienen que revisar no solo el buen funcionamiento de una maquinaria sino también que cumpla ciertos requisitos sanitarios que demuestren que sus productos no se contaminarán al pasar por esta. Por lo tanto, la calidad de los materiales viene a influenciar bastante en lo que se define de la eficiencia de la máquina.

Lamentablemente muchas maquinarias de este sector, mayormente aquellas simples que son producidas en masa, no cumplen con ciertas expectativas de los usuarios. Esto llevó a JACS a recurrir a su grupo de desarrollo para brindar maquinarias y tecnologías necesarias de manera local. A parte se debe tomar en cuenta la calidad de los materiales, el acabado y tamaño de la misma, a la vez que los costos son reducidos al dejar de recurrirse a envíos extranjeros y los retrasos que estos conllevan a la vez.

A través de la reingeniería o ingeniería invertida, se descubren los elementos claves para desarrollar mejoras o adaptar maquinarias a distintos sistemas, esperando que, de esa forma, se produzcan nuevas máquinas que cumplan con las expectativas requeridas para un producto de calidad e impulsar el desarrollo y confianza en las innovaciones

tecnológicas en el país. Cada vez que se conoce más de una máquina, esto trae la posibilidad de darle una mejora o una nueva herramienta que permita un mejor uso del mismo.

Lo que se desea hallar en esta tesis, es el utilizar técnicas de ingeniería inversa para descubrir los distintos funcionamientos que se llevan a cabo en un dosificador, aprovechar nuevos mecanismos y técnicas de control que lleven a cabo un trabajo similar con el fin de diseñar un sistema automatizado a partir del estudiado, con mejor interfaz y comunicación usuario-máquina. Esperando que este sea más sofisticado y compatible con otros sistemas de control de la empresa JACS.

Se realiza un prototipo para confirmar el funcionamiento de la misma y se muestran otras consideraciones que se tienen en cuenta para el diseño.

1.1. Formulación del Problema

Formulación del problema general

¿Cómo dosificar productos alimenticios en polvo cumpliendo las características de producción y de modo que cumpla con las expectativas de calidad de la empresa JACS?

Formulación de los problemas específicos

- ¿Cómo automatizar un sistema mecánico que permita el traslado del producto?
- ¿Cómo desarrollar un sistema electrónico que permita realizar todas las acciones del equipo?
- ¿Cómo elaborar un programa y sistema de medición de peso para polvos, como la harina y otros productos?
- ¿Se puede desarrollar agregados que no estaban en el diseño original?

1.2. Objetivos

Los objetivos del siguiente trabajo son los siguientes:

Objetivo General

“Investigar y diseñar la automatización de un sistema de un dosificador de polvos, operado por celda de carga a través de microcontrolador ATmega para disposición de la empresa JACS”

Objetivos Específicos

- Aplicar técnicas de ingeniería inversa para diseñar un sistema mecánico que permita el traslado del producto
- Aplicar técnicas de ingeniería inversa para diseñar un sistema electrónico que permita realizar todas las funciones necesarias del dosificador.
- Diseñar e implementar un programa y sistema de medición que pueda pesar diversos tipos de polvos usando una celda de carga.
- Investigar nuevas herramientas para automatizar el dosificador, para ser aprovechadas en diseños futuros.

1.3. Justificación

El desarrollo de tecnología es un tema muy poco visto en el país, pero eso no quiera decir que no exista o que no haya gente trabajando eso. La empresa JACS se encarga de desarrollar máquinas de envasado y otros tipos. Pensando en las necesidades de sus clientes, intentan desarrollar una máquina simple dosificadora de polvos, como harina y variados, y tal vez incluso aplicarla en granos. Dentro de sus expectativas está poder controlar el dosificador de manera tanto automática como manual, basándose en mecanismo de electroimanes y control usando sensores para tener una dosificación precisa.

En la venta de maquinaria, a excepción del sector minero, el mercado es aún muy reducido y son pocas las empresas que se encargan de producir y vender maquinaria, siendo mayormente exportadores que se limitan a presentar un producto y traerlo, mas no fabricarlo. Esto genera que siempre haya un costo de la maquinaria por parte del fabricante y adicionalmente un costo de envío. Todos estos costos son altamente reducidos cuando uno mismo es el fabricante, que es el objetivo de la empresa JACS, producir sus propias máquinas y venderlas al mercado local y nacional a un precio módico y alcanzable para todas empresas.

La presente tesis tiene como finalidad, brindar las suficientes tecnologías para poder desarrollar un prototipo que permita dosificar polvos de manera eficiente, utilizando los principios aplicados de control de corriente, campos magnéticos e ingeniería mecánica.

Se espera conseguir de este modo un prototipo que la empresa JACS pueda tomar en consideración como base para nuevos desarrollos de maquinaria para sus productos.

Dentro del conjunto de dosificadores, muchos de granos y alimentos, rara vez son usados en las dosificaciones de polvos dado que es un producto que puede perderse en algunos sistemas mecánicos y su irregular concentración o peso puede representar un obstáculo a la hora de dosificar de manera homogénea.

Otro aspecto importante de la investigación, es adecuar el prototipo con compatibilidad a los sistemas operativos que usa la empresa JACS con sus ya existentes equipos, para el caso de querer incorporarlo dentro un mismo set. Para eso es necesario desarrollar un pseudocódigo simple que luego pueda ser trasladado a distintos programadores sin representar un problema en la interpretación de datos.

1.4. Alcances y Limitaciones de la Investigación

La presente tesis consiste en analizar y mejorar una dosificadora de polvos con tecnologías de automatización, usando ingeniería inversa a partir de una máquina de propósito similar. Se trabaja pensando en la incorporación de sistemas electrónicos y de programación, así como el desarrollo de una interfaz básica que permita al usuario trabajar de manera más sencilla con la máquina.

Sus características principales son:

- Un motor de corriente continua que es controlado por *PWM*
- Una celda de carga acondicionada con un circuito amplificador HX711
- Un servomotor
- Una pantalla *LCD*
- Un teclado por matrices de pulsadores

Los inconvenientes que se encontraron durante el proceso fueron:

- Reemplazar algunos mecanismos del modelo original
- Corrientes parasitarias en el motor de corriente continua
- Problemas durante la calibración de la celda de carga
- Encontrar los métodos correctos para lograr trabajar con una serie de menús de modo que permitan al usuario operar de manera práctica la máquina

1.5. Estructura de la Tesis

La estructura de la tesis está dividida en 4 capítulos, referencias bibliográficas y anexos. Cada capítulo tiene sus respectivos puntos ordenados en la figura 1, que presenta el diagrama completo de los capítulos y sus contenidos.

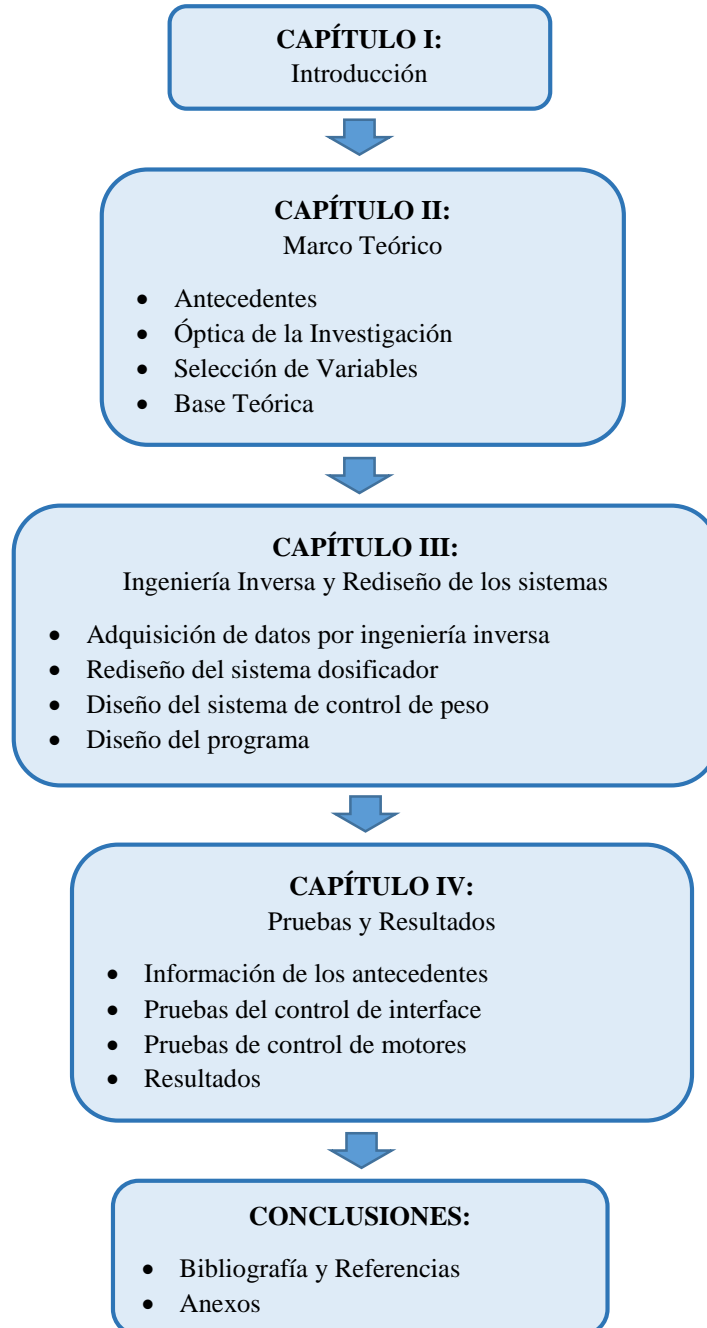


Figura 1. Diagrama de la estructura básica de la Tesis

Fuente: Elaboración Propia

La estructura de la tesis responde al problema de diseñar un dosificador de polvos para la industria alimentaria, operado por celda de carga a través de microcontrolador Atmega328, para la empresa JACS. Seguido a esto está una descripción de los que se verá en cada capítulo.

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se presenta una introducción, el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de la investigación.

Asimismo, se describe la estructura de la tesis, dando a conocer el contenido de cada uno de los capítulos.

Capítulo 2. Marco Teórico

En este capítulo se describe los antecedentes, la óptica de investigación, la selección de variables y conceptos teóricos que enmarcan la presente investigación. Asimismo, se hace referencia a los tipos de máquinas dosificadoras y una breve explicación de cuáles son aplicables en este trabajo. También se indica el funcionamiento general de estas. El funcionamiento de cada uno de los componentes principales y sus características técnicas.

Capítulo 3. Diseño de los sistemas

En este capítulo se explica la metodología usada para analizar del dosificador y el diseño de la nueva versión, aplicando conocimientos en ingeniería inversa, control electrónico y programación. Empezando por el análisis de la máquina original seleccionada, encontrando los componentes que usa y qué aspectos le permiten funcionar, como puede mejorarse.

Luego sigue selección de componentes como motores, transformadores y adaptadores. Asimismo, la justificación de su uso y componentes que podrían suplantarlos en caso de ser solicitado.

Capítulo 4. Pruebas y resultados

El capítulo muestra las pruebas a la hora de diseñar un prototipo que cumpla con los mínimos componentes para probar el programa, así como mostrar los datos encontrados tras una serie de pruebas realizadas en algunos de los mecanismos seleccionados en el capítulo anterior.

A partir de este punto se puede además revisar el orden y lógica del pseudocódigo usado y su versatilidad.

Se realiza una proyección de la eficiencia de la máquina y se compara los resultados como justificante solvente de la tesis.

Conclusiones

Finalmente, se presentan las conclusiones al final de toda la tesis, determinando la efectividad de la misma. También en la parte final se colocan los anexos mencionados alrededor del proyecto.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se mencionan los antecedentes de la investigación que se toman como referencia y base para la aplicación de la reingeniería del sistema de dosificación. Asimismo, se menciona y describe la óptica de la investigación, en el cual se define la hipótesis de la investigación.

También se realiza la selección de variables que definen el rediseño de la interfaz del usuario, así como las herramientas usadas. Finalmente, como parte fundamental del capítulo, se presentan las bases teóricas que sustentan y complementan los tópicos que se utilizaron y aplicaron para el desarrollo de la tesis.

2.1. Antecedentes de la Investigación

Existen bastantes métodos por los cuales se puede diseñar un dosificador dependiendo del tipo de material con el que se vaya a trabajar. Se presentan en este capítulo los antecedentes nacionales e internacionales que tienen relación con el trabajo de dosificación utilizándose en distintos propósitos y usando distintas técnicas de dosificación.

Vidal (2004) en su Tesis titulada “Diseño y Fabricación de una máquina limpiadora de trigo”. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Pontificia Universidad Católica del Perú. En este trabajo explica la posibilidad de usar un transportador vibratorio para trasladar elementos muy pequeños, aunque se complementó con otros elementos de traslado, se ajustó el modelamiento usando una matriz morfológica de todas las posibles combinaciones mecánicas. Debido al peso de los granos, el control sobre el flujo de producto es muy importante. El transportador vibratorio usado al final fue variado con rodillos, movido por un motor y un juego de resortes. Concluye que:

Para que un producto sea considerado innovador, no basta que sea nuevo y funcione bien, sino que también es necesario que llegue a los usuarios finales. Naturalmente nuestro objetivo es que esta tecnología sea utilizada por los pequeños productores en sus procesos productivos (p. 107).

Bazán (2010) en su tesis titulada “Sistema Milidosificador de Polvos: Diseño y Construcción”. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional Autónoma de México. La siguiente tesis trata del diseño y construcción de un dosificador de polvos, trabajado en base a un tornillo giratorio como transporte el material, su diferencia a la presente tesis radica en el método de dosificación utilizado. La base de esta tesis es una base vibratoria para uso de muestreo, explica correctamente los tipos de bases y su modelamiento mecánico, en los diversos tipos de dosificadores industriales. La tesis estaba más basada en el modelamiento mecánico de las piezas para distribución. Concluye que:

El agitador ayudaba a que el material no obstruyera el flujo y estuviera ingresando a la cámara del tornillo. Sin embargo, la geometría asimétrica de la tolva impedía que el agitador provocara la descarga del material en las esquinas de la tolva. (p. 57)

Pino (2006) en su tesis titulada “Diseño, Modelamiento y Simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales”. Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero de Diseño & Automatización Electrónica. El siguiente proyecto teórico trata sobre un dosificador de granos diseñado para la industria de la ganadería. El proyecto estaba enfocado en usar un sistema de rotación que se enfoca en una dosificación por volumen y no por peso, asegurando le era más eficiente. El diseño del recogedor es muy similar al diseño de las bases vibratorias usadas en máquinas dosificadoras de polvos chinas. Concluye que:

En el desarrollo de este proyecto se pudo dar cuenta de la importancia de utilizar sistemas simples para la dosificación, evitando así gastos innecesarios de tiempo y dinero.

En el diseño del sistema de control se tuvo en cuenta la importancia que juega el operario en el manejo de la misma, ya que esta máquina debe simplificar las operaciones que realiza el operario. (p.176)

Cabrera (2015), en su tesis titulada “Ingeniería inversa para la adaptación tecnológica en una empresa manufacturera peruana, estudio de caso”. Tesis para optar el grado de Magister en Gestión y Política de la Innovación. Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de Posgrado y la Tecnología. La presente tesis analiza el proceso de ingeniería inversa de una empresa manufacturera peruana que posee un taller de manufactura para

la creación de sus máquinas. La investigación mencionó la importancia y utilidad de la ingeniería inversa como medio de entendimiento a profundidad del funcionamiento y los principios en los que se basó el sistema técnico, de cómo esto agilizó todo el proceso y se evitó el malgasto de recursos. Concluye que:

Las máquinas construidas por ingeniería inversa no resultaron ser copias porque, en todos los proyectos, se mejoró la configuración de elementos, funcionamiento y principios de solución con el fin de adaptarlas al proceso productivo de la empresa. (p.110).

2.2. Selección de Variables

Se deben seleccionar las variables dependientes e independientes de la investigación.

2.2.1. Variable Dependiente

Sistema mecánico-electrónico que controla la celda de carga

Dimensiones: El sistema consta de,

- La celda de carga, sensibilidad y peso máximo
- El motor, que funcionará como mecanismo para generar la vibración al contar con una excéntrica.
- La corriente, que entra en forma de pulsos regulados.

Indicador: Los indicadores son,

- El indicador de peso electrónico en la pantalla
- Tiempo activado por pulso de la corriente

2.2.2. Variable Independiente

Ingeniería Inversa de la Automatización

Dimensiones: El control será realizado por

- Ingeniería inversa, aplicada en la mecánica del dosificador
- Ingeniería inversa, aplicada en la electrónica del dosificador
- Ingeniería inversa, aplicada en la programación del dosificador

Indicador: Los indicadores son,

- El tiempo que toma realizar una dosificación
- La corriente y voltaje que necesita
- La precisión en la dosificación

2.3. Bases Teóricas

En este capítulo se explica las diferentes definiciones y aplicaciones de todos los conceptos que se van a utilizar en la presente tesis; así como, los aspectos legales que las empresas confrontan al realizar este proceso.

2.3.1. Ingeniería Inversa y Automatización

El objetivo de este capítulo es ilustrar sobre las técnicas que se utilizarán en el proyecto, los pasos a realizar y la importancia de estos en el desarrollo de nuevas tecnologías, todo esto es necesario para poder entender los pasos y métodos que se utilizan a la hora de desarrollar ingeniería inversa y cuando se desea automatizar un proceso ya estudiado.

2.3.1.1. Generalidades de la Ingeniería Inversa

La ingeniería inversa tiene como objetivo obtener información de un método u objeto partiendo de un producto ya finalizado, con el propósito de determinar sus componentes y cómo estos interactúan entre sí, así como el proceso de fabricación que se llevó a cabo.

El método fue nombrado así debido a su metodología de avance, que va en dirección inversa al método habitual de desarrollo. En general, si un producto fue sometido a la ingeniería inversa, y la información de este fue obtenida en manera apropiada, este proceso es considerado legítimo y legal. Por lo que pueden fabricarse y distribuirse, legalmente, como productos genéricos, como es el caso de algunos proyectos de software libre ampliamente conocidos.

La ingeniería inversa o reversa fue definida en sus inicios como un proceso de duplicación de un ítem, funcionalmente y dimensionalmente, mediante una examinación física y mediciones de las partes originales con el objetivo de desarrollar datos técnicos requeridos para dicho fin (U.S. Army, 2006).

La ingeniería inversa surgió como tal durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se incautaba armamento de guerra, vehículos u otra maquinaria de guerra enemiga, se realizaban varios análisis para replicarlas, mejorarlas o contrarrestarlas.

En Japón, la ingeniería inversa fue una de las bases de su desarrollo tecnológico, un ejemplo de esto es la empresa de carros Toyota, que empezó el desarrollo de diseño de carros al desensamblar y analizar vehículos extranjeros como Chevrolet y Fiat. Gracias a su pequeña participación en el mercado mundial de ese entonces, nunca tuvieron problemas de originalidad, sin embargo, los conocimientos adquiridos y posteriormente desarrollados catapultaron su nombre en la industria. Actualmente, los objetos más sometidos a ingeniería inversa actualmente son programas de computadoras y componentes electrónicos, debido a su complejidad y, en el caso de programación, los múltiples lenguajes que están a disposición. Pero realmente cualquier producto puede ser objetivo de un análisis de ingeniería inversa.

Sin embargo, el concepto cambió debido que en la actualidad se le brinda mayor relevancia a la aplicación de la información, que al método para conseguir dicha información. Por eso, luego de realizar el proceso de ingeniería inversa, se procede a optimizar, reemplazar o dirigir ciertos procesos a un nuevo propósito sin planos técnicos originales, analizar el producto de la competencia y evaluar si está violando los derechos de propiedad intelectual o decidir si el objetivo final es la creación de un clon o sustituto (Rekoff, 1985).

De la misma manera, el ingeniero Pooley (1999) identifica seis razones para emplear la ingeniería reversa:

1. Aprendizaje: se revelan los conceptos usados para el funcionamiento de un producto y todo aquello que compone su diseño y fabricación.
2. Reparar un producto: si no se llegan a contar con los planos originales de una maquinaria, este método ayuda revisar e identificar posibles problemas.
3. Proveer un servicio relacionado: dado que este se define como un método honesto de conseguir información de un producto, permite iniciar negocios.
4. Desarrollar un producto similar: sirve como fuente de información para rediseñar nuevos mecanismos y orientarlos a un servicio distinto.
5. Crear un clon del producto: la reproducción exacta de una pieza original. Puede infringir los derechos de propiedad intelectual, pero puede ser utilizado para conseguir repuestos en casos de emergencia.
6. Mejorar un producto: permite al investigador evaluar que conceptos o piezas quedaron obsoletos y reemplazarlos por más modernos.

Cada disciplina tiene una aplicación y definición diferente de la ingeniería inversa. En informática, la aplican de determinar el algoritmo de un software cuando no poseen su código fuente. En mecánica, se utiliza para descubrir el funcionamiento interno de una máquina durante un proceso de desensamblaje y análisis. En ambos casos, el objetivo principal es desarrollar un alto nivel de descripción de un sistema sin ningún conocimiento. Por lo tanto, la ingeniería inversa es un importante medio para promover la competencia y fomentar la innovación (Aplin,2013).

2.3.1.2. Función de la Ingeniería Inversa en un proyecto

En la figura 2, se puede apreciar de manera simple el procedimiento de cada tipo de proyecto de ingeniería. Cuando se desarrolla un proyecto de Ingeniería Directa, se empieza por un prediseño con las expectativas que se desean del producto, pasando por un diseño básico, luego de pruebas se llega a un diseño final y termina con la construcción del mismo. La Ingeniería Inversa por otro lado, estudia el producto ya construido y a partir de este se consigue cuál era el diseño final de este, luego se llega al diseño básico y al prediseño del proyecto, lo que le brinda al grupo un completo panorama de lo que los creadores del objeto deseaban conseguir con la fabricación del mismo, así como las expectativas y lo que ellos creían, necesitaban los usuarios.

Esta información conseguida por este proyecto les permite a los ingenieros evaluar la perspectiva del nuevo producto, que objetivos o características desean agregarle que lo diferencie o haga superior al modelo original, a partir de esto rediseñar un nuevo modelo que cumpla con las nuevas propuestas y objetivos del equipo de desarrollo.

Esta es la razón principal por la cual el proceso de Ingeniería Inversa es tan importante en la fabricación y mejora de nuevos productos.

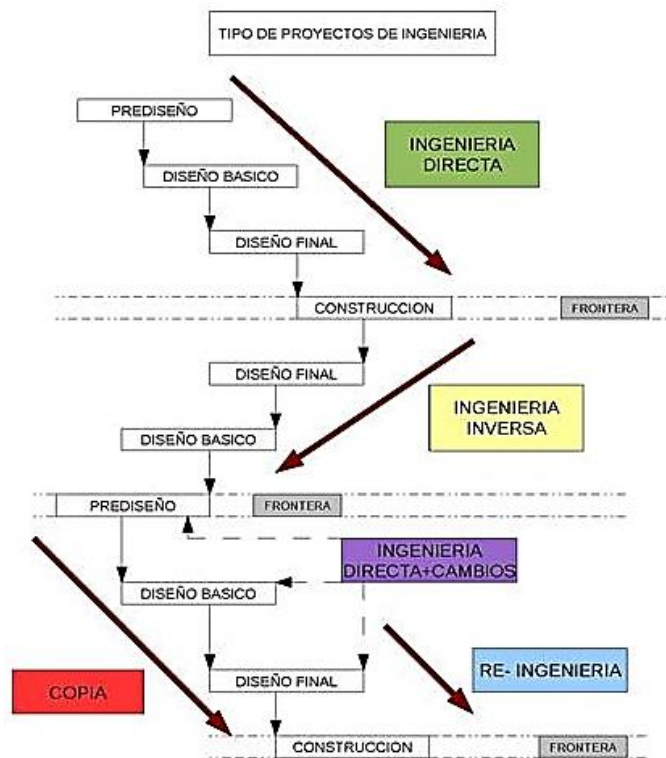


Figura 2. Gráfico de los tipos de proyectos de Ingeniería

Fuente: Blog, blogingenieria.com

2.3.1.3. Técnicas y Aplicaciones de la Ingeniería Inversa

La ingeniería inversa puede aplicarse a cualquier campo, dado que es reconocido más como un método de aprendizaje y no como un método de elaboración, al usar un objeto y desde una perspectiva diferente, del mismo producto se puede sacar diferente información.

Su gama de aplicaciones incluye software y tecnologías de información, también participa en la reconstrucción de eventos para el entendimiento de un accidente en la industria de aviación o automotriz. Puede usarse en otros sectores, muchas veces en respuesta de revisar un accidente o un error. Se muestra a continuación las diferentes aplicaciones de esta disciplina. (Axayacatl, 2014)

a) Ingeniería inversa para el diseño de productos

Primero se tiene que definir el propósito de la investigación y que se desea solucionar. Una vez definido esto, se determina la idea base del nuevo producto y las posibles soluciones de este y que sistemas se analizarán para esto. Las soluciones son propuestas para cada función del sistema, después de eso las funciones son combinadas generando el concepto del producto.

Durante el proceso de ingeniería inversa, la recopilación de conceptos y soluciones es esencial para la innovación y fabricación de un nuevo producto. Sin embargo, no siempre es realizada a plenitud por los proyectistas, ya sea por la falta de capacitación o bien por falta de apoyo en el proceso. Montanha (2011) dice:

El proceso de conceptualización demanda una significativa capacidad de abstracción y una precisa definición de las funciones. En favor de ayudar a la generación de principios de solución se hace uso de la ingeniería reversa en el proceso de desarrollo de producto. (p. 4)

La ingeniería inversa brinda la posibilidad de adquirir y asimilar las técnicas de otros productos, ya sean de la competencia o no lo sean, ayudando en la elaboración de sistemas técnicos innovadores y en la sustitución de técnicas obsoletas.

Además, tiene una fuerte participación en la etapa de propuesta de principios de solución, complementando la creatividad y a la experiencia de los diseñadores. Así como fuente de mayor aprendizaje y reforzar el análisis del producto y revisar su relevancia en el mercado.

b) Ingeniería inversa aplicada en piezas y objetos mecánicos

Existen casos en los cuales no se cuentan con los planos de diseño, ya sea porque el producto no perteneció originalmente a la empresa o estos se perdieron por múltiples razones. Las técnicas de ingeniería inversa permiten al equipo de investigación reconstruir las piezas mecánicas, donde las propiedades físicas son determinadas por la medición de sus dimensiones geométricas, tolerancias, procesos de construcción e identificación de materiales.

De la manera similar, si el equipo de desarrollo no cuenta con los modelados CAD o planos de piezas, estos se pueden construir a través de técnicas de ingeniería inversa. Por tal motivo, Chen y Ng (1997) mencionan, “la ingeniería inversa se utiliza en este campo como una metodología para elaborar modelos CAD por medio de digitalizar las partes existentes, creando un modelo computarizado para después utilizarlo en manufacturar el componente” (p. 481). En la figura 3 se puede observar de manera ordenada el diagrama de flujo del procedimiento convencional de la Ingeniería inversa aplicada en un producto.

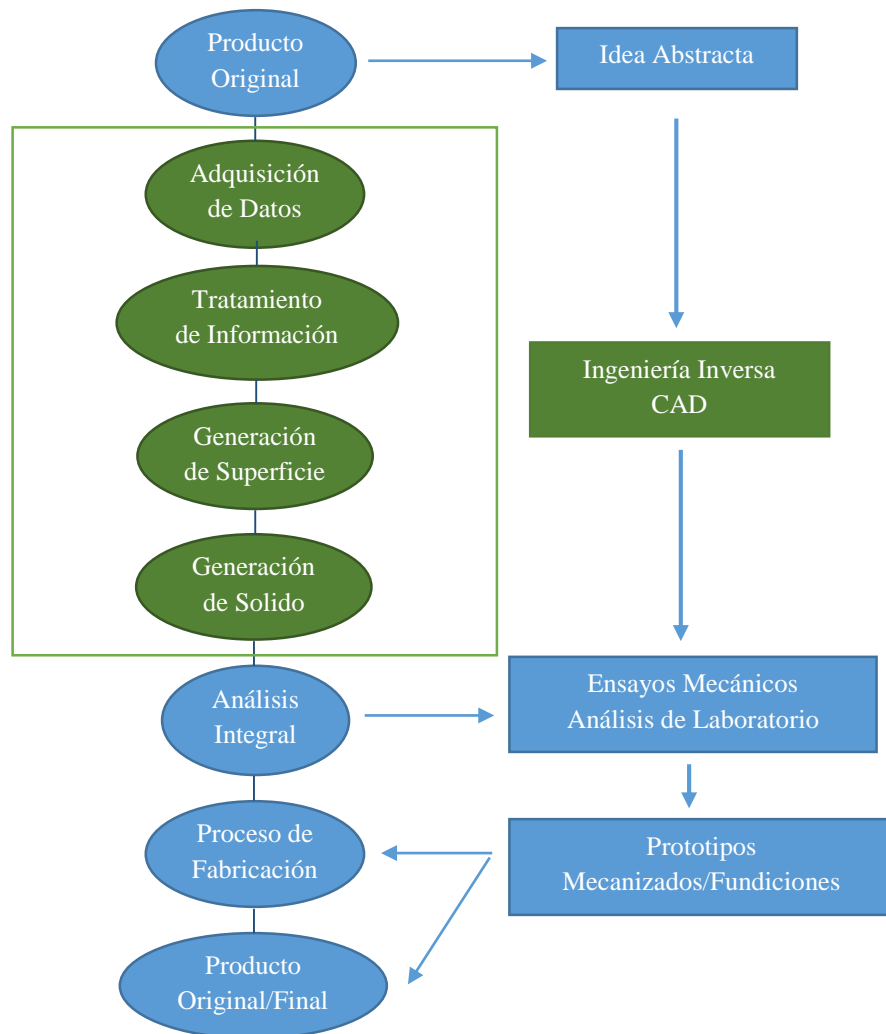


Figura 3. Diagrama de procedimiento de Ingeniería Inversa en una pieza mecánica
Fuente: Basado en el modelo de “Desarrollo de Ingeniería Inversa Orientado a Objeto”

Como pudo observarse en la figura anterior, el avance de la tecnología y el modelamiento en 3D de los materiales, programas como Solidworks, han sido de gran ayuda a la hora de componer piezas y junto a los escáneres de 3D.

La metodología de la ingeniería inversa aplicada en la mecánica, refiere mayormente en la evaluación y re-estructuración de una o más piezas, y sugiere la intervención de técnicas de CAD “*Computer Aided Design*”, y que cumpla con los siguientes pasos:

- Adquisición de datos; Recopilar todos los datos a partir de las observaciones del objeto.
- Tratamiento de la información; Con los datos recopilados, darles un sentido o hallar la lógica detrás de eso.

- Generación de la superficie del objeto; Aplicando las dimensiones generadas.
- Generación del sólido; Con el respectivo material, peso y propiedades físicas.

Cumpliendo con estos pasos, el equipo de investigación cuenta con toda la información mecánica del producto a estudiar y con esta se puede empezar con las conclusiones y el respectivo análisis del mismo (Ruiz, 2010).

2.3.1.3 Legalidad de la Ingeniería Inversa

Si se sigue un proceso de ingeniería inversa bien establecido no hay razón para que exista algún problema legal; habiendo cumplido obviamente, el objetivo de la ingeniería inversa: obtener un producto que pueda hacer lo mismo, pero que sea innovador o distinto a la vez, que no aplique los mismos principios de funcionamiento del producto analizado, o cuyo propósito u objetivo en el mercado sea distinto; es decir, la ingeniería inversa se debe utilizar únicamente para conocer un producto, con el fin de que luego el nuevo producto sea original al mismo tiempo.

Lo mismo ocurre con procesos de ingeniería inversa que terminan agregando mejoras o componentes extras a un mecanismo, objeto o técnica.

No deberían existir problemas de legalidad siempre y cuando no se hayan realizado los siguientes incidentes sugeridos por Stefanelli y Infanzozzi (2009):

- El contrato no contiene ninguna cláusula explícita o implícitamente prohibiendo la ingeniería inversa.
- La empresa que realiza ingeniería inversa ha obtenido los datos que se encuentran en dominio público.
- Los ingenieros y técnicos envueltos en la examinación de las partes o preparación de los dibujos no tienen acceso a los datos del propietario.
- La empresa que realiza ingeniería inversa no tiene ningún empleado que haya trabajado en la empresa que ha fabricado la pieza original.
- El personal que realiza la ingeniería inversa no ha realizado ninguna visita a la planta de la pieza original.

2.3.1.4. Proceso de Ingeniería Inversa en un producto finalizado

Se explicó en el sector anterior cuando se analiza una pieza o proceso mecánico, por lo que se puede observar que la mayoría de industrias practican de manera práctica e informal un proceso de ingeniería inversa, papel desempeñado mayormente por el equipo de mantenimiento cuando se cambia una pieza, por ejemplo, sin mayor objetivo que copiar un componente en lugar de conocer.

A pesar de que el proceso puede no sonar tan complicado, la falta de una metodología puede complicar y ser la causa de que el mencionado proyecto no tenga un resultado satisfactorio. Por lo que el proceso debe ser definido de acuerdo a las necesidades del usuario, a las herramientas que se cuentan a disposición y a la información disponible, cabe recalcar además la perspectiva de la persona que lo trabaja, ya que un producto puede tener uno o más factores (mecánicos, electrónicos, software) y si amerita un estudio completo de todas las disciplinas o si solo se necesita de una sola (Montanha, 2011).

En la figura 4 se muestra una propuesta de ingeniería inversa propuesta por el ingeniero (Montanha, 2011) para proceso de un producto o de sistemas técnicos, enfocando únicamente el proceso de aprendizaje.

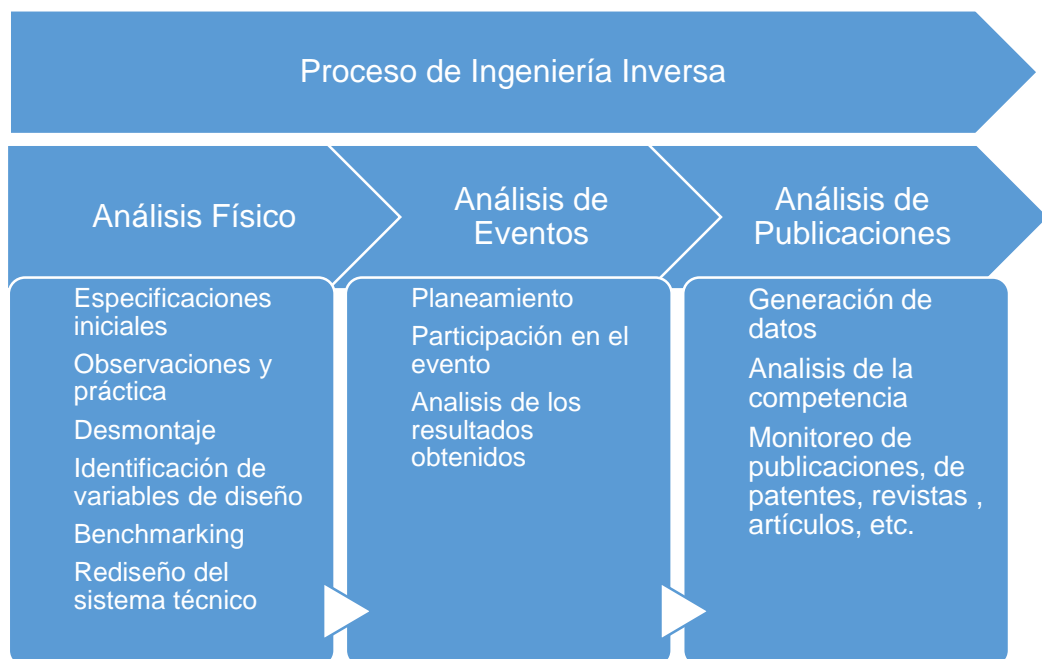


Figura 4. Diagrama de Proceso de Ingeniería Inversa

Fuente: Basado en el libro de *Sistematização do processo de engenharia reversa de sistemas técnicos* (Montanha, 2011, p.7)

Análisis Físico

El análisis físico es el más importante de los tres, ya que en este se evaluará el alcance del proyecto, la teoría de sus componentes y sus aspectos legales.

- a) Las especificaciones iniciales se enfocan en todo lo que es solicitado al equipo de desarrollo, respectivamente el enfoque de los análisis y los aspectos legales involucrados, así como la disponibilidad a posibilidad de probar algunos cambios alrededor del proyecto.

- b) En las observaciones y la práctica quedan especificadas las características del sistema de acuerdo al rendimiento, funcionamiento y método de manufactura, es donde también se diseña el boceto y una descripción del sistema que se planea realice a función principal. Se empieza a operar el sistema técnico y se concluyen los puntos positivos y negativos con la finalidad de identificar los elementos que serán optimizados.

- c) Durante el desmontaje se descubren cómo los componentes se juntan para cumplir con la función principal del sistema. En esta parte del análisis, el grupo encargado debe plantear las siguientes actividades:
 - a. Listar las características del proceso, aspectos como las dimensiones, peso, materiales, color, acabado superficial, tolerancias, las funciones esenciales y los costos.
 - b. Luego de identificarlos, se reconocen todas las herramientas necesarias para el desmontaje
 - c. Evaluar también la distribución y la instalación, así como garantizar todo aspecto logístico de repuestos empaques, etc.
 - d. Medir y analizar los datos ya determinados, evitar pruebas destructivas.
 - e. Finalmente hacer una lista de materiales con los detalles técnicos del sistema.

- d) Identificar las variables del diseño, en esta etapa se desarrollan las actividades de:
- a. Elaborar una lista de materiales con las funciones asociadas, componentes y sub-ensamblajes describiendo sus funciones en el sistema.
 - b. Analizar los mecanismos y sus estructuras, se identifican las funciones generales y parciales con sus mecanismos y el diagrama de flujo de fuerza y movimiento.
 - c. Analizar la integridad del objeto, las comunicaciones entre componentes que permiten realizar de la función principal, las interfaces de unión entre el usuario y el sistema técnico, entre las partes y el montaje.
 - d. Analizar los requisitos de rendimiento, definir la relación entre mecanismos, estructuras y rendimiento.
 - e. Generar las variables de diseño, identificar las variables de este y sus unidades para controlar el rendimiento de las funciones del sistema.
 - f. Analizar las variables de diseño, son creadas especificaciones técnicas para el sistema técnico como los valores de las variables de diseño.
- e) Benchmarking consta de un análisis comparando de los datos obtenidos con otros sistemas técnicos analizados. Su objetivo es identificar elementos de diseño que puedan ser aprovechados y cuáles pueden ser descartados o reemplazados. Se destacan las virtudes y desventajas del sistema para priorizar los elementos en los que se les determinará mayor trabajo y evaluación.
- f) Rediseño del sistema técnico, es la última fase y en esta se crean variaciones u opciones alternas del sistema técnico que realicen la misma función en general.

Análisis de Eventos

En el análisis de eventos se evalúan los mercados donde el equipo puede actuar, en esta etapa, se planean los posibles objetivos y mercados interesados en el producto.

A partir de este y de la participación en eventos, se recopila la información necesaria, los intereses y las expectativas no solo de posibles usuarios sino también del público en general, dependiendo de la amplitud de mercado que se tenga planeado.

A partir de los resultados, se puede evaluar si el rediseño fue eficiente y si a este se le puede agregar mayores virtudes.

Análisis de publicaciones

Busca generar datos con el fin de analizar a la posible competencia, así como revisar las publicaciones como lo son las patentes, tesis, estudios, si es deseado que el proyecto pase luego a luz. Además, se pueden realizar estudios de prospección tecnológica, si esta, evolucionando con el tiempo, permitiría la mejora de eficiencia del mismo.

2.3.1.5 Generalidades de la Automatización

Se conoce por automatización al uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales. Como disciplina de ingeniería orientada al control, abarca el uso de instrumentos industriales, que incluyen sensores, transmisores, sistemas de supervisión, sistemas de transmisión y recolección de datos y aplicaciones de software en tiempo real. La combinación de los mencionados componentes concluye con al completo control y monitoreo de un proceso. En la figura 5 se puede apreciar una imagen de un panel de control de una máquina automatizada, donde abarca controles electrónicos y eléctricos.



Figura 5. Ejemplo de Automatización – Panel de Control

Fuente: www.eylautomation.com/eyl

Existen muchos trabajos donde no existe apuro inmediato de la automatización. No existe dispositivo inventado pueda competir contra el razonamiento humano para la realización de muchas tareas; tampoco de todas las capacidades simultaneas del humano. Cualquier persona puede identificar y distinguir mayor cantidad de variables que cualquier dispositivo automático. Las habilidades de reconocimiento físico, reconocimiento de lenguaje y producción de lenguaje se encuentran más allá de cualquier expectativa de los ingenieros de automatización. FESTO (2008): “La automatización ha estado siempre ligada al desarrollo empresarial, con el propósito de aligerar el trabajo del usuario, facilitar los procesos y disminuir el tiempo de los mismos” (p.10).

Actualmente, la automatización tiene como aliado al avance de las computadoras y las conexiones inalámbricas, así como sensores y plataformas de programación que facilitan su proceso y mejoran la comunicación entre el usuario y la máquina.

2.3.1.5. Tipos de automatización

La automatización posee muchos tipos de métodos por los cuales se emplean. Los ejemplos son visibles en la figura 6. Estas pueden ser:



Figura 6. Ejemplos de tipos de automatización

Fuente: <http://www.industriales.ws/automatizacion/tipos-de-automatizacion-industrial.html>

- Automatización fija: Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por lo tanto es necesario diseñar equipos especializados para procesar productos o componentes de éstos con alto rendimiento y elevadas tasas de producción.
- Automatización programable: Se emplea cuando el volumen es relativamente bajo y hay una diversidad en los tipos de productos a obtener. En este caso, el equipo debe estar preparado para ser adaptable a variaciones en las configuraciones del producto.
- Automatización flexible: Es una categoría situada entre las dos anteriores. Se ha comprobado que es más adecuada para el rango medio de producción. Con este tipo de automatización pueden obtenerse simultáneamente varios tipos de producto, en el mismo sistema de fabricación.
- Control automático de procesos: Se refiere al distinto manejo de cambios en el proceso, usualmente referente a cambios químicos en el material, requieren los equipos más resistentes.
- Control numérico de procesos: Utiliza maquinaria configurada para distintos trabajos usando el mismo material, todo proceso controlado por un sistema numérico en una computadora, en su mayoría referente a las herramientas CNC y el uso de CAD/CAM. (Ramírez, 2013)

2.3.1.6. Elementos de la automatización

Los elementos principales usados para automatizar mecanismos son:

- Parte Operativa: Es la parte que actúa directamente sobre la máquina, son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice las acciones.
 - Sensores o Captadores: Se encargan de percibir las señales necesarias para determinar un cambio en el sistema, envían en forma de corriente la información a procesar. Ejemplos de estos en la figura 7.



Figura 7. Ejemplos de sensores

Fuente: <https://es.slideshare.net/ErendiraAvalosMorales/sensores-y-actuadores-11723590>

- Preaccionadores: Se usan para comandar y activar los accionadores, como son los switches y distribuidores neumáticos, permiten el paso del elemento accionador, que son mayormente corriente y aire. A pesar de no ser de muchos tipos, poseen bastantes variaciones en sus capacidades. Los ejemplos son visibles en la figura 8.



Figura 8. Ejemplos de Preaccionadores

Fuente: <http://ceiisa.blogspot.pe/2015/01/accionadores-y-preaccionadores.html>

- Accionadores: Son equipos acoplados a las máquinas, y que permiten realizar movimientos, calentamiento, ensamblaje, embalaje. Pueden ser mecánicos, hidráulicos o eléctricos. Ejemplo de ellos en la figura 9.



Figura 9. Ejemplos de Accionadores

Fuente: <http://actuadoresuni2.blogspot.pe>

- Parte de Mando: Es la unidad central de control y elemento principal del sistema, encargado de supervisar, manejar, corregir errores y mantener la comunicación.
 - Interfaces: Permite la comunicación entre el operario y el proceso, puede ser una interfaz gráfica de computadora, pulsadores, teclados, visualizadores
 - Unidad de Control: Es donde se realiza todo el proceso lógico del sistema, donde se cargan los programas y se mandan las órdenes, pueden ser PLC o microprocesadores, ejemplo en figura 10.



Figura 10. Ejemplo físico de un PLC

Fuente: <https://www.eurotherm.es/products/programmable-automation-controller-system/eplc/eplc100>

Los sensores están en constante comunicación con las unidades de control, que muestran la información requerida al usuario, en base a la información recibida tanto por los sensores como del usuario, estos mandan pulsos a los preaccionadores que comandan los accionadores a realizar el trabajo solicitado. (Garcia, 1999)

Los sensores tienen el mayor propósito de indicar los cambios y fenómenos que ocurren durante un proceso, para esto luego requieren sistemas de acondicionamiento adecuados para las señales que estos envían. Estos se encargan de transmitir las señales de los sensores hacia las partes del comando del sistema, donde los controladores reconocen las señales las muestran como datos al usuario a través de la interface y mandan órdenes a los preaccionadores para que estos comanden los accionadores a realizar una función en específico.

2.3.1.7. Funciones de la automatización

Las principales funciones que realiza un sistema que ya automatizado son:

- a) Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- b) Tomar decisiones en base a criterios pre-programados.
- c) Almacenar datos en la memoria.
- d) Generar ciclos de tiempo.
- e) Realizar cálculos matemáticos.
- f) Actuar sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.
- g) Comunicarse con otros sistemas externos.

2.3.2. Industria Alimentaria

La industria alimentaria realiza actividades en todos los procesos relacionados con el manejo de alimentos. Dentro de estos procesos se incluyen transporte, recepción, almacenamiento, procesamiento, conservación, y servicio de alimentos para consumo humano y animal.

Las materias primas de esta industria consisten principalmente de productos de origen vegetal (agricultura), animal (ganadería) y fúngico (hongos). Debido al avance tecnológico y la sofisticación de algunos sistemas, así como el descubrimiento de nuevos factores curativos en algunos alimentos, el progreso de la industria se ha incrementado y ha aumentado el número de posibles alimentos disponibles en la dieta diaria. Estos cambios han traído también un cambio de conciencia en la vigilancia de la higiene y de las leyes alimentarias de los países intentando regular y unificar los procesos y los productos.

2.3.2.1. Procesos de la Industria Alimentaria

La industria de alimentos engloba un conjunto de actividades y pautas industriales orientadas al tratamiento, transformación, preparación, conservación y envasado de productos alimenticios, todos estos procesos deben ser llevados con sumo cuidado sin importar qué tipo de producto se esté trabajando.

En la tabla 1, se puede observar de manera genérica todos los procesos realizados en cada tipo de alimento, brinda una buena idea de todos los procesos que se llevan a cabo a la hora de trabajar un alimento para ser considerado un producto (Berkowitz, 2009, c.67).

Tal cual se muestran en la tabla 1, la industria de los alimentos se distribuye no solo por el tipo de alimento que se trabaja, sino también por el tipo de servicio en el que enfocan.

Dentro de la industria, aquellas que cuentan con técnicas de esterilización, conservación por congelamiento, filtración y pasteurización, requieren de procesos automatizados más que de procesos tradicionales o artesanales. Por otro lado, aquellos que requieren empaquetados clasificados por peso, como lo son los enlatados, los paquetes por sachet, requieren de sistemas precisos a la hora de realizar dosificaciones exactas y continuas.

Tabla 1. Las industrias alimentarias, sus materias primas y procesos

Industria	Materiales elaborados	Requisitos de almacenamiento	Técnicas de elaboración	Técnicas de preservación	Empaquetado de productos terminados
Elaboración y conservación de la carne	Ganado vacuno, ganado ovino, ganado porcino, aves	Cámaras refrigeradas	Sacrificio, trinchado, deshuesado, triturado, cocción	Sazonado, ahumado, refrigeración, ultracongelación, esterilización	A granel o en latas, caja de cartón
Elaboración de pescado	Todo tipo de pescado	Cámaras frigoríficas, a granel en salazón o en barriles	Descabezamiento, evisceración, fileteado, cocción	Ultracongelación, secado, ahumado, esterilización	A granel en contenedores refrigerados o en latas
Conservación de frutas y verduras	Frutas y verduras frescas	Elaboración inmediata: las frutas pueden estabilizarse con dióxido de azufre	Escaldado o cocción, triturado, concentración de zumos al vacío	Esterilización, pasteurización, secado, deshidratación, liofilización (secado por congelación)	Sacos, latas o botellas de vidrio o plástico
Elaboración de cereales	Cereales	Fumigación de los cereales almacenados en silos	Trituración, cribado, molienda, rodadura	Cocción de secado u horneado	Silos (transportados neumáticamente), sacos o bolsas enviados a otros procesos, o embalado en cajas para el comercio minorista
Cocción en horno	Harina y otros productos secos, agua, aceites	Silos, sacos de grandes dimensiones y bolsas	Amasado, fermentación, tratamientos de superficie de laminación en el condimento	Cocción en horno, tratamientos de superficie de corte y empaquetado	Empaquetado para establecimientos mayoristas, restaurantes y mercados minoristas
Elaboración de galletas	Harina, nata, mantequilla, azúcar, fruta y condimentos	Silos, sacos de grandes dimensiones y bolsas	Mezcla, amasado, moldeo de estratificado	Cocción en horno, tratamientos de superficie de corte y empaquetado	Bolsas, cajas para establecimientos institucionales y minoristas
Fabricación de la masa	Harina, huevos	Silos	Amasado, molienda, corte, extrusión o moldeo	Secado	Bolsas, paquetes
Elaboración y refinado de azúcar	Remolacha azucarera, caña de azúcar	Silos	Trituración, maceración, concentración al vacío, centrifugado, secado	Cocción al vacío	Bolsas, paquetes
Fabricación de chocolate y repostería	Azúcar de cacao, grasas	Silos, sacos, Cámaras acondicionadas	Tostado, molienda, mezcla, conchado, moldeo	—	Paquetes
Fabricación de cerveza	Cebada, lúpulo	Silos, depósitos, sótanos acondicionados	Molienda del cereal, malteado, braceaje, filtrado con filtro prensa, fermentación	Pasteurización	Botellas, latas, barriles
Destilación y fabricación de otras bebidas	Fruta, cereales, agua carbonatada	Silos, depósitos, cubas	Destilación, mezcla, aireación	Pasteurización	Barriles, botellas, latas
Elaboración de leche y productos lácteos	Leche, azúcar, otros ingredientes	Elaboración inmediata; elaboración posterior en cubas de maduración, cubas acondicionadas, almacén refrigerado	Desnatado, batido (mantequilla), coagulación (queso), maduración	Pasteurización, esterilización o concentración, desecación	Botellas, envueltas de plástico, cajas (queso) o a granel
Elaboración de aceites y grasas	Cacahuetes, aceitunas, dátiles, otras frutas y cereales, grasas animales o vegetales	Silos, depósitos, almacenes refrigerados	Molienda, extracción con disolventes o vapor, filtrado con filtro prensa	Pasteurización en caso necesario	Botellas, paquetes, latas

Fuente: Procesos de la industria alimentaria, enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo

En la actualidad, se ha experimentado un proceso de diversificación intenso que ha afectado desde pequeñas empresas tradicionales de gestión familiar, que se caracterizan por requerir bastante mano de obra, a grandes procesos industriales que cuentan con bastantes mecanismos y reducida mano de obra.

En el pasado, la producción de alimentos era estacional y se contrataba persona dependiendo de la temporada. En la actualidad, los nuevos avances en tratamiento y conservación de alimentos redujeron ese tipo de limitaciones e incluso

prolongaron el tiempo de utilidad de los alimentos gracias a nuevas tecnologías en conservación y refrigeración.

2.3.2.2. Manipulación y almacenamiento

Existen muchos métodos para trabajar los alimentos, actualmente se tiende a reducir al mínimo la manipulación manual mediante la mecanización, el proceso continuo y la automatización. La manipulación mecánica puede abarcar el transporte interior autopropulsado como pueden ser el caso de cintas transportadoras, que se usan para transportar remolacha, granos, frutas entre otros alimentos. También están montacargas de cubetas para casos como pescado y bolsas de granos, así como transportadores de tornillo sin fin para harinas y frutos pequeños, entre otros métodos.

El almacenamiento de materias primas es sumamente importante en una industria cuyos productos solo pueden ser recogidos o adquiridos entre períodos de tiempo, en otras palabras, que se rigen por un período estacional. Tradicional y artesanalmente se realizan en silos en granjas, actualmente existen además tanques, bodegas y cámaras frigoríficas.

El almacenamiento de productos terminados se determina según su estado y condiciones, ya sean sólidos o líquidos, así como el método de conservación y envasado. Las instalaciones deben ser diseñadas para responder a las condiciones de manipulación y conservación necesarias, como temperatura y humedad adecuadas al producto, cámaras frigoríficas, entre otros requisitos o sistemas necesarios. Los productos pueden conservarse en atmósferas deficientes en oxígeno o fumigados durante su almacenamiento o justo antes de su envío, para evitar oxidaciones en el caso de frutas o descomposición. (ESPASA)

a) Extracción

Para extraer un alimento específico de la fruta, los cereales o los líquidos, debe utilizarse uno de los métodos siguientes: trituración, machacado o molienda, extracción por calor, utilización de disolventes, secado y filtrado. (Berkowitz, D. 2009, c.67 p. 3)

La trituración, el machacado y la molienda suelen ser operaciones preparatorias, todos estos procesos hoy en día pueden facilitarse a través de la automatización, cuya contribución disminuyó el tiempo de realización de estos procedimientos. Incluso en el caso de pequeñas empresas, se han ideado máquinas que en menor magnitud hacen trabajos similares a las de las máquinas empresariales de las grandes empresas, por lo que ningún negocio quedó aislado de esta herramienta.

b) Procesos de fabricación

Existen bastantes operaciones para elaborar alimentos y algunas pueden ser únicas y propias de la industria en que se aplica, los siguientes procedimientos son los más generales: fermentación, cocción, deshidratación y destilación.

La fermentación suele obtenerse mediante la adición de microorganismos a los productos previamente preparados, se utiliza en la elaboración del queso, la fabricación de cerveza, la industria de vinos y otras bebidas alcohólicas.

La cocción participa en muchos otros procesos, como el enlatado y la conservación de carne, pescado, verduras y frutas, en la industria de carne precocida y en la elaboración de pan. También se aprovecha con recipientes herméticos para producir una concentración del producto como el caso del refinado de azúcar y elaboración de pasta de tomate.

La deshidratación es un proceso por el cual los alimentos pierden gran cantidad, por no decir en su completa totalidad, de sus líquidos internos. Se aplica a numerosas frutas tropicales y puede efectuarse mediante la utilización de secadores fijos o túneles de secado u otros métodos, como en la producción de café y té. También existen métodos de sacado al vacío y congelación, en la que el producto se congela inicialmente en estado sólido y se seca con posterioridad al vacío en una cámara de calor.

La destilación se utiliza mayormente en la fabricación de bebidas alcohólicas. El líquido fermentado, tratado para separar el grano o la fruta, es vaporizado en un alambique. El vapor condensado se recoge a continuación en forma de alcohol etílico, bebidas alcohólicas como el pisco, el ron y el sake con claros ejemplos.

2.3.3. Sistema dosificador de polvo

Para el desarrollo de un dosificador de polvo es necesario conocer conceptos relacionados con el diseño de la máquina dosificadora: partes de un dosificador, dispositivos de ayuda para el flujo, material para el diseño mecánico, control y sensoria, transmisiones y reductores, sistemas de control y características del material a dosificar.

A continuación, se hará una breve descripción de cada una de estas partes.

2.3.3.1. Partes de un dosificador

El dosificador es una herramienta cuya función es la de proveer una cierta cantidad requerida de un producto, esta debe ser muy precisa y debe ser realizada en un lapso de tiempo estimado.

Existen varios tipos de dosificadores, separados mayormente por su método para dosificar, pero todos presentan parecido en las partes que lo constituyen. (García, 2012) Como se puede ver en la figura 11, las partes de un dosificador en general son la tolva de almacenamiento, el sistema dosificador y la boquilla o tubo de descarga

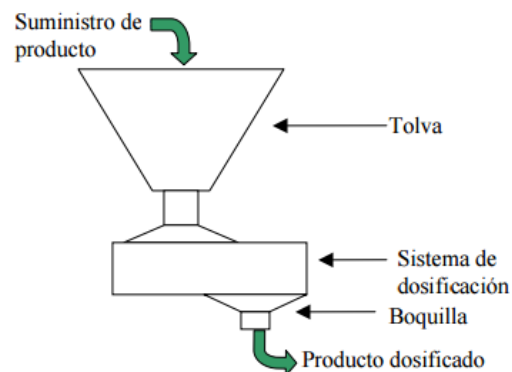


Figura 11. Partes de un dosificador

Fuente: (García, 2012, p. 65)

- Tolva

La tolva es la entrada al sistema de dosificación, puede ser un embudo o una faja transportadora. Su principal propósito es el de recibir el producto a dosificar y mantener separado una cantidad del mismo fuera del sistema de dosificación.

- Sistema Dosificador

Es la parte más importante del dosificador y el elemento que define el método por el cual el dosificador realizará su trabajo. Los métodos de dosificación se separan en dos: por volumen o por peso, según las características del producto y el grado de precisión que se desea.

- Boquilla

Es el tubo de descarga de un dosificador y el punto de salida del producto dosificado. Normalmente se le conecta a otra máquina, comúnmente a una envasadora. Su función es la de direccionar el producto medido y evitar riesgos para los operarios en caso de tratarse de un producto químico.

2.3.3.2. Tipos de dosificadores

Según García (2012), para seleccionar el dosificador adecuado se deben tener en cuenta las siguientes características:

- Naturaleza y características de la sustancia a manipular
- Precisión deseada
- Despacho de los componentes
- Cantidad de dosis necesaria o dinámica del despacho
- Modo de servicio

Se distinguen en 3 clasificaciones

- De sólidos secos y sólidos en polvo
- De líquidos
- De gas

Dosificadores de sólidos secos y polvo

a) Dosificadores Volumétricos

Estos dosificadores son alimentados por tolvas dotadas con un agitador de paleta que asegura una alimentación uniforme, también impide que el material se estanque o se formen cúmulos y vacíos.

Los mecanismos volumétricos más conocidos y utilizados son los siguientes:

- Dosificadores de tornillo
- Dosificadores de compuerta rotativa
- Dosificadores de banda rodante

La elección de un tipo de dosificador volumétrico está en función de la naturaleza de la sustancia, de su fluidez y del rango de la dosis necesaria.

La calibración de estos mecanismos deberá ser verificada periódicamente en particular si la masa volumétrica está sujeta a variaciones.

Dosificadores de tornillo

Como dice el nombre, su elemento principal es un tornillo ubicado en la parte inferior de la tolva de alimentación y que libera un determinado volumen de producto en cada vuelta.

Este mecanismo puede estar en funcionamiento de manera intermitente o continua. Este tipo de dosificador es el más utilizado por el tipo de producto o por las necesidades en la dosificación y no por la exactitud en el ingreso de la sustancia. Debido a que, en algunos casos, se trabajan con sólidos de forma irregular.

En la figura 12 se puede ver un dosificador que trabaja usando un dosificador de tornillo movilizado utilizando un motor.

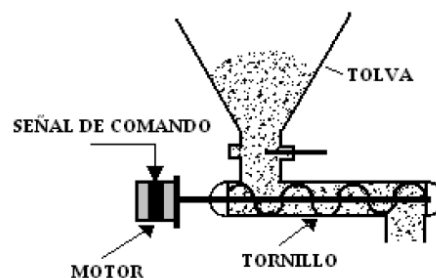


Figura 12. Dosificador de tornillo

Fuente: (García, 2012, p.95)

Dosificador de compuerta rotativa

El elemento principal de este dosificador lo constituye una compuerta rotativa de construcción simple y robusta, es menos preciso que el mecanismo de tornillo, debido al tiempo de respuesta a la hora de cerrar la compuerta y dependiendo además de la uniformidad en el material a dosificar.

Para controlar la velocidad del motor, se le equipa una caja reductora o un variador de velocidad este último siendo el menos aplicado.

En la figura 13 se muestra un dosificador de paletas, como se puede apreciar la cantidad de material por zona no siempre va a ser igual, dando así un error entre cada dosificación.

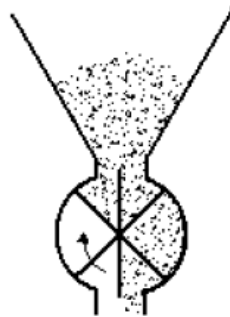


Figura 13. Dosificador de paletas

Fuente: (García, 2012 p. 96)

Dosificador de banda rodante

El dosificador de banda rodante permite el paso de productos a través de una banda transportadora al dejar que este atravesase primero por una compuerta de salida regulable. Posee dos parámetros importantes los cuales son la velocidad de la banda y la regulación de la compuerta que permite el paso de material. Se puede observar la imagen básica de un dosificador de este tipo en la figura 14.

Este dosificador relativamente simple no conviene para los sólidos de carácter fundible como el carbón activo que puede traer problemas de estancamiento.

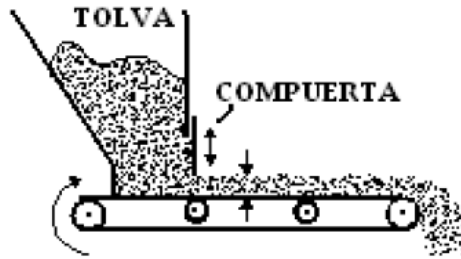


Figura 14. Dosificador de banda rodante

Fuente: (García, 2012, p. 96)

b) Dosificador gravimétrico

Estos sistemas son más precisos que los volumétricos debido a que la variación de masa volumétrica no influye en la dosis, sino que priorizan el peso del material por sobre la cantidad de espacio que ocupan, los más utilizados son:

- Dosificadores de banda
- Dosificadores de pérdida de peso

Dosificadores gravimétricos de banda

Similar a un volumétrico de banda, la diferencia es el control continuo en la salida de masa, por la ponderación de la cinta transportadora al mismo tiempo.

Mediante el control de la velocidad de la banda y de la posición de la compuerta a la salida de la tolva determinan la cantidad del producto sobre la banda, el controlador maneja estos parámetros de acuerdo a la cantidad de producto a dosificar. En la figura 15, puede observarse la incorporación de la balanza en el dosificador.

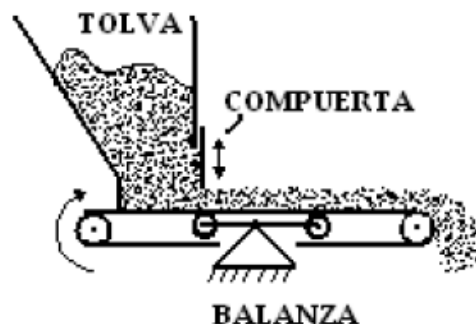


Figura 15. Dosificador de banda rodante con balanza

Fuente: (García, 2012, p.97)

Dosificador de pérdida de peso

Funciona de manera similar a su contraparte volumétrica. Con estos sistemas de dosificación, la mayoría de los dosificadores volumétricos pueden ser adaptados y transformados en dosificadores gravimétricos por pérdida de peso. Este mecanismo se usa más en la dosificación de granos y no suele usarse con elementos muy grandes o irregulares. La vista de su funcionamiento se puede observar en la figura 16.

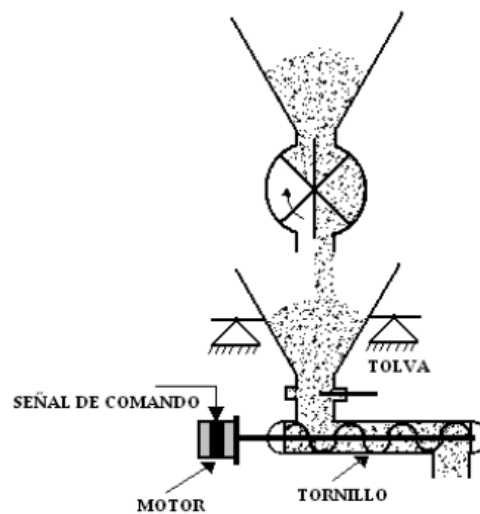


Figura 16. Dosificador gravimétrico, por la combinación de tres volumétricos

Fuente: (García, 2012, p.97)

2.3.3.3. Componentes en un dosificador

Una vez se determina el tipo de dosificador se desea usar se tiene que escoger entre toda una gama de métodos, componentes de acuerdo a las características con las que se desee el dosificador cuenta.

De acuerdo al tipo de material se decidió el tipo de dosificador, las cantidades de material, la precisión de la dosificación, el método de transporte, todo debe decidirse de acuerdo al tipo de dosificador y a partir de esto se escogen los componentes que harán los sistemas del dosificador.

2.3.3.4. Sistemas de alimentación

Existen varios sistemas de alimentación, independiente del tipo de material que se desea dosificar, existen sistemas que permiten a la tolva enviar el material al sistema de dosificación, en algunas ocasiones se utilizan uno o más sistemas en conjunto.

- a) Tolvas vibratorias. Se usan para ampliar la abertura de los depósitos de almacenamiento y provocar el flujo al romper los puentes formados por el material.

Existen dos tipos de tolvas vibratorias:

- Giratorias: En las que la vibración se aplica perpendicularmente al canal de flujo
- Torbellino: El proporcionar una elevación y una oscilación al material rompe los puentes que se forman.

- b) Alimentadores de tornillo sinfín. Estos sistemas ayudan a descargar depósitos. En este caso es importante la necesidad de un tornillo helicoidal de paso variable para producir un arrastre uniforme del material por la apertura completa de la tolva.

- c) Alimentadores de banda. Estos alimentadores logran dar una alimentación uniforme a partir de un depósito siempre y cuando no se produzcan puntos muertos en el canal de flujo por encima de la banda del alimentador. Para asegurar el flujo de productos que se adhieren a la pared frontal del depósito, se necesita una placa golpeadora inclinada al frente de la tolva.

- d) Alimentadores de banco. Este tipo de alimentadores aplica el mismo principio que el de banda, el faldón se eleva por encima del banco en un patrón en espiral para proporcionar una capacidad mayor en la dirección de rotación. La reja situada por fuera del depósito, solo arrastra el material que fluye fuera del faldón.

- e) Alimentadores vibratorios. Estos alimentadores también proporcionan un flujo uniforme a lo largo de una abertura ranurada de longitud limitada. Pueden presentar problemas para productos pegajosos.

- f) Alimentadores de estrella. Este tipo de alimentadores cuenta con un transportador recolector de tornillo sin fin.

2.3.3.5. Componentes en un sistema de alimentación por vibración

Los alimentadores vibratorios son de los más utilizados cuando se trabajan con pequeñas porciones, debido a la uniformidad previamente mencionada en el capítulo anterior. Cabe mencionar además que cuenta también con varios métodos por el cual se puede realizar este trabajo. Entre estos están los siguientes ejemplos:

- Vibración por campo magnético
- Vibración por motor

a) Vibración por campo magnético.

El funcionamiento de la base vibratoria por campo magnético se basa en el funcionamiento de una bobina que funciona como un electroimán. Cuenta con una pequeña placa de hierro que es atraído por un electroimán que es alimentado con fuente alterna.

En la figura 17 se muestra un ejemplo básico de la aplicación de un electroimán en un sistema vibratorio, en este se muestra cómo al encenderse el sistema, el electroimán cumple con la función de atraer el mecanismo que corta el flujo de corriente, desactivando el circuito y apagando el electroimán, solo para que el circuito se cierre de nuevo y fluya nuevamente la corriente, y el ciclo se repite.

De esta manera, se efectúa un constante encendido y apagado en el electroimán que genera la vibración del sistema.

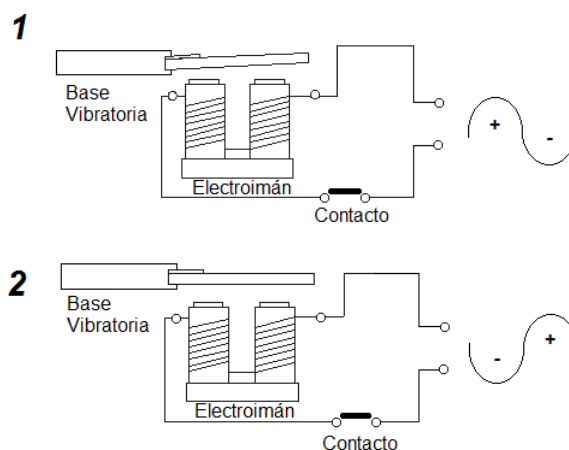


Figura 17. Esquema de aplicación de un electroimán

Fuente: <https://mekonik.wordpress.com/2009/03/17/arduino-magnet-levitation/>

El electroimán

Los electroimanes se componen a partir de un gran número de espiras muy próximas entre sí de alambre que crean el campo magnético. Las espiras se enrollan alrededor de un núcleo magnético hecho de un material ferromagnético, mayormente el hierro. Cuando una carga eléctrica pasa alrededor del núcleo de metal, dicho núcleo absorbe el campo eléctrico generado por la corriente, el núcleo magnético concentra el flujo magnético y hace un imán más potente.

La principal ventaja de un electroimán sobre un imán permanente es que el campo magnético se puede cambiar de forma rápida mediante el control de la cantidad de corriente eléctrica en el devanado. Sin embargo, a diferencia de un imán permanente que no necesita de alimentación, un electroimán requiere un suministro continuo de corriente para mantener los campos, si se deja de alimentar con esta carga pierde sus propiedades magnéticas en un lapso de tiempo.

La figura 18 muestra el esquema del funcionamiento básico de un electroimán, se puede observar el flujo del campo magnético y el flujo de la corriente que circula el bobinado.

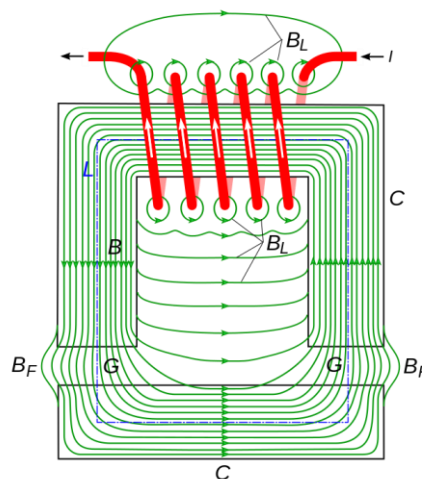


Figura 18. Esquema de un electroimán

Fuente: https://upload.org/commons/thumb/d/d0/Electromagnet_with_gap.svg/220px-Electromagnet_with_gap.svg.png

Calcular la fuerza sobre materiales ferromagnéticos es, en general, bastante complejo. Esto se debe a las líneas de campo de contorno y a las complejas geometrías. Puede simularse usando análisis de elementos finitos. Sin embargo,

es posible estimar la fuerza máxima bajo condiciones específicas. Si el campo magnético está confinado dentro de un material de alta permeabilidad, como es el caso de ciertas aleaciones de acero, la fuerza máxima viene dada por la fórmula (1):

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0} \quad (1)$$

Siendo:

- F: la fuerza en Newton;
- B: el campo magnético en Tesla;
- A: el área de las caras de los polos en m²;
- μ_0 : la permeabilidad magnética del espacio libre.

En el caso del espacio libre (aire), siendo la fuerza por unidad de área (presión):

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{Hm}^{-1}$$

$$P \approx 398 \text{ kPa}, \text{ para } B = 1 \text{ tesla}$$

$$P \approx 1592 \text{ kPa}, \text{ para } B = 2 \text{ teslas}$$

En un circuito magnético cerrado el campo se calcula con la fórmula (2):

$$B = \frac{\mu NI}{L} \quad (2)$$

Siendo:

- N es el número de vueltas del cable en torno al electroimán;
- I es la corriente en amperios;
- L es la longitud del circuito magnético.

Sustituyendo (2) en (1), se obtiene, como resultado la fórmula (3):

$$F = \frac{\mu N^2 I^2 A}{2L^2} \quad (3)$$

La parte fija corresponde a la base donde se encuentra el electroimán, mientras que la parte móvil es la base soportada por un elemento elástico, el diagrama en la figura 19. Cuando el electroimán es alimentado provoca un campo inducido en el aire lo que causa una atracción entre las partes del circuito magnético.

El área de distancia x empieza a oscilar en variación al movimiento generado por la elasticidad del resorte. Un factor en tener en cuenta es como se controla la orientación del movimiento, si se desea que este movimiento sea netamente lineal

habría que recibir un tipo de apoyo, esto podría generar una fricción que reduciría la intensidad de la vibración.

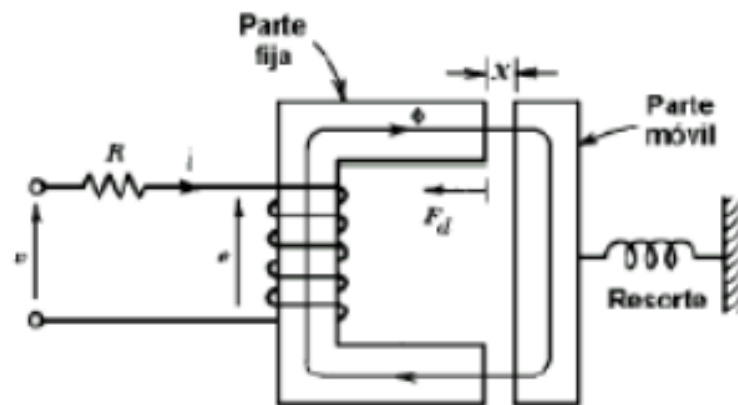


Figura 19. Funcionamiento de un electroimán

Fuente: Electroimanes - Editorial ECU páginas 24

Para calcular la fuerza que ejerce el electroimán se recurre a la ley de Maxwell, la cual se simplifica en la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\mu * N^2 * S * (V_0 * \text{sen}\omega t)^2}{2(a - x)^2 * R^2} \quad (4)$$

Asumiendo que:

μ = permeabilidad magnética del aire, constante en $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

N = número de vueltas del embobinado en el electroimán

S = área de contacto en la parte fija y la parte móvil

V = voltaje de la corriente

$(a - x)$ = diferencia de la distancia máxima y desplazamiento de la parte móvil

R = resistencia del embobinado

Para controlar la fuerza del electroimán, se pueden dar valores a las variables. N por un lado será una constante, ya que no es conveniente modificar el bobinado de un electroimán, lo mismo pasa con la resistencia del mismo R y la superficie de contacto S , que una vez diseñado no se podrá cambiar, por lo tanto el factor a regular será el voltaje (Electrotecnia).

b) Vibración por motor.

El método para generar vibración por motor consiste en el manejo de un motor, en el cual tiene adherido una excéntrica a su eje, como se puede observar en la figura 20.

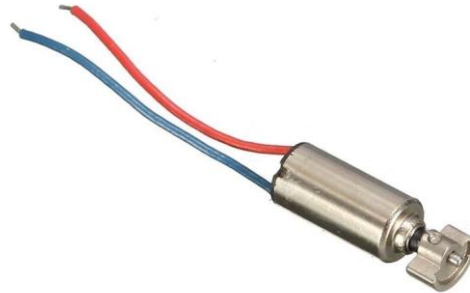


Figura 20. Ejemplo de un motor con excéntrica

Fuente: <https://www.e-ika.com/motor-vibracion-en-miniatura-4x8mm>

Las excentricidades son una de las causas más comunes de vibración en una maquina rotativa, a veces ocurren por un mal diseño, un mal posicionamiento en el caso de motores, pero el problema siempre radica en que la línea central el eje no es la misma que la línea central del rotor.

La excentricidad es en realidad una fuente común de desbalanceo, y se debe a un mayor peso de un lado del centro de rotación que del otro, por lo tanto, el centro de rotación verdadero es distinto de la línea central, esto genera un ángulo de variación en el movimiento que genera vibración al entrar en conflicto con el momentum y resistencia del cuerpo.

2.3.3.6 Sistema de medición y dosificación

Una vez decidido el sistema por el cual se va a alimentar el sistema y cómo este ingresa al sistema de dosificación se deben escoger los métodos por el cual se realizará la medición de cantidad de material y su dosificación.

Para determinar del peso de un objeto para análisis se emplean diversos tipos de balanzas que funcionan bajo distintos principios. La selección del tipo de balanza más adecuado depende del tamaño y de la masa del material, de la exactitud

necesaria, de las condiciones de operación, de la rapidez deseada y del costo del instrumento.

Cuando se utiliza la medición del peso en un análisis cuantitativo, generalmente se incurre en una serie de pruebas y errores, se halla la sensibilidad del componente sensorial y se determina su rango de variación. A partir de este se trabaja con un rango de acción, un rango en el que se estima estará trabajando constantemente la balanza. Finalmente se trabaja esta información en la balanza.

2.3.3.7 Componentes en un sistema de medición y dosificación

Para determinar el peso del producto almacenado disminuyendo e mayor número de errores (balanzas defectuosas, mal calibradas, error de operadores, etc.) se utiliza una celda de carga.

En conjunto del componente de medición son necesarios además incorporar el método por el cual se realice la dosificación. El método escogido fue el uso de motores para abrir una compuerta que deje el paso del material.

A) Celda de Carga

Existen varios tipos de medidores de masa (Kg.), entre estos las balanzas, básculas, espectrómetros de masa y catarómetro.

La celda de carga es una estructura diseñada para soportar cargas de compresión, tensión y flexión. En su interior se encuentra uno o varios sensores de deformación llamados *Strain Gages* que detectan los valores de deformación.

Al metal, se le adhieren galgas extensométricas. Las galgas extensométricas consisten en un metal que al flexionarse varía su resistencia. Las galgas se conectan en un arreglo de puente de Wheatstone, de tal forma que al alimentarse con un voltaje entregan una señal de voltaje proporcional a la fuerza aplicada. La señal de voltaje entregada es en el orden de milivoltios. Éste voltaje se representa comúnmente proporcional al voltaje de alimentación y a máxima carga (capacidad de la celda), por ejemplo, 2mV/V nominal. Quiere decir que si se alimentan con 10Vdc la señal que se va a tener a la capacidad máxima es de 20mV. En el caso ideal, la señal es lineal, esto es, para el ejemplo anterior si se aplica el 50% de la capacidad se tendrán 10mV y si se aplica cero fuerzas se obtendrían 0mV.

La señal de la celda se lleva a un convertidor análogo-digital para convertirla a un valor numérico digital, este valor se multiplica por un factor para convertirlo a

unidades de pesaje kg, lb, etc. En sí, las básculas miden la fuerza que genera un objeto y como la Fuerza es igual a la Masa por la aceleración ($F=m.a$) y la aceleración es una constante (la gravedad de la tierra) se puede decir que la Masa es directamente proporcional a la Fuerza. El factor es el que se ajusta en una calibración de ganancia.

En el caso de las plataformas que contienen más de una celda de carga, la capacidad se suma, sin embargo, la señal en milivolts a máxima carga (con la suma de la capacidad) permanece igual (al utilizar caja de sumas). Por ejemplo, para una plataforma con 4 celdas de carga de 1,000kg, con salida de 2mV/V c/u, al alimentarlas con 10Vdc se obtendrán 20mV al tener 4,000kg. Es por eso que, en un indicador digital de peso, la resolución normalmente se especifica en divisiones de la capacidad máxima, esto es, la resolución depende de la capacidad de las celdas de carga utilizadas y no se puede dar en unidades de pesaje. (BasculasPoise)

Las características más importantes de la celda de carga fueron enumeradas por el ingeniero Moises Espinoza en su trabajo de investigación *Diseño y construcción de una celda de carga*:

- a) Sistema medidor de deformación: Debe ser capaz de medir deformaciones con una exactitud de ± 1 u in/in (mt/mt) sobre el rango de deformación de 10% y apto para colocarse como elemento sensor en otros sistemas transductores donde la cantidad desconocida tal como la presión es medida en término de deformación.
- b) Detección y corrección: Mediante su sistema electrónico y un programa de adaptación, puede detectar y a la vez corregir las señales que recibe, actuando como una herramienta adicional de procesamiento.
- c) Posibilidad de interfaz: Las celdas de carga digitales son capaces de procesar señales en peso kg/lb. Newton o péndales de fuerza.
- d) Resistencia: Toda celda de carga tiene límites de resistencia que se establecen al momento de su fabricación, esta capacidad de resistir una carga, permite conocer su aplicación en sistemas mecánicos.
- e) Sensibilidad: La sensibilidad de una celda de carga puede variar por una serie de factores, debe tomarse en cuenta que la aleación de metales en su fabricación es por excelencia una manera de lograr mejores resultados en los procesos de medición de cargas.

La celda de carga puede cumplir la función de una pequeña balanza, dependiendo de las exigencias en peso. Para adaptar la señal de la celda se pueden recurrir a adaptadores, siendo uno de los modelos más usados el HX711 (Naylampmechatronics).

En la figura 21 se puede ver las conexiones físicas del mencionado circuito con la celda de carga.

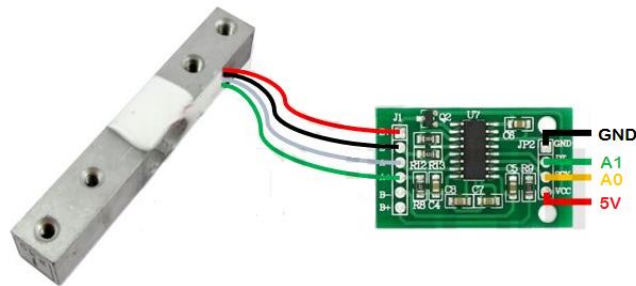


Figura 21. Vista de conexión físicas de una celda de carga

Fuente: Sparkfun.com

B) Acondicionamiento de señal

Por lo general la señal generada de los sensores y otros transductores no va de modo directo a un procesador, pues existe la posibilidad que este no sea capaz de reconocer el tipo de señal, existen muchos rangos y distintos de sensores. En otros casos puede haber problemas de incompatibilidad.

Por esta razón se usan circuitos de acondicionamiento en la mayoría de casos circuitos electrónicos que ofrecen las funciones de amplificar, filtrar, adaptar impedancias y modular o desmodular señales, para que la información obtenida pueda ser tratada y procesada. En la figura 22 se muestra un sistema de acondicionamiento de señal para un sensor de celda de carga utilizando como circuito integrado el circuito adaptador HX711.

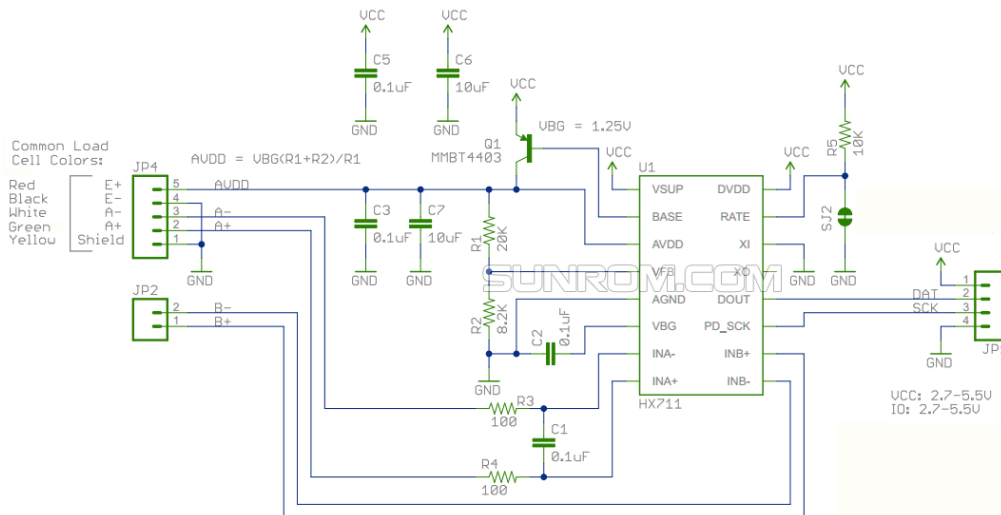


Figura 22. Diagrama de conexiones del HX711

Fuente: <http://www.sunrom.com/p/loadcell-sensor-24-bit-adc-hx711>

En la figura 23 se puede observar, además, los componentes internos en el mencionado circuito acondicionador, como cualquier sistema de adaptación de señales, cuenta con un ingreso especial para la señal a acondicionar, para por un amplificador de señal, un ADC y una interface digital para que la salida del mismo pueda ser medida.

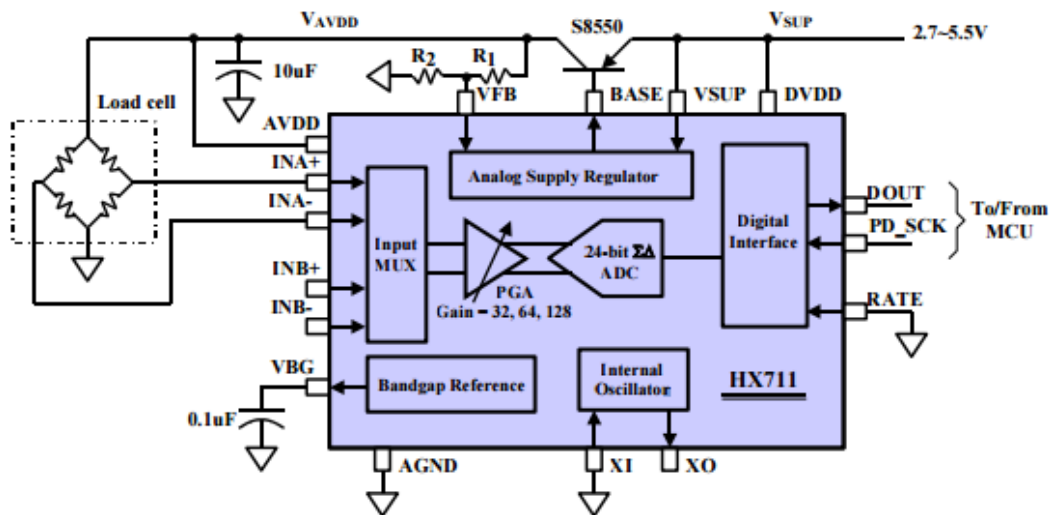


Figura 23. Diagrama interno del HX711

Fuente: <http://www.sunrom.com/p/loadcell-sensor-24-bit-adc-hx711>

C) Actuadores eléctricos

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder.

Existe una gran cantidad de modelos de actuadores y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua.

Entre los tipos de accionadores eléctricos encontramos:

- Relés
- Solenoides
- Motores CC
- Motores AC
- Motores pasó a paso

Motores de corriente continua

Son de los más comunes y económicos, están constituidos, por lo general, por dos imanes permanentes fijados en la carcasa y una serie de bobinados de cobre ubicados en el eje del motor, que habitualmente suelen ser tres. Chapman (2000): “El funcionamiento se basa en la interacción entre el campo magnético del imán permanente y el generado por las bobinas, ya sea una atracción o una repulsión hacen que el eje del motor comience su movimiento” (p. 549).

Características de los motores cc

- Alimentación en continua.
- Devanado inducido en el rotor.
- Muy versátiles.
- Fácil inversión del sentido de giro.
- Amplio rango de velocidades.
- Control preciso de velocidad y posición (Control por armadura)
- Posibilidad de frenado regenerativo.
- Baja inercia / baja inductancia, lo que genera una respuesta rápida.
- Necesidad de conmutación.
- Imán permanente en el estator con escobillas

El funcionamiento del motor de corriente continua se debe al comportamiento de un conductor, por el que pasa una corriente eléctrica, a la cual se le sumerge en un campo magnético. Ilustrado en la figura 24.

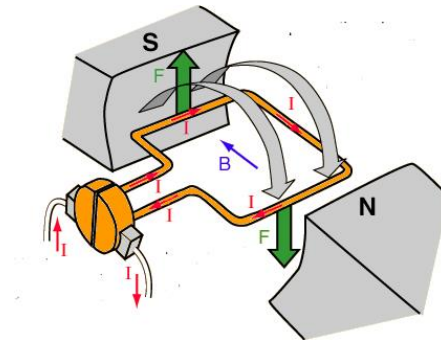


Figura 24. Diagrama de funcionamiento de un motor

Fuente: <http://motores.nichese.com/motor%20cc.htm>

El conductor sufre una fuerza perpendicular al plano formado por el campo magnético y la corriente, de acuerdo con la Fuerza de Lorentz:

$$F = B \times I \times L \times \text{sen}(\theta) \quad (5)$$

F: Fuerza en Newtons

I: Intensidad que recorre el conductor en amperios

L: Longitud del conductor en metros

B: Densidad de campo magnético o densidad de flujo teslas

θ : Ángulo que forma I con B

La corriente pasa por las bobinas del motor, que llevan carga eléctrica. Un motor de corriente directa produce un par gracias a la conmutación mecánica de la corriente, que están en un campo magnético permanente producido por imanes en el estator. El flujo de corriente en el devanado del rotor produce una fuerza de Lorentz sobre el devanado. Debido a que en este caso el motor tiene dos polos, la conmutación se hace por medio de un anillo partido a la mitad, donde el flujo de corriente se invierte cada media vuelta.

Servomotores

También llamado servo, son motores de accionamiento por señal para el control de precisión de velocidad, par motor y posición, su apariencia más popular y su vista interior puede verse en la figura 25. Poseen un mejor desempeño y precisión que otros motores que usan convertidores de frecuencia, ya que éstos no nos proporcionan control de posición y resultan poco efectivos en bajas velocidades.

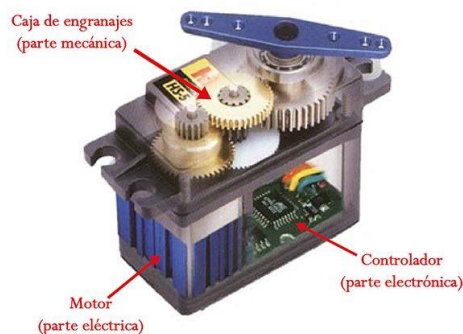


Figura 25. Vista interna de servomotor

Fuente: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>

Un servomotor contiene en su interior un encoder, que cumple la función de decodificador. Este convierte el movimiento mecánico, los giros del eje, en pulsos digitales interpretados por un controlador de movimiento. En la figura 26 se puede observar el recorrido de la señal. También utiliza un driver, que en conjunto forman un circuito para comandar posición, torque y velocidad. Hoja de datos del servomotor FUTABA en el Anexo 9.

Los componentes de un servomotor son:

- Un motor eléctrico: encargado de generar el movimiento a través de su eje.
- Un sistema de control: controla el movimiento del motor mediante el envío de pulsos eléctricos.
- Un sistema de regulación: Está conformado por engranajes con los cuales puede aumentar la velocidad y el par o disminuirlas.
- Un potenciómetro: Se encuentra conectado al eje central y permite en todo momento saber el ángulo en el que se encuentra el eje del motor.

El uso de un servomotor no se limita únicamente a la de proyectos o trabajos menores, su control de posición permite el funcionamiento en interruptores y accionadores electrónicos.

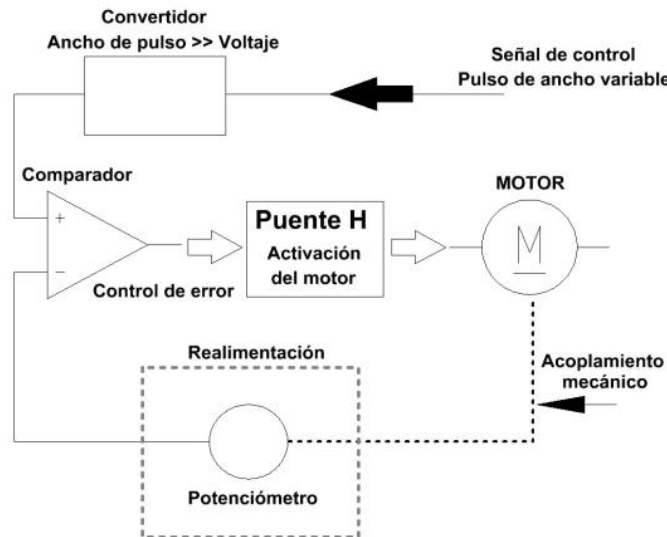


Figura 26. Dinámica del funcionamiento de un servomotor

Fuente: <https://clr.es/blog/es/servomotor-cuando-se-utiliza/>

D) Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado que es el componente principal de procesamiento y control de una máquina. Es como una pequeña computadora que incluye sistemas para controlar elementos de entrada/salida, tienen distintos tamaños y capacidades, como se puede ver en la figura 27.

También incluye a un procesador y una memoria que puede guardar el programa y sus variables (flash y RAM). Su función es la de procesar información, tomar decisiones conforme está programado y mandar señales de respuesta a los distintos componentes.

El microcontrolador se aplica en toda clase de maquinarias que necesitan seguir un proceso automático dependiendo de las condiciones de distintas entradas.

A pesar de su versatilidad, un microprocesador no es una computadora autónoma en un chip. No puede funcionar sin la ayuda de otros circuitos integrados, como RAM y ROM, así como de los sistemas de acondicionamiento que le permiten interactuar con otros componentes.

Era solo una cuestión de tiempo, entonces, antes de que las empresas de semiconductores lograran meter todo ese circuito auxiliar en el mismo chip, junto con la unidad aritmética y lógica que compone un microprocesador. (Augarten, 1983)

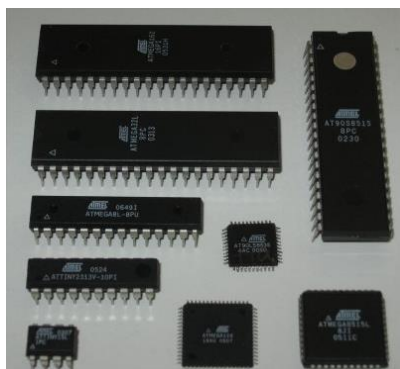


Figura 27. Ejemplos de microcontroladores en distintos tamaños

Fuente: <https://sites.google.com/site/portafolioarqcomp/unidad-5-arquitecturas-embedidas-o-microcontroladores-mcus>

Tal como se muestra en la figura 28. Un microcontrolador al menos tendrá entre sus componentes las siguientes partes:

- Microprocesador.
- Periféricos (unidades de entrada/salida).
- Memoria.

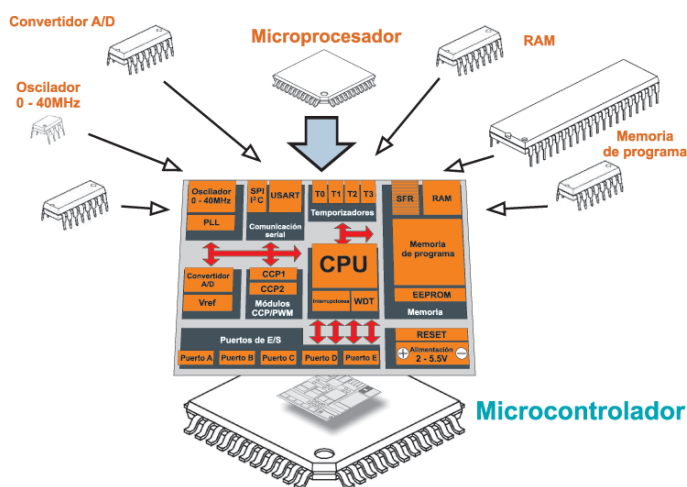


Figura 28. Partes de un microprocesador

Fuente: <https://www.mikroe.com/rs/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-basic/introduccion-al-mundo-de-los-microcontroladores>

a) Microprocesador

Para el microcontrolador, un microprocesador es el conjunto de tres sistemas digitales: ALU, unidad de control y registros. Se podría interpretar, además, que los microprocesadores son el núcleo del microcontrolador.

b) Periféricos

Son módulos electrónicos digitales que se encuentran empotrados en el microcontrolador y permiten controlar distintas funciones de los puertos. Adicionalmente, los periféricos pueden cumplir con funciones adicionales o secundarias, como el procesamiento de señal analógica a digital. Dichas funciones se pueden configurar mediante registros de propósito específico.

c) Memoria

La memoria de los microcontroladores puede dividirse en cuatro tipos distintos: para el programa, generalmente es una memoria interna del tipo FLASH. También para las variables de los programas se llama RAM. Los registros de propósito general que utiliza el procesador para guardar los resultados de las operaciones, así como los datos que se traen y llevan a la RAM y finalmente la memoria externa que se utiliza para guardar mediciones y/o datos de calibración. (Marmolejo, 2017)

Controlador ATmega328

Dentro de la inmensa gama de controladores, los ATmega328 son bastantes populares en la edificación de proyectos básicos de control, así como prototipos menores de sistemas electrónicos. A parte de ser compatibles con distintos tipos de lenguajes de programación.

El Atmega328 AVR 8-bit es un Circuito integrado de alto rendimiento que está basado un microcontrolador RISC, combinando 32 KB ISP flash una memoria con la capacidad de leer-mientras-escribe.

Dentro de sus aspectos de memoria y procesamiento, cuenta con 1 KB de memoria EEPROM, 2 KB de SRAM, 23 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores flexibles/contadores con modo de comparación, interrupciones internas y externas, programador de modo USART, una interfaz serial orientada a byte de 2 cables, SPI puerto serial, 6-canales 10-bit Conversor A/D (canales en TQFP y QFN/MLF packages).

Como temporizador programable tiene "watchdog timer", programable con oscilador interno, y cinco modos de ahorro de energía seleccionables por software. El dispositivo opera entre 1.8 y 5.5 voltios. (Datos recopilados de electronicoscaldas.com)

La tabla 2 indicando los parámetros básicos del microcontrolador:

Tabla 2. Parametros ATmega328

Parámetros	Valores
Flash	32 Kbytes
SRAM	2 Kbytes
Cantidad de pines	28
Frecuencia máxima	20 MHz
CPU	8-bit AVR
Pines de E/S	23
Interrupciones Internas	24
SPI	1
UART	1
Canales ADC	8
Resolución de ADC	10
EEPROM	1K
Canales PWM	6
Voltaje	1.8 - 5.5 V
Timers	3

Fuente: Elaboración Propia, datos sacados de sparkfun.com

Controlador ATmega2560

También dentro de la familia de los controladores ATmega, una versión más potente de la anterior mencionada se encuentra el ATmega2560, el cual físicamente ya contiene incluso el doble de tamaño de su versión más simple.

Debido a su mayor cantidad de entradas y salidas, y su mayor potencia de procesamiento suele ser usado en mayor rango de sistemas que su contraparte pensada en proyectos de electrónica.

El modelo ATmega2560 tiene 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP, y una opción a botón de reinicio. Debido a su compatibilidad con la versión 328, cualquier programa puede adaptarse para pasar de un controlador a otro. En la tabla 3 se puede visualizar las propiedades del controlador, este controlador resulta ser usado también en proyectos electrónicos de mayor escala.

Tabla 3. Parámetros AT2560

Microcontroller	AT2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Fuente: Datos conseguidos de sparkfun.com

2.3.3.8 Elementos para el control de electrónica

Control por modulación de ancho pulso

La modulación de ancho de pulso (PWM en inglés) de una señal es una técnica que logra producir el efecto de una señal analógica sobre una carga, a partir de la variación de la frecuencia y ciclo de trabajo de una señal digital. Según las gráficas

de la figura 29, el ciclo de trabajo describe la cantidad de tiempo que la señal está en un estado lógico alto, como un porcentaje del tiempo total que esta toma para completar un ciclo completo. Los datos actuales fueron recopilados por la página de National Instruments.

La frecuencia determina que tan rápido se completa un ciclo (por ejemplo: 1000 Hz corresponde a 1000 ciclos en un segundo), y por consiguiente que tan rápido se cambia entre los estados lógicos alto y bajo. Al cambiar una señal del estado alto a bajo a una tasa lo suficientemente rápida y con un cierto ciclo de trabajo, la salida parecerá comportarse como una señal analógica constante cuanto esta está siendo aplicada a algún dispositivo.

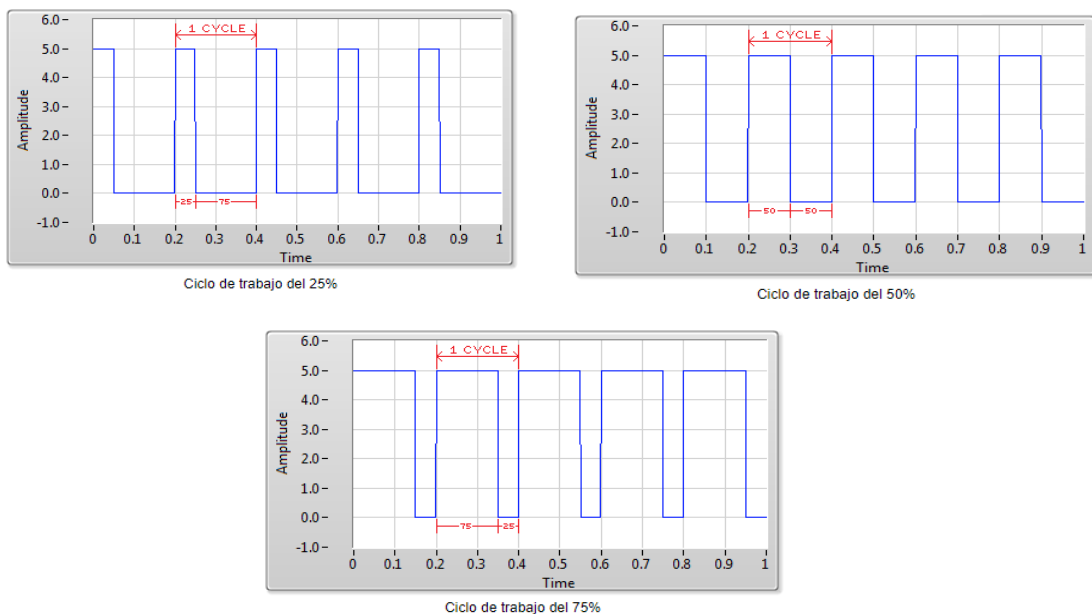


Figura 29. Gráfica de muestra de PWM en 25%, 50% y 75%

Fuente: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/AA1BDEA4AA224E3E86257CE400707527>

Las señales de PWM son utilizadas comúnmente en el control de elementos no digitales. Usado mayormente en el control de motores de corriente continua, aunque también pueden ser utilizadas para controlar válvulas, bombas, y algunos otros dispositivos mecánicos. La frecuencia a la cual la señal de PWM se genera, depende de la aplicación y del tiempo de respuesta del sistema que está siendo controlado.

A continuación, se muestran algunas aplicaciones y sus respectivas frecuencias:

- Calentar elementos o sistemas con tiempos de respuesta lentos: 10-100 Hz o superior.
- Motores eléctricos de corriente continua: 5-10 kHz o superior.
- Fuentes de poder o amplificadores de audio: 20-200 kHz o superior.

2.3.3.9 Elementos para la interfaz de usuario

a) Pantalla *Liquid Crystal Display*

Mayormente conocida por sus siglas LCD, es una pantalla delgada, formada por un determinado número de píxeles que se colocan delante de una fuente de luz. Este tipo de pantalla utiliza pequeñas cantidades de energía eléctrica y por eso las pantallas de LCD se utilizan en dispositivos con pilas o baterías.

El LCD se utiliza principalmente en monitores de computación de escritorio o portátiles y de todo tipo, en dispositivos móviles como celulares u ordenadores palm, GPS, y en muchas otras pantallas o 'displays' de artefactos como electrodomésticos o pequeños dispositivos que requieren un bajo consumo de energía.

En algunos casos pueden ser adaptados con colores, sin embargo, en muchos se aprovecha su simpleza de no necesitar colores y trabajar directamente con un fondo verde con letras azules.

Dentro de los usos de la maquinaria y la electrónica, la pantalla LCD trabaja con distintas cantidades de caracteres, clasificándose por la cantidad de caracteres horizontales y verticales, siendo la de 16x2 caracteres la más común de todas.

En la figura 30 se puede observar el diagrama de bloques de la mencionada pantalla, como se puede observar en este, la pantalla cuenta con un módulo electrónico que incluye el controlador y el driver del mismo, estos se encargan de recibir las señales enviadas por el programa y mandarles como información de segmentos para el panel del LCD. (Definición ABC) Hoja de datos en Anexo 6.

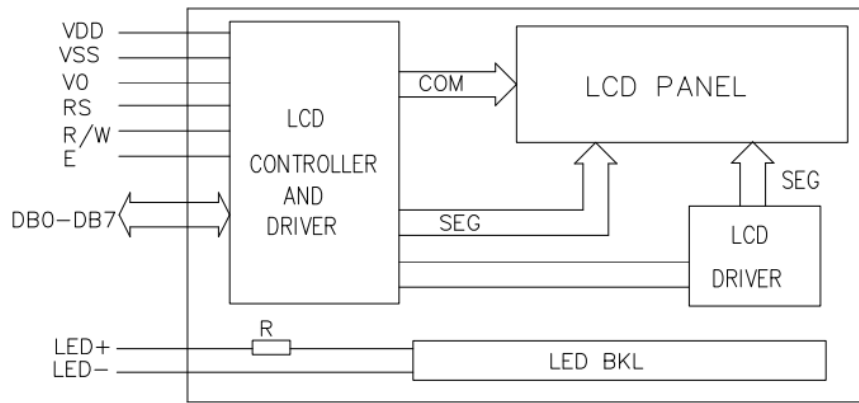


Figura 30. Diagrama de bloques de una pantalla LCD de 16x2

Fuente: Datasheet de pantalla LCD

Este tipo de pantalla puede ser alimentada con 5V, las características principales de la variante LCD 16x2 son:

- Trabaja con puntos para generar los caracteres, utilizando un orden de 5x8 puntos por caracter.
- Tal cual, mencionado en el tipo, es de 16 caracteres horizontales y 2 por vertical
- Trabaja con interfaces MPU de 4 y 8 bits
- Puede regular su luminosidad
- Cuenta con controlador y driver propio

Por este tipo de características es utilizado comúnmente en proyectos de electrónica.

b) Teclado de matriz

Los teclados de matriz son muy utilizados en los proyectos de electrónica debido a su versatilidad, pues permiten disponer de una completa interfaz de entrada consumiendo un número mínimo de puertos de entrada y salida.

Esto se puede ver en el teclado de matriz de la figura 31, en este se ocupan 8 bits en 4 estados horizontales que funcionan como salida y 4 verticales que funcionan como entradas, si el mismo teclado se implementase conectando cada uno de los pulsadores directamente a los puertos se ocuparían 16, uno por cada pulsador. Esto terminaría utilizando el doble de entradas, cantidad cuyo deseo de reducir es el principal propósito de este método.

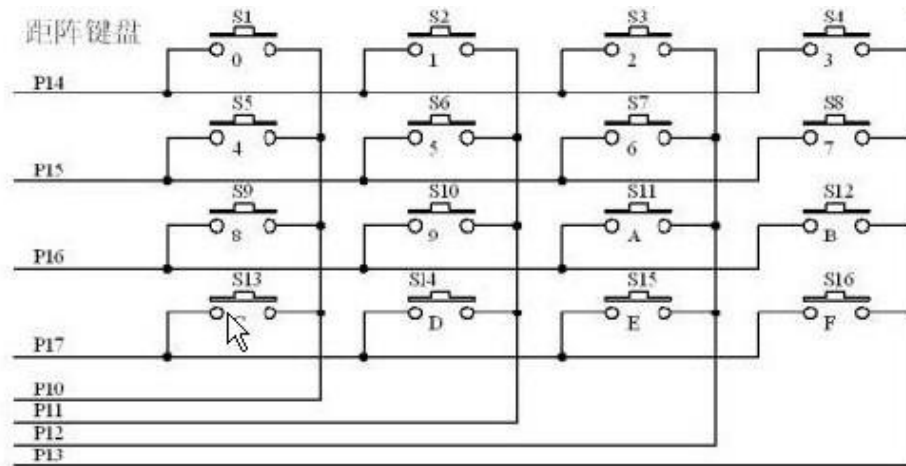


Figura 31. Diseño electrónico de un teclado de matriz de 4x4

Fuente: http://www.cnclablb.com/product_responsive.aspx?prid=185

El teclado del esquema consta de 4 entradas y 4 salidas. Las 4 entradas del teclado van conectadas a 4 bits de salida de algún puerto del microcontrolador. Las 4 salidas del teclado también van conectadas a 4 bits de un puerto del microcontrolador pero en este caso de entrada. Así, desde el microcontrolador se puede escribir sobre los puntos P10 – P13 y leer lo que llega a través de P14 – P17.

c) Librerías de un programa

Se conoce como librerías a cierto tipo de archivos que se pueden importar o incluir en un programa. Estos archivos contienen las especificaciones de diferentes funcionalidades ya construidas y utilizables que se pueden agregar al programa, como por ejemplo leer del teclado o mostrar algo por pantalla entre muchas otras más.

Al poder incluir estas librerías con definiciones de diferentes funcionalidades cumplen con ahorrar gran cantidad de espacio y declaraciones de variables en un programa.

Las librerías no son únicamente archivos externos creados por terceros, también es posible crear librerías propias y utilizarlas. Las librerías pueden tener varias extensiones diferentes, las más comunes son: .lib, .bpl, .a, .dll, .h y algunas más ya no tan comunes.

c.1) Librería <Keypad.h>

Librería para usar teclados de estilo matriz con el Arduino. A partir de la versión 3.0 es compatible con varias pulsaciones de teclas.

Fue creado para promover la simplificación de Hardware. Mejora la legibilidad del código al ocultar las llamadas `pinMode` y `digitalRead` para el usuario. La librería *Keypad* es parte de las bibliotecas de abstracción de hardware.

No necesitará resistores o diodos externos porque la biblioteca utiliza las resistencias internas de *pull-up* y adicionalmente asegura que todos los pines de la columna que no se utilizan sean de alta impedancia.

El propósito de esta librería en el programa es para definir los caracteres del teclado, reconocerlos y trabajar en base a estos. Los reconoce a través del camino que recorre la corriente al pasar por los pulsadores, ubicando por posición vertical y horizontal la elección dentro de la matriz de opciones.

c.2) Librería <LiquidCrystal.h>

Esta biblioteca permite que una placa controle pantallas LiquidCrystal (LCD) basadas en el chipset Hitachi HD44780 (o un compatible), que se encuentra en la mayoría de las pantallas LCD basadas en texto. La biblioteca funciona en modo de 4 u 8 bits (es decir, utilizando 4 u 8 líneas de datos además de las líneas RS, Enable y, opcionalmente, las líneas de control RW).

La librería se enfoca en definir los caracteres que ingresan y luego son impresos en la pantalla al usar el circuito integrado previamente mencionado. La librería cuenta con múltiples opciones ya incorporadas, como las de imprimir de manera consecutiva o reemplazando un texto anterior, oscilar el contenido de la pantalla. Dentro de su operación interna se debe definir la cantidad de caracteres que tolera la pantalla, tanto de manera horizontal como vertical, y la posición del cursor a la hora de ingresar mencionados caracteres.

c.3) Librería <Servo.h>

La librería Servo se usa para controlar de manera simple los servomotores de movimiento angular.

Los servos tienen engranajes integrados y un eje que se puede controlar con precisión. Los servos estándar permiten que el eje se posicione en varios ángulos,

generalmente entre 0 y 180 grados. Los servos de rotación continua permiten ajustar la rotación del eje a varias velocidades.

La biblioteca Servo admite hasta 12 motores en la mayoría de las placas Arduino y 48 en la Arduino Mega. En tableros que no sean Mega, el uso de la biblioteca desactiva la funcionalidad de `analogWrite ()` (PWM) en los pines 9 y 10, independientemente de si hay un servo en esos pines. En Mega, se pueden usar hasta 12 servos sin interferir con la funcionalidad de PWM; el uso de 12 a 23 motores desactivará PWM en los pines 11 y 12.

Los servomotores tienen tres cables: potencia, tierra y señal. El cable de alimentación suele ser rojo y debe conectarse al pin de 5 V de la placa. El cable de tierra es típicamente negro o marrón y debe conectarse a un pin de tierra en el controlador. El pin de señal es típicamente amarillo, naranja o blanco y debe conectarse a un pin digital en el circuito. Tenga en cuenta que los servos consumen mucha energía, por lo que, si necesita manejar más de uno o dos, probablemente deba alimentarlos desde un suministro independiente.

c.4) Librería <HX711.h>

Esta librería, también es un driver, es necesaria con el uso del circuito integrado, interactúa con el convertidor analógico al digital (ADC) de 24 bits Avia Semiconductor HX711 para básculas de peso.

La librería proporciona una función que reestablece la escala a 0. Muchas otras implementaciones calculan el peso base cuando el ADC se inicializa solamente.

Proporciona una función para poner el ADC en un modo de bajo consumo.

Cuando el pin PD_SCK cambia de bajo a alto y se mantiene en alto durante más de 60 μ s, HX711 entra en el modo de apagado. Caso de uso: balanzas con batería.

En consecuencia, hay una función para sacar el chip del modo de baja potencia.

Tiene una función que le permite establecer el factor de ganancia y seleccionar el canal. La misma función se usa para seleccionar el canal A o el canal B, pasando 128 o 64 para el canal A, o 32 para el canal B como el parámetro. El valor predeterminado es 128, que significa: canal A con un factor de ganancia de 128, por lo que uno simplemente puede llamar a `set_gain ()`. Además, la función se llama desde el constructor.

CAPITULO III: ANALISIS Y REDISEÑO DE LOS SISTEMAS

Este capítulo se enfoca en los siguientes puntos de la tesis:

- La recolección de datos a partir de la ingeniería inversa, siguiendo uno de los métodos explicados en el marco teórico
- El diseño de los nuevos sistemas, utilizando los diseños, ideas y enfoques hallados durante la investigación del original.

Para realiza el análisis de todos los aspectos de una dosificadora se sigue la metodología instruida por Montanha (2011) en su libro *Sistematização do processo de engenharia reversa de sistemas técnicos*. “El punto de referencia serán los pasos a tomar en cuenta al realizar un análisis físico de un producto ya existente”(p.).

El orden para analizar el dosificador sería entonces:

1) Análisis Físico, donde se realizarán las siguientes actividades:

- a) La vista genérica de funcionamiento de la máquina y sus observaciones
- b) Análisis de su apariencia física, así como sus dimensiones externas
- c) Modelamiento de su apariencia física

2) Análisis del diseño mecánico y electrónico, donde primero se realizará la separación de subsistemas para poder realizar un análisis de cada uno por separado.

A cada subsistema se le realizarán las siguientes observaciones:

- a) Análisis al subsistema mecánico
- b) Análisis al subsistema electrónico
- c) Análisis del mecanismo, revisando las ventajas y desventajas del mismo
- d) Identificación de las variables del sistema
- e) Benchmarking del sistema

Con todos los análisis terminados, se podrá disponer con el rediseño del nuevo dosificador, esperando que este alcance las expectativas dadas por la empresa JACS.

3.1. Análisis Físico

En base al problema derivado por la empresa JACS se determinó la necesidad de investigar una máquina dosificadora. Con la finalidad de entender y trabajar los subsistemas dentro del dosificador.

3.1.1. Vista genérica del funcionamiento del dosificador original

Se procedió a observar y evaluar el funcionamiento del dosificador, de la cual se resumió en el siguiente procedimiento:

Para encenderlo se necesitaba conectarlo a una línea doméstica de 240V, luego presionar el botón de encendido. Con los botones en su interfaz se colocaba el peso deseado y la cantidad de veces que se iba a realizar la dosificación.

Como se visualiza en la figura 32, se inserta el material dentro de la tolva y se le pulsa al inicio. La máquina empieza a vibrar y trasladar el producto, mientras el contenido va hacia el dosificador se va mostrando el peso. Cuando se cumple con la cantidad solicitada, el dosificador se detiene e inmediatamente abre una compuerta que deja pasar el monto dosificado.

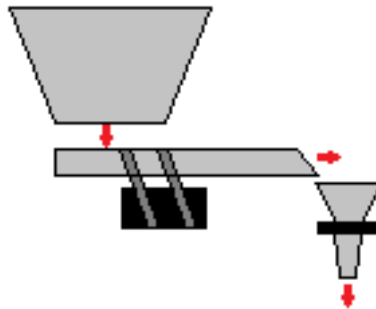


Figura 32. Paso de movimiento del material

Fuente: Elaboración Propia

A partir de analizar el proceso se llegó a determinar lo siguiente:

- El dosificador funciona midiendo por peso y no por volumen.
- El dosificador por base vibratoria y no por tornillo, que es el método de manufactura más usado en sólidos de pequeño tamaño.
- La máquina generaba mayor ruido que lo deseado por la empresa JACS.
- La máquina tenía un error de la dosificación de peso de máximo 2 gramos.

3.1.2. Análisis de la apariencia física

El diseño exterior era un armazón de aluminio, de forma de cubo de aproximadamente, en la figura 33 se muestra la apariencia física de la máquina dosificadora.



Figura 33. Modelo base de dosificador

Fuente: Elaboración propia

Todo el equipo eléctrico se encuentra dentro del mencionado armazón y solo deja visible unos display's de 7 segmentos. Que permiten visualizar los datos de peso.

3.1.3. Modelamiento en 3D del diseño exterior y medidas

Para evaluar el diseño del armazón se diseñó en Solidworks para su análisis mostrado en la figura 34. El diseño tiene las siguientes características: 32.7 cm. de ancho, 22.4 cm. de largo y 37.5 cm. de alto. La vista completa del modelamiento del dosificador original con sus respectivos componentes puede verse en el Anexo 1.

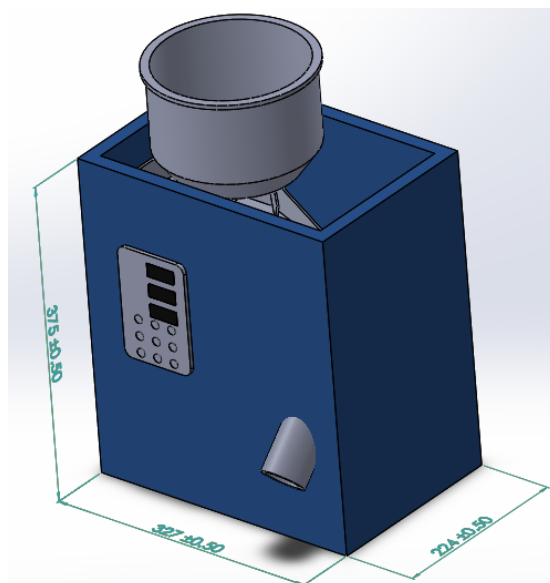


Figura 34. Modelamiento 3D de vista externa del dosificador en Solidworks

Fuente: Elaboración propia

La tolva tiene una medida de 9 cm de radio interno y una altura de 13.2 cm, como puede verse en la figura 35, que tiene las medidas en milímetros.

Dentro de los aspectos visibles estaba la pantalla de interface, la tolva y una boquilla de salida. Luego se realizó una revisión de su sistema interno.

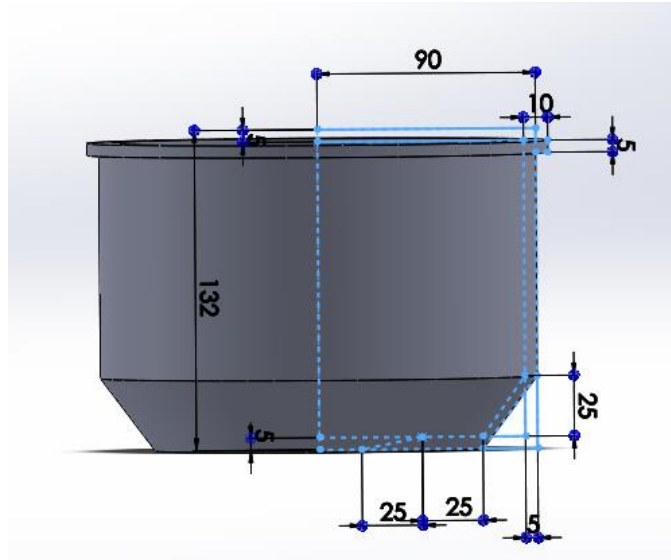


Figura 35. Medidas de la tolva en Solidworks

Fuente: Elaboración propia

3.2. Diseño mecánico y electrónico de la máquina original

Con las dimensiones externas evaluadas, se procedió con el desmontaje del equipo, para ordenar adecuadamente cada parte del dosificador se decidió asumir como dos mecanismos que actúan juntos. El mecanismo de alimentación, que se encarga de trasladar el material en la tolva hacia el sensor celda de carga, y el mecanismo de dosificación, que abarca los componentes que se encargan de medir el peso del material y de entregar tanto la información como el monto dosificado al usuario.

3.2.1. Sistema de alimentación

a) Análisis del subsistema mecánico

En la figura 36 se puede mostrar el modelamiento de Solidworks del sistema original de alimentación. Al desarmar la máquina se decidió tomar las medidas de los resortes y de las placas que sostenían la base vibratoria.

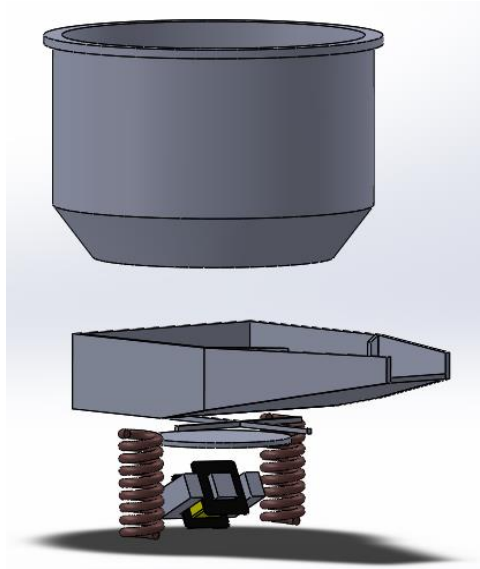


Figura 36. Modelamiento del sistema de alimentación, desarrollado en Solidworks

Fuente: Elaboración Propia

El sistema de alimentación estaba incorporado por:

- Tolva
- Bandeja transportadora/ Bandeja Vibratoria
- Electroimán
- Conjunto de resortes

El funcionamiento es bastante simple, al utilizar el electroimán como factor vibratorio, mueve el polvo o granos que entran a la bandeja, que posteriormente caerían al sensor de peso.

b) Análisis del subsistema electrónico

El circuito electrónico está ilustrado en la figura 37, que usa un controlador de fase dimmer, estos circuitos trabajan con corriente alterna y permiten controlar la fase de la corriente que recibe una carga inductiva. Siendo el electroimán un accionador inductivo, con este circuito podían modular la corriente que este recibía y por ende la vibración de este. Imagen ampliada en Anexo 2.

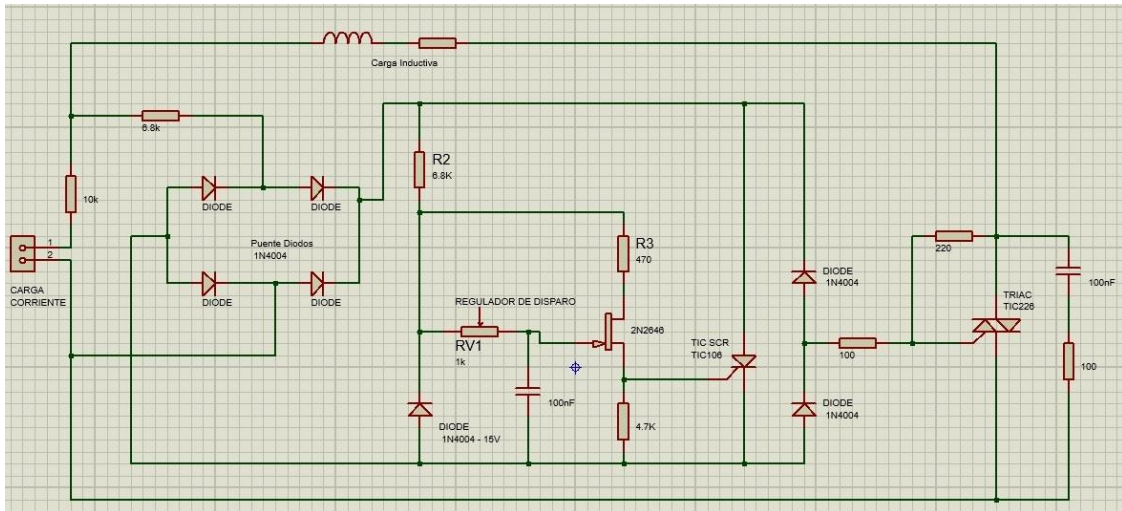


Figura 37. Diagrama electrónico de control de fase de una carga inductiva en ISIS

Fuente: Elaboración propia

El propósito de este circuito es: Corregir el paso de la corriente y facilitar su control convirtiéndola en pulsos a través del puente de diodos, luego pasar al circuito de control que reacciona a la apertura de las compuertas del triac. Esto condiciona la alimentación de la carga inductiva a la compuerta del triac.

El semiciclo positivo de la corriente pasará por el triac siempre y cuando haya habido una señal de disparo en la compuerta, de esta manera la corriente circulará al actuador como un semiciclo positivo controlado. De igual manera el semiciclo negativo pasará por el triac siempre y cuando haya un disparo en la compuerta. El disparo de la compuerta está además condicionado con el tiempo en que esté tiristor esté conduciendo.

c) Análisis del mecanismo

Como producto del análisis del mecanismo, se dedujo que este posee las siguientes ventajas y desventajas.

Las ventajas del mecanismo son:

- La adecuada fuerza para realizar el transporte al dosificador
- La factible regularidad gracias al control de fase
- El económico tipo de controlador

Las desventajas del mecanismo son:

- El ruido que se genera por las piezas mecánicas en conjunto con el electroimán es mayor al que la empresa JACS necesitara en su diseño propio
- La dependencia de línea de corriente de hogar
- La cantidad de elementos que conforman el control de fase

d) Identificación de las variables del sistema

Podrían considerarse variables del sistema, los siguientes aspectos:

Las variables independientes vendrían a ser, la compuerta del tiristor y del triac, juntas que, a veces tiene un factor manipulable como un potenciómetro, que son las que afectan la fase de la corriente.

La variable dependiente del sistema vendría a ser la corriente de la carga inductiva, en este caso el electroimán, que es lo que define la fuerza del campo magnético y por ende el factor que permite el traslado del material a dosificar.

e) Benchmarking del mecanismo

El circuito del dimmer da también la posibilidad que este pueda ser regulado con un PWM, al adaptarlo para recibir en lugar de un potenciómetro una señal electrónica. Esta posibilidad quedó mencionada en caso se quiera nuevamente aprovechar del uso de un electroimán como accionador.

Para reducir el espacio del mecanismo, podría ser necesario reducir el tamaño del juego en resortes que aportan movimiento a la bandeja vibratoria, se tendría que tener en cuenta este factor de querer conservar el electroimán.

Se tiene planeado utilizar las mismas dimensiones de la tolva y base vibratoria. Ya que cumplen con tamaños adecuados para dosificador y transportar.

3.2.2. Sistema de medición y dosificación

El modelamiento mecánico se realizó en Solidworks, mostrado en la figura 38.

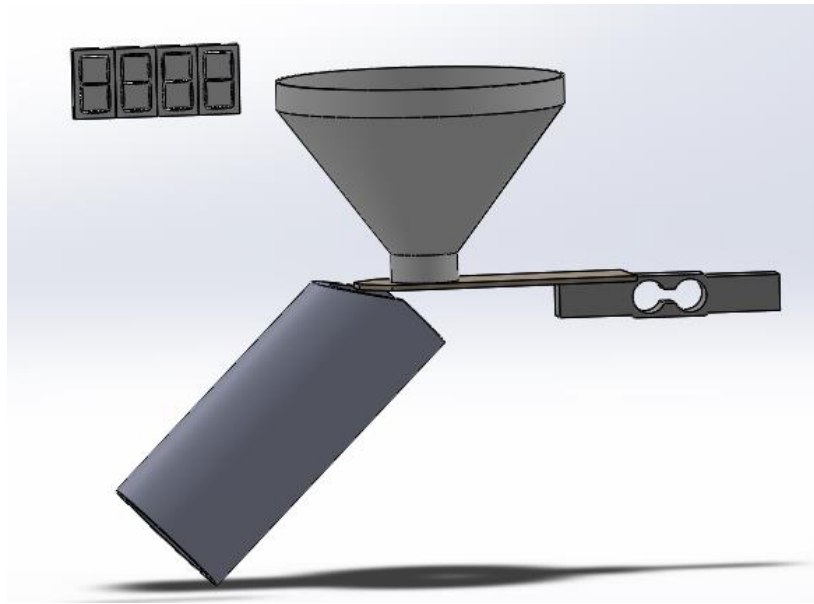


Figura 38. Modelamiento del sistema de medición y dosificación en Solidworks

Fuente: Elaboración propia

a) Análisis del subsistema mecánico

El sistema de medición está constado:

- Un embudo
- Una celda de carga
- Una compuerta
- Display de 7 segmentos

El funcionamiento de este circuito depende netamente del sensor de peso que se vaya a usar, en el caso del sistema original era la celda de carga. La celda de carga entrega información referente a su flexión, entre más expuesta esté a una fuerza que la flexione, mayor será el dato que entregue.

b) Análisis del subsistema electrónico

Usualmente, lo recomendable sería conectar un acondicionador de señal en el sensor de celda de carga, sin embargo, en el caso de la máquina mostrada, este iba directo al pic controlador, probablemente, dentro del programa de éste tendría como trabajar la señal.

Del mismo pic controlador, parte hacia los pics que se encargan de trabajar los displays de 7 segmentos, que operan como parte de la interfaz del usuario.

Mostrando en tiempo real el peso censado de la celda de carga, a la par que el peso ideal programado por el usuario.

Mientras que el sensor de peso también es el condicionante de un accionador que se encarga de abrir una pequeña compuerta que deja el paso del material ya censado, tan pronto la celda de carga detecta la cantidad solicitada, esta detiene el accionador vibratorio de la base a través de un switch y acciona el de la compuerta.

c) Análisis del mecanismo

Como producto del análisis en el mecanismo, se recopiló las siguientes ventajas y desventajas en el mecanismo.

Ventajas

- Vista a tiempo real de la dosificación
- Rápida dosificación

Desventajas

- Depende de constante revisión
- El programa no permite mucha manipulación

d) Identificación de las variables del sistema

Las variables independientes del sistema vendrían a ser la señal otorgada por la celda de carga, ésta siendo la de mayor importancia y prioridad en tener siempre en buen estado.

Las variables dependientes de este sistema serían por lo tanto, serían los valores mostrados en los displays de 7 segmentos, que dependen plenamente del valor recibido del controlador desde la celda de carga.

e) Benchmarking del sistema

La celda de carga es muy confiable para censar pesos en escala de gramos que es el interés del proyecto, por lo que se tiene planeado usar la también en la medición de peso en el nuevo mecanismo.

El uso de displays 7 segmentos ocupan mucho espacio cuando se requieren de sus pic que acondicionan su señal, por lo tanto se desea sustituirlos.

Al ver un ejemplo en otro producto similar, a este sistema se le puede insertar además un CNY 70, sensor de luz, que funcione además como condicionante extra para dejar pasar el material censado.

3.3. Planeamiento del rediseño de los sistemas

Al terminar con el análisis físico y eléctrico de los mecanismos que definen el funcionamiento del dosificador de polvo, y habiendo tomado en cuenta las herramientas que se planeaban utilizar y cuales reemplazar se empezó con las ideas para diseñar el nuevo dosificador que vaya con las intenciones de la empresa JACS.

Dentro de los requisitos establecidos por ellos estaba:

- La posibilidad de dosificar hasta 2 Kg.
- La posibilidad de poder trabajar en coordinación con sus sistemas operativos y programas.
- La condición de que el tamaño del mecanismo no supere el tamaño del modelo original.

3.3.1. Rediseño del mecanismo de alimentación

Se inició el rediseño pensando en las otras posibilidades que podrían reemplazar el uso del electroimán como factor vibratorio para la base. No había muchas funciones que permitieran controlarlo de manera fácil.

El primer diseño trató de utilizar nuevamente el electroimán, utilizando como regulador de disparos un PWM, para controlar el circuito.

Los elementos que podían reemplazar el electroimán eran aquellos que produzcan vibración, entre estos eran:

- Metales expuestos a campos magnéticos (como el electroimán)
- Juegos de resortes y sistemas mecánicos
- Compuertas eléctricas
- Motores o piezas motorizadas
- Mecanismos de movimientos bruscos

De entre estos se descartó los juegos de resortes y sus sistemas mecánicos pues ocuparían mucho más espacio, que era lo que deseaba evitar.

Los mecanismos con movimientos bruscos se descartaron porque no se deseaban que su falta de control provoque malas dosificaciones.

Como se quería ver las posibilidades de otros elementos aparte del electroimán se ignoraron los metales expuestos a campos magnéticos

Al final se optó por probar los motores, sin embargo un motor no suele generar mucha vibración, a menos que éste se encuentre mal conectado o este desequilibrado y su punto de peso en encuentre fuera de su eje de rotación. Se aprovechó estas condiciones para adaptar el motor para que produzca la vibración necesaria.

Se tomó entonces una excéntrica para generar un desbalance en el motor, retirando el punto de peso fuera de su eje de rotación para producir vibración. Cuando se experimentó con éste el resultado fue positivo, al ser un motor totalmente capaz de trabajar en 5 voltios, se pudo trabajar con un control de pulso de ancho de banda PWM, para controlar sus RPM y con esto la vibración que genera.

Se condiciona el rango de trabajo del PWM a la cantidad censada por el sensor, cuando este detecte alrededor del 85% o más de la cantidad que se deba dosificar, el PWM bajará la eficiencia de 100% a 75%, y nuevamente cuando el sensor detecte 95%, reducirá la eficiencia de 75% al 65%. Esto permite regular la cantidad transportada para atribuir a una mejor dosificación.

Aparte de este experimentó se mostró que se podía trabajar sin la necesidad de utilizar red doméstica y trabajar netamente con corriente continua. Independizar el dosificador de la red doméstica da la posibilidad de utilizar una batería como fuente de poder, útil en casos de apagones o durante situaciones donde no se tenga corriente alterna.

En vista a la mencionada posibilidad y al reducido espacio que utiliza el motor con excéntrica, se priorizaría el uso de un motor por sobre el volver a utilizar un electroimán en el nuevo diseño del dosificador.

Por lo tanto, se llegó a la decisión de utilizar el mismo tipo de tolva y el mismo diseño de la base vibratoria, pero sustituyendo el uso del electroimán como accionante de la vibración y en cambio se utilizó un motor con excéntrica, aparte de colocar una batería que pueda ser recargada con corriente doméstica.

El diseño de la base vibratoria es el mismo de la máquina original, se utilizó dimensiones similares: 22.4 cm de largo, 13 cm de ancho y 8 cm. de alto, siguiendo las características indicadas en la figura 39.

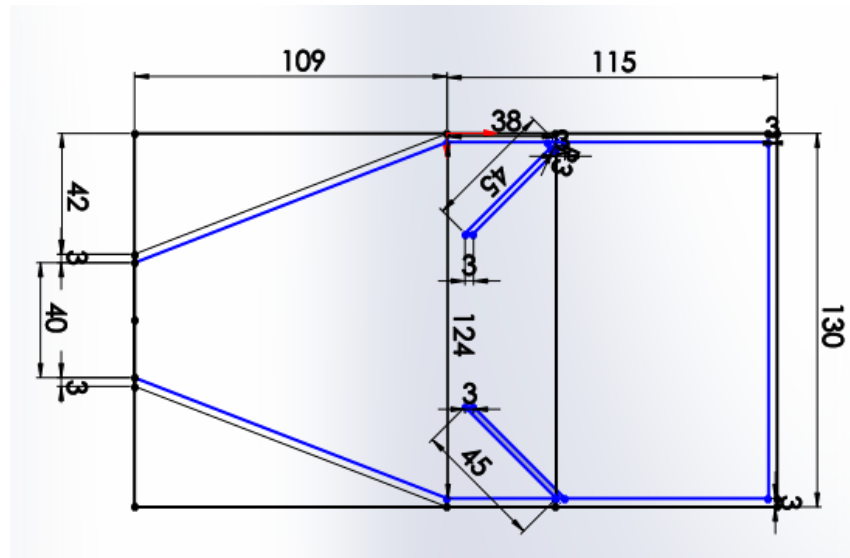


Figura 39. Diseño base de la base vibratoria hecha en Solidworks

Fuente: Elaboración propia

Tal cual se había mencionado durante el planeamiento del rediseño del sistema de alimentación, la tolva también se decidió usar de la misma medida del original y se colocó el motor debajo de la base vibratoria, esta tiene una pendiente de modo y es colocada con una inclinación de modo que el material esté inclinado y facilite la dosificación. Puede verse el diseño del mecanismo de alimentación de material y vibratorio en la figura 40. Vista completa de los componentes en el Anexo 3.

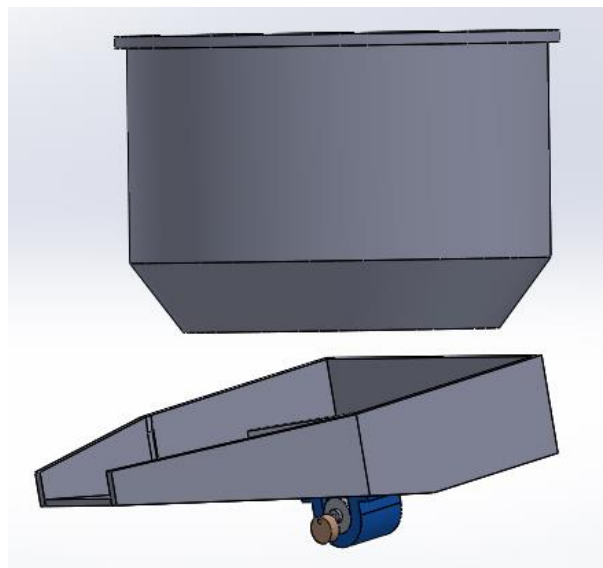


Figura 40. Rediseño del mecanismo de transporte al sensor en Solidworks

Fuente: Elaboración propia

El control electrónico es la comunicación directa entre el controlador, que cuenta con control por PWM con el motor. El motor es alimentado con 12V, este los recibe dependiente a la activación de unos transistores en puente Darlington, que es controlado con los pulsos enviados por el PWM. Como se observa en la figura 41. La alimentación de 12 voltios pasa por un regulador de voltaje 7812 y el equipo debe contar de todas maneras con un transformador en caso se quiera trabaje con red doméstica, si se desea recurrir a la batería, bastaría con cambiar con un pulsador.

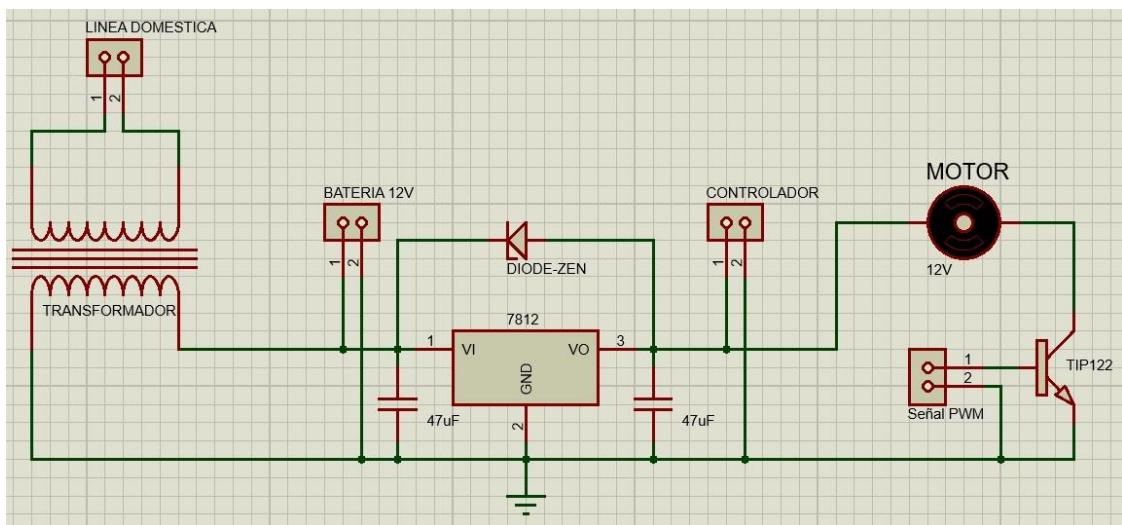


Figura 41. Diagrama electrónico del control del motor en ISIS

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Cálculos realizados para realizar el rediseño

En esta parte del capítulo se tratarán todos los cálculos realizados y las fórmulas aplicadas en el desarrollo y diseño del dosificador.

3.3.2.1. Nuevo centro de gravedad del motor

La inclusión de la excéntrica en el eje del motor es la responsable de que este genere vibración al funcionar, que es lo que permite la dosificación del material. Por lo que se revisó cuánto era la influencia de este fenómeno en la rotación del eje y cómo este está relacionado con la fuerza de la vibración del motor.

Teniendo en cuenta los siguientes datos de la excéntrica de la figura 42, que fueron sacados:

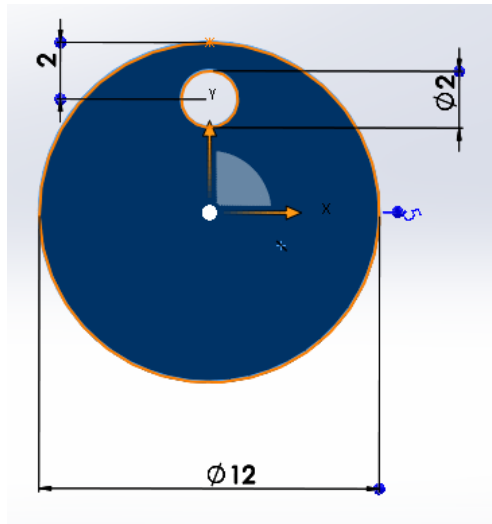


Figura 42. Diagrama de la excéntrica en Solidworks

Fuente: Elaboración propia

Primero se busca el centro de gravedad de la excéntrica, si bien este no tiene mucha diferencia al centro de gravedad del círculo en total, para un cálculo más preciso se tiene que trabajar considerando el orificio de este.

En el eje X, no se presenta diferencia en el C.G. y sigue siendo en centro de la circunferencia, en otras palabras, en el punto cero de la figura 41.

Para el caso del eje Y si hay una diferencia por el espacio vacío asignado al eje del motor. Para este caso se puede utilizar la siguiente fórmula (1):

$$Y_{CG} = \frac{A_1 \times Y_1 - A_2 \times Y_2}{A_1 - A_2} \quad (1)$$

Aparte se conoce que el área de un círculo es:

$$A_o = \pi \times r^2 \quad (2)$$

Se reemplazan (2) en (1) y se tiene lo siguiente:

$$Y_{CG} = \frac{\pi(R^2 \times Y_1 - r^2 \times Y_2)}{\pi(R^2 - r^2)} = \frac{R^2 \times Y_1 - r^2 \times Y_2}{R^2 - r^2} \quad (3)$$

Donde:

R: Radio del cuerpo de la excéntrica

r: Radio del orificio de la excéntrica

Y: Dependiendo del número de la distancia al origen del cuerpo y orificio de la excéntrica respectivamente.

Por el diseño de la excéntrica se tiene que R es 6 cm. y r es 1 cm., y que la distancia Y del cuerpo de la excéntrica está en el origen, por lo tanto, es cero, y la distancia Y del orificio es 10 cm.

Con estos datos como referencia se resume:

$$Y_{CG(cm.)} = \frac{-Y_2}{R^2 - r^2} = \frac{-10}{35} = -0.287 \text{ (cm)}$$

Por lo tanto, el nuevo centro de gravedad en el origen asignado sería

$$(X, Y) = (0, -0.287)$$

Este valor indica que el nuevo centro de gravedad está separado del centro del eje del motor en 4.287 cm., dato que luego será útil para revisar la fuerza del motor.

3.3.2.2. Cálculo para selección del motor

El motor que se debe escoger debe tener suficiente velocidad para poder agitar la base vibratoria y que la fuerza de desbalance entre estos supere a la fuerza de fricción de los materiales en este.

Para eso se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- Se desea que la base vibratoria sea de un material metálico pulido, con poca rugosidad y coeficiente de fricción.
- La base vibratoria cuenta con su propio punto de soporte, por lo tanto, no se necesita que el motor se esfuerce en contra del peso de la base vibratoria.
- La fuerza de desbalance del motor debe ser lo suficientemente fuerte para contrarrestar la fuerza de fricción del material.

Entonces se tomó los siguientes datos teóricos:

- Coeficiente de fricción estático de una superficie de aluminio: 0.61
- Peso máximo deseado a colocar en la base vibratoria 500 gramos, a eso se le debe agregar el peso de la base vibratoria de 200 gramos (teóricamente), y el peso del motor al que simuladamente se le atribuye 20 gramos. Tomando como $M = 720$ gramos.
- Dado que se desea trabajar con el inicio del funcionamiento se toma que la eficiencia del PWM es cien por ciento ($n=100$) por lo que no se incluye en la fórmula

Suponiendo entonces que la fuerza de desplazamiento afecte desde el punto de encuentro entre el motor y la base vibratoria (tomando el centro del motor) como se indica en la figura 43.

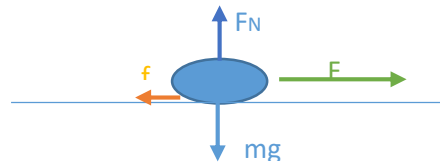


Figura 43. Diagrama de fuerzas en contenido de dosificador

Fuente: Elaboración propia

Tomando el peso de 720 gramos y el valor de la gravedad en 9.8, se toma la fuerza normal del contenido de la bandeja.

$$F_N = m \times g = 7.056 \text{ N} \quad (4)$$

La fuerza de desbalance, debe ser al menos igual a la fuerza de fricción, considerando que el peso es de 720 gramos, usualmente no se llega a este peso cuando la bandeja ya está en movimiento. Se toma este peso de manera hipotético pues no se puede usar el peso de un grano o de una partícula.

$$F_{min} = f = F_N \times \mu = 4.30 \text{ N} \quad (5)$$

Se considera entonces que la fuerza de desplazamiento F_d deberá ser mayor tanto a la fuerza normal (para poder movilizar los granos) y superar a la fuerza de fricción para poder mover el material.

Para eso se evalúa la fuerza centrípeta que se genera en el motor al hacerlo funcionar con la excéntrica, tomando como caso la figura 44.

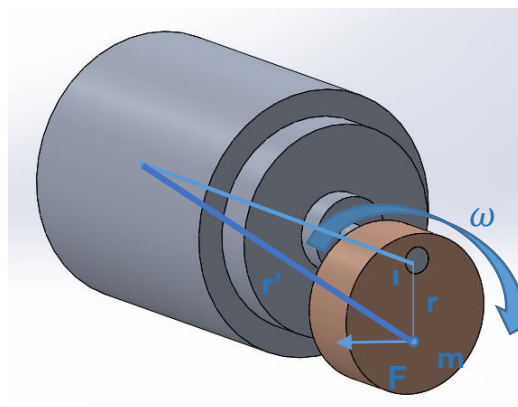


Figura 44. Diagrama del motor, modelamiento en Solidworks

Fuente: Elaboración propia

Donde

F: Fuerza que empuja la excéntrica (N)

r: Distancia entre el origen del eje y el centro de gravedad de la excéntrica (cm o m), se sabe que es 0.4287 cm

r': Distancia desde el centro de gravedad del motor, al centro de gravedad de la excéntrica, se sabe es 2.5365 cm

I: Momento de inercia de la excéntrica

m: Masa de la excéntrica (g), se sabe que es 4.56 gramos

m': Masa del motor, estimado en 20 g, con el peso de la excéntrica: 24.56

P: Potencia del motor

ω : Velocidad angular del motor (rad/s)

Tomando la fórmula de la ecuación de la fuerza centrípeta se trabaja para hallar la velocidad angular, teniendo en cuenta que al tener eficiencia al 100% del PWM no se necesita colocarlo en la fórmula.

$$F_C = \frac{m}{r} \times v^2 \quad (6)$$

De la fórmula (6) se puede trabajar que la velocidad lineal es el producto del radio con la velocidad angular

$$v = r \times \omega \quad (7)$$

Reemplazando (7) en (6):

$$F_C = m \times r \times \omega^2 \quad (8)$$

Tomando que la fuerza centrípeta necesita ser mayor a la fuerza normal, se considera esta como un mínimo para que el motor pueda mover el material en la base vibratoria entonces se toma como:

$$F_N = F_{Cmin} \quad (9)$$

Despejando (8) alrededor de la velocidad angular que necesita el motor, considerando además la equivalencia entre la fuerza normal y la centrípeta:

$$\omega = \sqrt{\frac{F_N}{m \times r}} = 563.68 \frac{rad}{s} = 5411.325 \text{ rpm} \quad (10)$$

Tomando en cuenta los datos hallados para el motor es necesario que cumpliera con los siguientes requisitos:

- Tener una velocidad mayor a los 5 411.325 rpm para poder movilizar los 200 gramos de contenido venciendo la fuerza normal de los mismos.

- Funcionar con los 12 V que se planea usar para alimentar el circuito o en su defecto 24 V
- Trabajar con baja potencia
- Un peso individual no mayor al de los 20 gramos colocados.

El motor entonces que se escogió pertenece a la marca Yxs, un motor DC que cumple con los estándares de peso, consumo de corriente y voltaje de uso. Y lo más importante cuenta con la fuerza y velocidad angular necesaria para superar el peso con el que se desea trabajar.

El motor Yxs que se eligió posee las siguientes características visibles en la tabla 4:

Tabla 4. Datos del motor DC utilizado

Marca:	Yxs
Velocidad (RMP):	3000 ~ 20000 rpm
Corriente Continuos (A):	0.2 ~ 1.0A
Conmutación:	Cepillo
Certificación:	CCC
Número de Modelo:	RS-360/365
Torsión:	10.4 ~ 21.0 (nm)
Uso:	Coche
Voltaje (V):	3 ~ 24 V
Tipo:	Motor del engranaje
De potencia de salida:	0.001 ~ 0.02 (kW)
Proteja la característica:	Completamente cerrada
Construcción:	Imán permanente
Paquete:	Motor vibrante

Fuente: Elaboración propia, con los datos brindados por <https://spanish.alibaba.com/p-detail/12v-vibrate-motor-rs-360-365-massage-stick-motor-eccentric-vibrating-motor-1568174288.html>

La velocidad del motor tiende a bajar debido a la presencia de la excéntrica conectada al eje. La excéntrica cuenta con las características de pesar 4.56 g., un orificio de 2 mm. de diámetro para el ingreso del eje del motor y su radio principal es de 6 mm.

La velocidad del motor con la excéntrica bajó del mínimo 3000 rpm a 2180 rpm, sin embargo, esto no perjudica a la dosificación, por lo tanto, su uso es completamente factible para el movimiento del material.

3.3.2.2. Fuerza en la vibración del motor

Para hallar la fuerza con la que el motor hace vibrar la bandeja, es necesario hallar la inercia. Primero se debe evaluar como es el comportamiento del motor al estar encendido. Diagrama mostrado en la figura 46.

Se tiene entonces que el par del motor que impulsa la excéntrica se debe a la fuerza que lo empuja al arranque y la velocidad angular del eje.

$$P = M \times \omega \quad (11)$$

Se tiene aparte que la Fuerza de Desbalance que tiene el motor es ocasionado por la excéntrica, que se genera con la fuerza centrípeta. La distancia entre el eje y el centro de masa y la variación del movimiento rotatorio (que se conocería como la velocidad angular). Siguiendo con la segunda ley de Newton en una fuerza centrípeta.

$$F_d = m \times r \times \omega^2 \quad (12)$$

Se tiene entonces que la fuerza de desbalance está condicionada a la velocidad angular del motor que se define por el programa y su control sobre el motor por PWM. Este ofrece una frecuencia de pulsos por segundo que altera la alimentación continua del motor.

En el caso del PWM, que trabaja en un porcentaje de ancho de la banda, se puede decir que la eficiencia del PWM (la definiremos como n) es la que define el valor de las revoluciones por minuto del motor

$$\omega = \omega_0 \times n \quad (13)$$

Si se reemplaza la fórmula (13) en nuestra ya definida ecuación de fuerza de vibración (12) se tendría finalmente:

$$F_d(n) = m \times r \times \omega_0^2 \times n^2 \quad (14)$$

La fuerza varía en relación al cuadrado de la eficiencia dada por el PWM. En la figura 45, se puede observar el comportamiento de la fuerza de vibración con respecto al porcentaje de rango de activación del PWM.

Siguiendo las indicaciones de la gráfica, el motor será capaz de vencer la fuerza normal y empezar a mover cuando el tiempo de actividad del PWM sea alrededor del 60%.

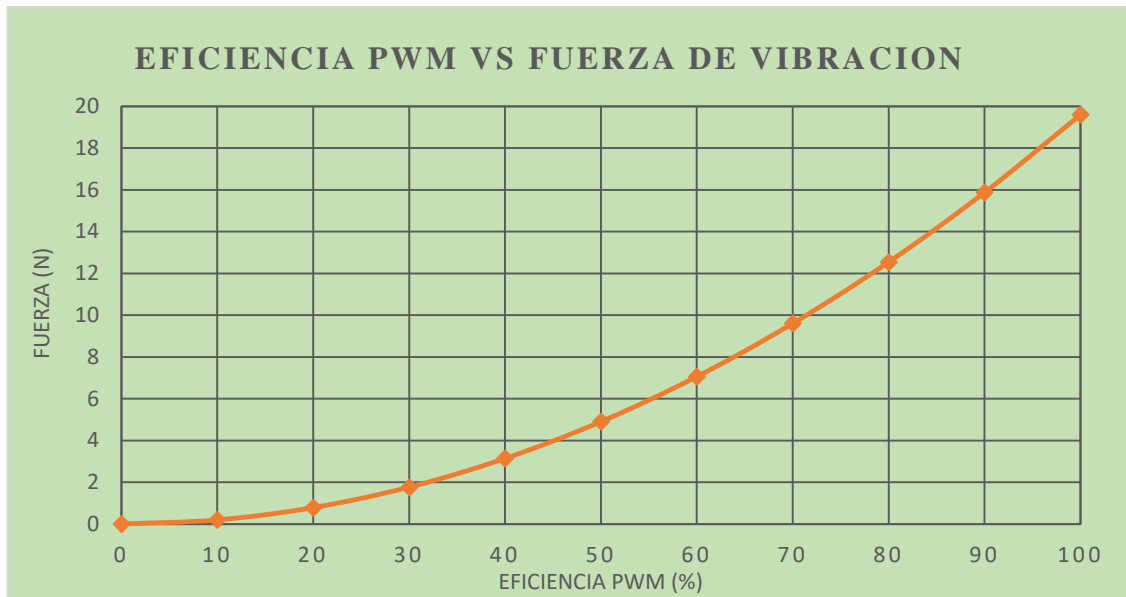


Figura 45. Gráfico de Eficiencia del PWM vs Fuerza de vibración

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3. Torque del motor

Luego tomando nuevamente la segunda ley de Newton aplicada en un movimiento en rotación se tiene

$$T = I \times \alpha^2 \quad (15)$$

Se entiende momento de inercia a la resistencia de un cuerpo a entrar en movimiento. Tomando que la información del mismo son valores constantes se interpreta de la siguiente manera:

$$I = \int_m r^2 dm = m \times r^2 \quad (16)$$

Donde α es la aceleración angular que vendría a ser la variación de la velocidad angular en el lapso de tiempo que se tarda en alcanzar la velocidad continua, considerado el tiempo de arranque.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega}{t_{ar}} \quad (17)$$

Por lo tanto, se reemplazan (13), (16) y (17) en (15) y se tiene el torque con el arranca el motor:

$$T = \frac{m \times r^2 \times \omega_0^2 \times n^2}{t^2}$$

Por lo tanto, se tiene que el torque y por lo tanto, la fuerza de vibración dependerán netamente de la frecuencia en la corriente que alimenta el motor. Al ser un control de PWM, dependerá del valor que se coloque al PWM. Siendo que

varía al cuadrado del porcentaje de frecuencia. Los resultados pueden verse y estudiarse en la figura 46.

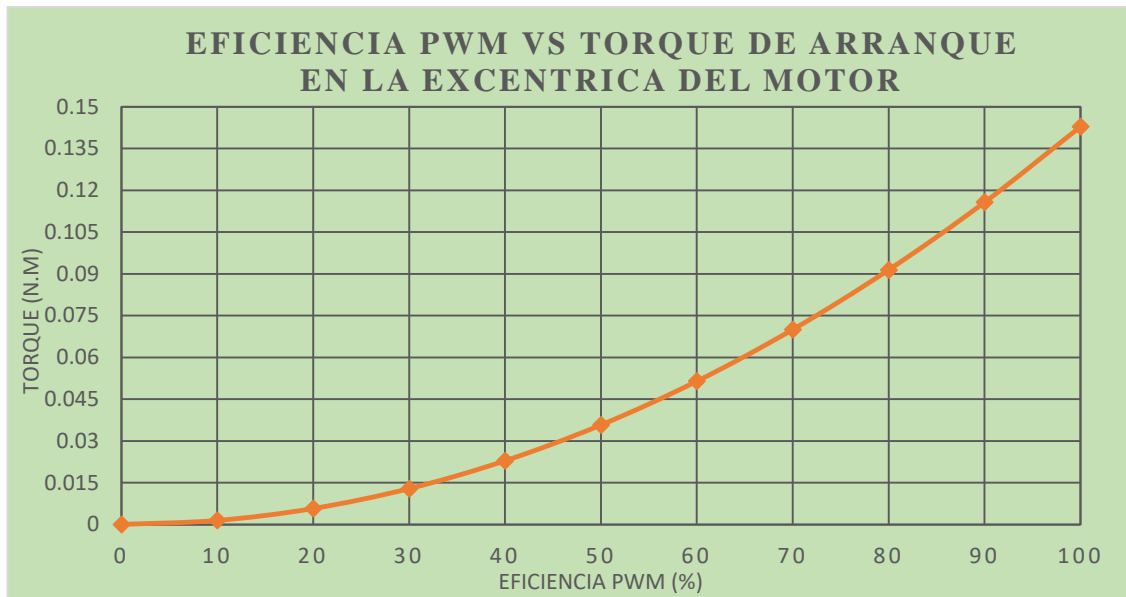


Figura 46. Gráfico de Eficiencia del PWM vs el Torque del motor

Fuente: Elaboración propia

El gráfico explica el torque que se desarrolla durante el arranque del mismo y solo en la excéntrica. Debido a que es un agente externo al motor, cuya torsión base ya estaba mostrado en la tabla con sus características.

Se rescata de este gráfico que la torsión extra que se genera mantiene un margen seguro al estar lejos del nivel de torsión del motor entero.

3.3.3. Rediseño del mecanismo de dosificación

Primero se decidieron evaluar qué características del mecanismo original se desean conservar y reemplazar, a la vez que se veía que se le podía adicionar al mecanismo de dosificación.

Entre estos:

- El sensor que mida el peso
- El acondicionamiento de señales
- El accionador de salida de material
- La señal que brinde la indicación de que se puede accionar la salida del material

Se decidió continuar con el uso del sensor celda de carga para medir el peso, sin embargo, a diferencia del original cuya capacidad era de 1 Kg, de peso, se cambió por uno de capacidad de hasta 2 Kg. El embudo utilizado también cuenta como un

peso, que luego a través del programa sería considerado despreciable e incluido en el 0 normal del sensor. Hoja de datos de la celda de carga en Anexo 7.

De colocarse un sensor de 1 Kg. y agregando el peso del embudo original que era de 25 g., significaba que si se deseaba llegar a censar 1 Kg en realidad el sensor tendría 1.025 Kg., error que se podía considerar despreciable. El sensor de 2 Kg. es localmente más fácil de hallar y opera de manera similar al sensor de 1 Kg, no reduce la eficiencia del mismo.

Para el acondicionamiento de la señal de la celda de carga se utilizó el circuito HX711, un circuito independiente que adapta la señal de análogo a digital (cumple con la función del ADC) y la envía como datos de 24 bits dependiendo de la deformación del sensor. Hoja de datos del módulo HX711 en Anexo 10.

Este dato es mucho más sencillo de trabajar para el sensor en el microcontrolador, que se utilizó el ATmega2560 por la mayor cantidad de entradas que posee, su control por PWM. Hoja de datos del ATmega 2560 en Anexo 8.

Para su operación se debe definir un valor cero defaults, este valor será renovado cada vez que se encienda la máquina para reducir problemas por descalibración. Se tendrá entonces cuidado de no haber dejado residuos dentro de la máquina cuando se vuelva a encender no el valor cero iniciales quedaría descalibrado y se requeriría reiniciar la máquina nuevamente. Por lo que siempre será necesario realizar el encendido de la máquina estando vacío el embudo del sensor.

Se cambió el mecanismo de salida de material censado cambiando la trampilla accionada con un cilindro, ahora con un servomotor, el servomotor está atornillado a una tabilla de impide el paso del material, cuando este es accionado se mueve solo la cantidad necesaria y esto permite que el material caiga con pocos errores por la rampa de salida.

Adicionalmente se le colocó un sensor de CNY70, cuya función es la de servir como señal de autorización de salida cuando se recibe el recipiente en el cual se colocará el material censado. De este modo la dosificación será automática tan pronto se coloque el recipiente.

El diseño en Solidworks del mecanismo dosificador puede verse en la figura 47. Vista del sistema de dosificación en Anexo 3 y vista completa del nuevo dosificador en Anexo 4.

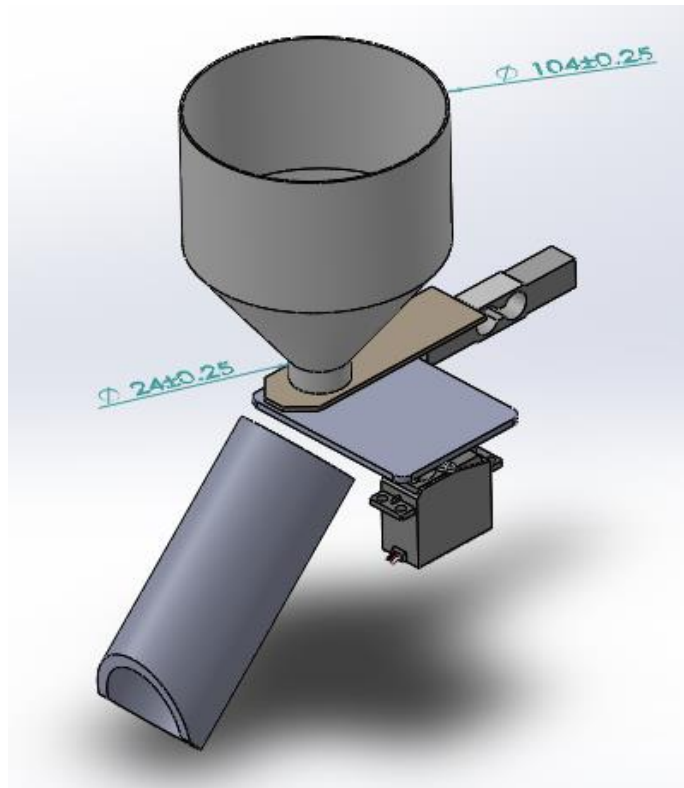


Figura 47. Modelamiento 3D de mecanismo de dosificación en Solidworks

Fuente: Elaboración propia

Para el circuito electrónico, el sensor va conectado al circuito HX711 y la salida de este va hacia el microcontrolador. Se conecta directamente al microcontrolador, como en la figura 48.

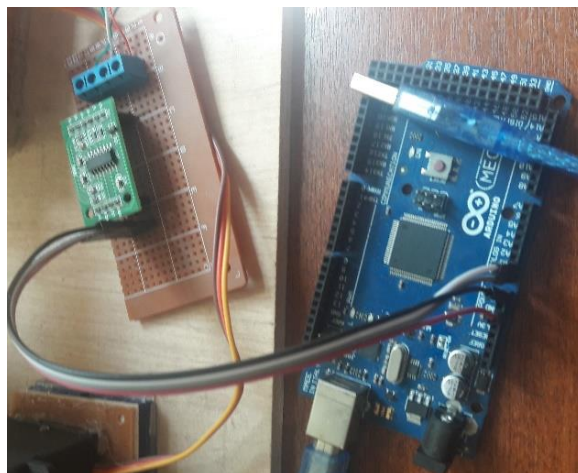


Figura 48. Módulo conectado al sensor y al controlador

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, el servomotor está conectado directamente al microcontrolador. Como se puede ver en la figura 49, el CNY70 va conectado también al microcontrolador.

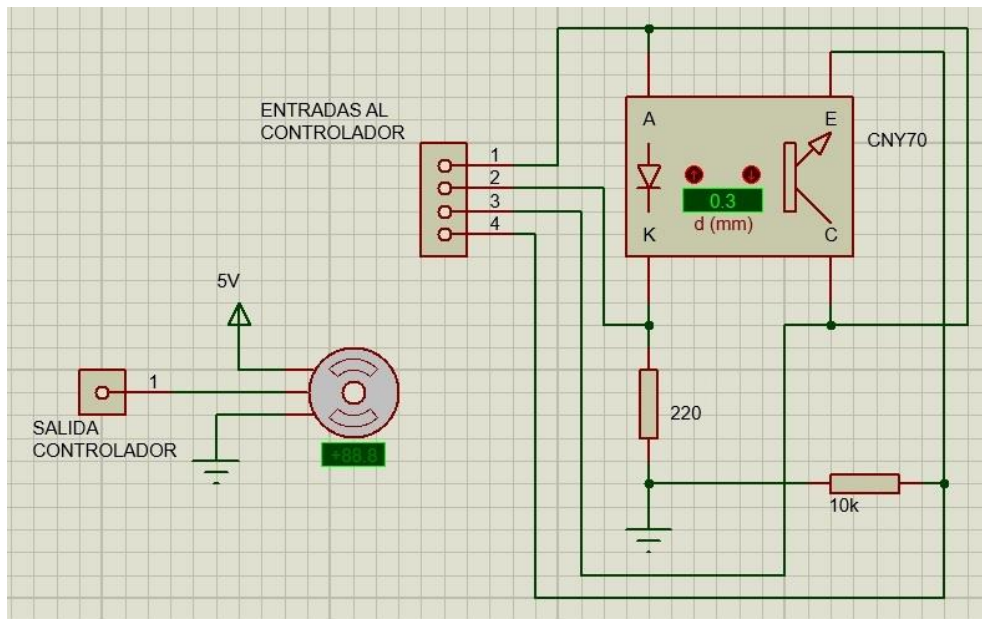


Figura 49. Diseño electrónico del sensor CNY70 y la celda de carga en ISIS

Fuente: Elaboración propia

En conjunto con el primer mecanismo escrito en el ítem anterior, cada uno se encarga de una acción distinta, pero ambos están dependientes del valor de la celda de carga.

La implementación de batería como fuente alterna de energía para el circuito, sería recomendada como una aplicación extra. También con la modificación del sistema, este puede operar siendo alimentado por el CPU de una computadora o BoxPC como fuente de 12 y 5 voltios, que es lo que usan la mayoría de máquinas de la empresa JACS. Si es utilizado con la BoxPC o CPU, se puede retirar el transformador del circuito.

Una vista completa de ambos mecanismos en conjunto puede verse en la figura 50.

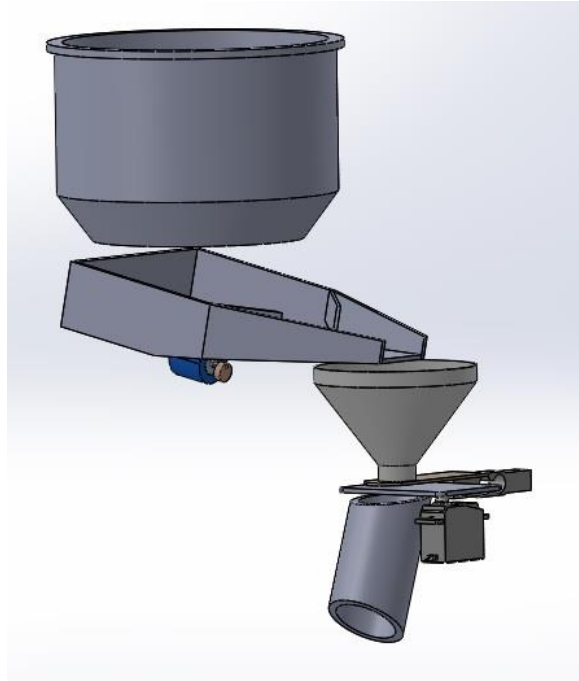


Figura 50. Rediseño mecánico interno completo del dosificador en Solidworks

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Rediseño de la interface

La interface original era con unos displays de 7 segmentos, y usaban pulsadoras para aumentar la cantidad pulsando múltiples veces.

La desventaja de esto es la cantidad de veces que se le fuerza al pulsador. Originalmente es solo para establecer muy pocas veces y dejar que la máquina opere con una misma medida. Se busca entonces mejorar la cantidad de veces que el usuario puede operar la máquina.

Para mejorarla se diseña con una pantalla LCD de 16x2 caracteres y una matriz de botones. Esto brinda la sensación de una máquina más comunicativa con el usuario.

La vista de la interface estaría colocada fuera del chasis protector, como se vería en la figura 51.

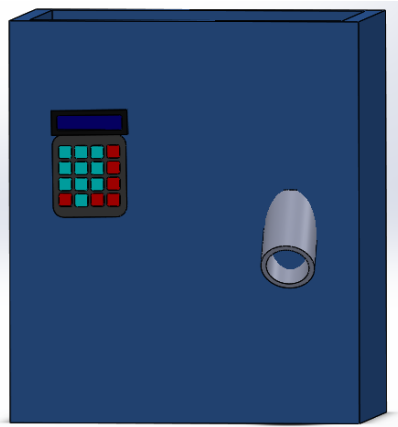


Figura 51. Diseño externo en 3D con la nueva interface en Solidworks

Fuente: Elaboración propia

El circuito electrónico completo incluye las conexiones de la matriz de botones y la pantalla LCD. En la figura 52, se adaptó con puertos de salida con el propósito de que luego en la placa de la figura 50 todas las piezas de relevancias puedan ser colocadas como un “plug and play” y se puedan colocar como módulos, facilitando la sustitución de piezas. Visión ampliada en Anexo 5.

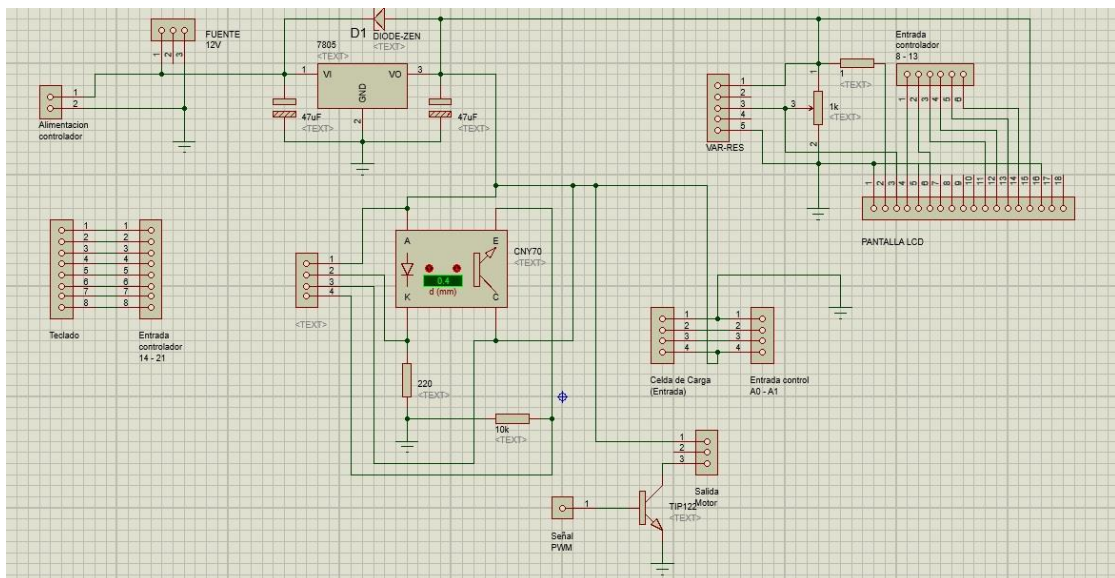


Figura 52. Diseño electrónico completo adaptado en ISIS

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver nuevamente en la figura 53 la vista de la placa. Vistas de placas en Anexo 6.

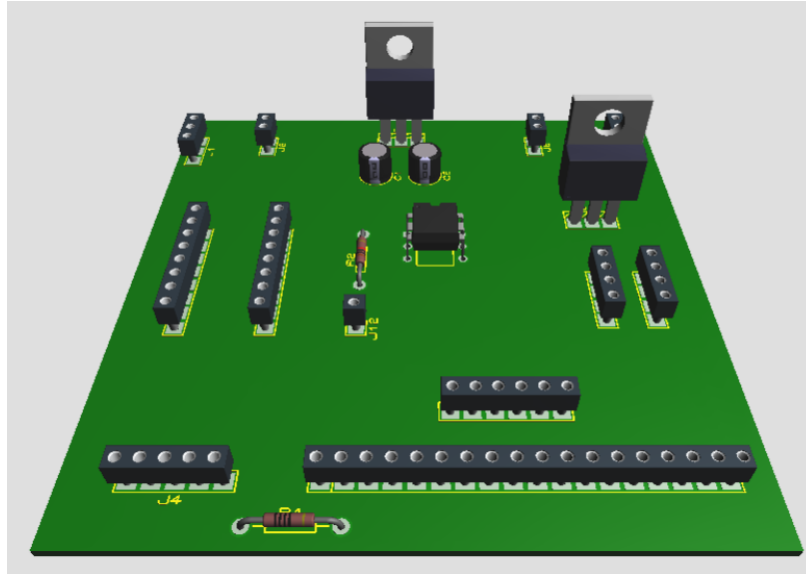


Figura 53. Diseño 3D de la placa en PROTEUS

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Diseño del programa

El programa del microcontrolador debe abarcar todas las lecturas y decisiones de la máquina. Por lo que primero se tomó en cuenta todas las funciones que esta tiene.

- Control de motor PWM
- Control de una pantalla “*Liquid Crystal Display*” (LCD)
- Control de una matriz de botones
- Control del sensor de peso, celda de carga
- Control del sensor de presencia, CNY70
- Control de un servomotor

Se terminó entonces la cantidad de librerías que se le incluirían al programa:

- Librería <Keypad.h> Para el control del teclado de matriz
- Librería <LiquidCrystal.h> Para el control de la pantalla
- Librería <Servo.h> Para el control del servomotor
- Librería <HX711.h> Para el control de la celda de carga

Pseudocódigo

Con las librerías establecidas, se empieza con el pseudocódigo del programa. Como se muestra en la figura 54, el pseudocódigo explica los pasos que debe realizar el dosificador.

Para empezar con un diagrama de flujo se tuvo que pensar en el orden de acciones por el que se deseaba que la máquina y qué variables y factores involucran en mencionadas acciones. Una vez definidos se puede empezar a diseñar el pseudocódigo del programa.

El primer paso es entonces la recolección de datos que sean necesarios tener desde el principio, luego colocar la opción del tipo de operación que se desea realizar, así como los datos, y pasos necesarios en cada uno.

Terminado los puntos anteriores, luego se deben los parámetros y las decisiones a tomar por el usuario o por el programa.

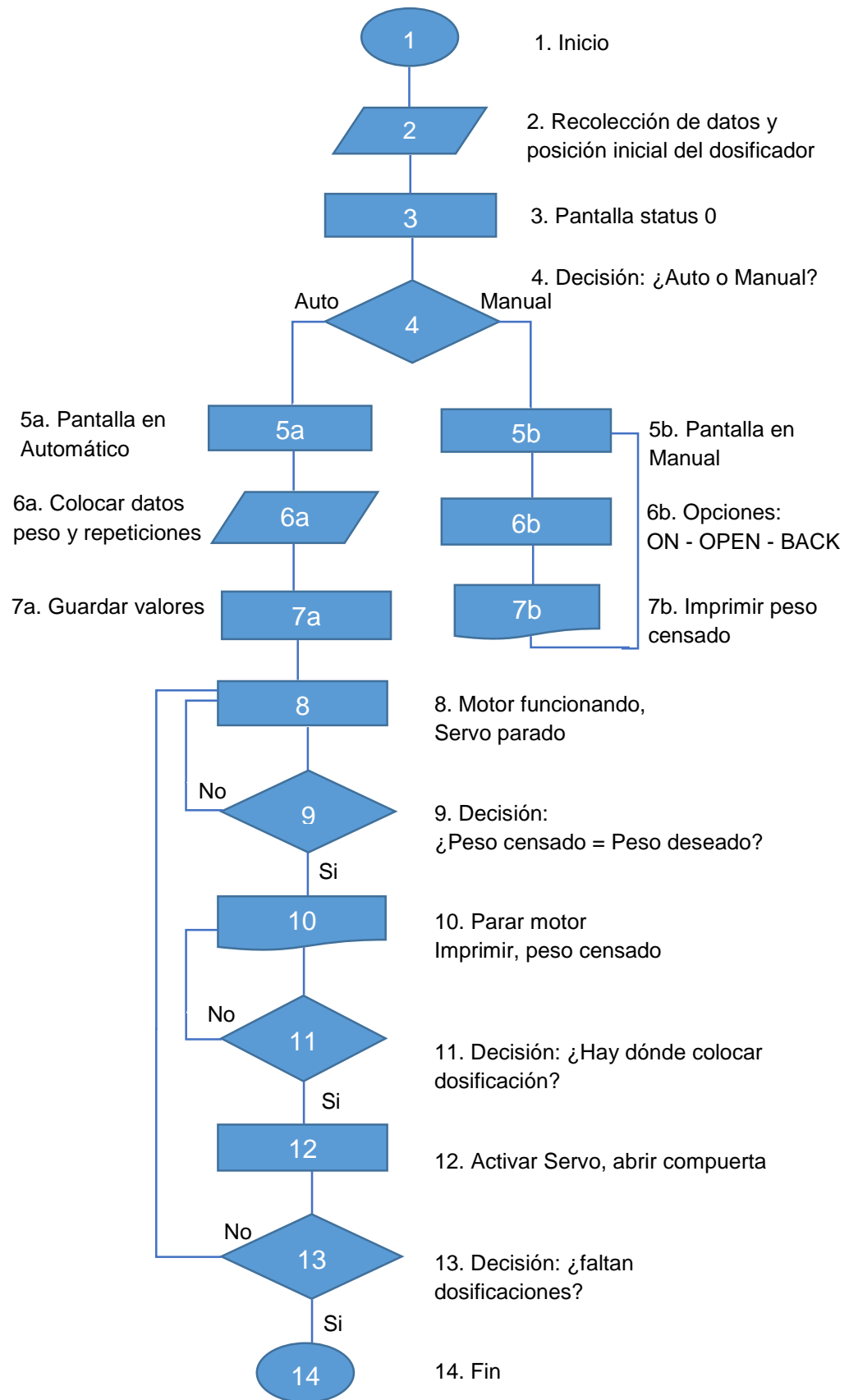


Figura 54. Diagrama de flujo del programa

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los mayores retos del programa era el poder ingresar múltiples datos y seleccionar funciones, era imposible colocar todos los datos a la vez dentro de la pantalla LCD de 16 x 2 caracteres.

Por lo que se pensó en cómo trabajar múltiples funciones y almacenar datos. Dentro del programa se generó una constante llamada “*MenuAdmin*”, que funciona para indicarle al controlador, qué tipo de pantalla debe mostrar y que datos debe recoger. Para esto se trabaja como una constante usando los comandos *switch* y *case*. Pantalla en status cero significa que esta constante *MenuAdmin* está en una posición de espera denominada cero, que es la que se define como la pantalla que espera la indicación de dosificación en automático o manual.

a) Iniciando la máquina

Cuando se inicia la máquina, coloca los valores base, como el motor de la base vibratoria apagado, el servomotor en estado de reposo y el sensor empieza a tomar el valor inicial como tara o valor del cero por default.

Es importante que dentro del embudo donde se ubica la celda de carga no tenga contenido o excedentes.

Durante este período la pantalla solicitará un tiempo de espera para calibrar el sensor.

Luego el *MenuAdmin* toma el valor de cero y manda directo a la selección de modo de trabajo del dosificador.

Selección de modo de dosificador: automático o manual

Gracias que esta permite trabajar con “capas de pantallas” y que cada una trabaja con su propia interpretación de botones y señales, se puede trabajar de manera automática o manual sin que estos se crucen. Cuando el sistema está en automático no funciona ninguna función de manual y viceversa.

Para seleccionar la dosificadora en tipo manual, en la pantalla básica (*MenuAdmin*=0), se selecciona la opción B: Manual y esto genera un cambio en el valor del *MenuAdmin*, pasando de 0 a 2. Cuando el *MenuAdmin* pasa al valor de 2 automáticamente cambia el contenido de la pantalla e ignora cualquier dato previamente colocado, mas no los borra.

Cuando se desea cambiar a modo automático, la constante *MenuAdmin* toma el valor de 1 y dirige el programa a otro sector donde muestra los datos registrados tanto de peso deseado como del número de repeticiones que se hará de la

dosificación. De no haber ningún dato previo, el valor del peso es cero, y de las repeticiones 1.

b) Dosificadora en modo manual

Cuando está en manual los únicos comandos que funcionan son los de encender el motor de la base vibratoria, el accionar la salida de material y un botón para retroceder a la opción anterior, en el caso que se desee cambiar a automático.

c) Dosificadora en modo automático

A partir de este punto el teclado colabora con el ingreso de información, siguiendo las indicaciones que ilustra la misma pantalla, uno puede luego cambiar el valor del peso deseado y del número de repeticiones. Siendo el máximo de peso 200 gramos y el número de repeticiones 100.

Para colocar los datos, se debe primero oprimir en los botones la opción cuyo número sea correspondiente al dato a cambiar. Luego la pantalla solicitará el ingreso del dato nuevo. También se configuraron los botones de borrado, que borra el último dato colocado, y el de reseteo que devuelve el valor a cero.

Aparte de los datos a cambiar también permite guardar hasta tres valores como predeterminados, para comodidad del usuario.

Luego que se confirma el monto deseado y el número de repeticiones automáticamente se pone a trabajar.

La celda de carga detecta el peso que va cayendo dentro del embudo y empieza a mandar el dato al controlador, durante los primeros momentos de dosaje, el PWM trabajará con una eficiencia del 100%, sin embargo, cuando se alcance el 75% del monto deseado, el valor del PWM bajará a 85% y cuando esté en el 90% del monto, el PWM trabajará con el 70%. La vibración del motor irá bajando conforme vaya avanzando la dosificación, esto permite una dosificación más precisa y ayuda con las dosificaciones de menor cantidad, que son con las que estos tipos de máquinas suelen cometer excedentes.

Luego de realizar la dosificación de manera exitosa, la máquina quedará en pausa y no soltará el material censado hasta que el sensor CNY70 detecte la presencia de un contenedor.

Luego de un rato volverá a cerrarse y dependiendo de la cantidad de repeticiones programadas, se volverá a realizar una dosificación.

Cuando se finalizan todas las dosificaciones el dosificador vuelve al estado de inicio en automático.

d) Orden del programa

Como se puede observar en la figura 55, los primeros pasos del programa es configurar las librerías que fueron mencionadas.

```
proto_tesis_7b
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Servo.h>
#include <HX711.h>
```

Figura 55. Librerías en el programa en plataforma Arduino

Fuente: Elaboración propia

Luego de esto, se define las señales análogas destinadas al sensor de celda de carga, en el caso del programa son A0 y A1. Respectivamente, se tomó las salidas como CLK y DOUT.

CLK toma el valor del clock, que será un temporizador para el control de datos de la celda de carga.

DOUT toma el valor como entrada de datos digitales, de la celda de carga.

Después de eso sigue definir los caracteres de la matriz de botones. Mostrado en la figura 56, empezando por definir la cantidad de caracteres “horizontal x vertical”. En el caso del teclado usado es 4 x 4.

```
proto_tesis_7b
#define DOUT A1
#define CLK A0

HX711 balanza(DOUT,CLK);

const byte fil = 4;
const byte col = 4;
byte pins_fil[] = {14,15,16,17}; // Definir pines filas
byte pins_col[] = {18,19,20,21}; // Definir pines columnas

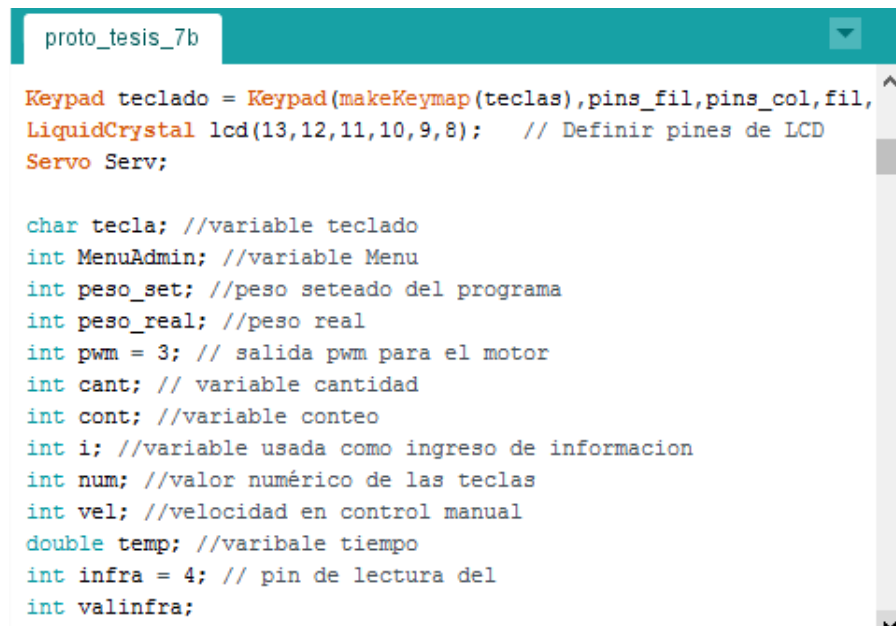
char teclas[fil][col]={
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}
};
```

Figura 56. Configuración de la matriz de teclado

Fuente: Elaboración propia

Tras definir las dimensiones de la matriz, se definen los pines que se utilizarán, luego se definen los caracteres de cada elemento. En la figura 57 se puede observar, todas las variables y configuraciones para teclado y servomotor.

Terminada la definición de los botones, se enlaza los pines con los caracteres, se realiza un mapeo de datos para el teclado. De esta manera el programa reconocerá cual tecla es la operada.

A screenshot of a code editor window titled 'proto_tesis_7b'. The code is in C++ and defines a Keypad, a LiquidCrystal LCD, and a Servo motor. It also declares several variables for menu management, weight settings, motor control, and sensor input.

```
Keypad teclado = Keypad(makeKeymap(teclas), pins_fil, pins_col, fil,
LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,9,8); // Definir pines de LCD
Servo Serv;

char tecla; //variable teclado
int MenuAdmin; //variable Menu
int peso_set; //peso seteado del programa
int peso_real; //peso real
int pwm = 3; // salida pwm para el motor
int cant; // variable cantidad
int cont; //variable conteo
int i; //variable usada como ingreso de informacion
int num; //valor numérico de las teclas
int vel; //velocidad en control manual
double temp; //varibale tiempo
int infra = 4; // pin de lectura del
int valinfra;
```

Figura 57. Configuración de teclado y declaración de variables

Fuente: Elaboración propia

Con el sensor de celda de carga y el teclado configurado, sigue la pantalla de LCD, que se definen los pines que se conectarán con la pantalla.

```
LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,9,8);
```

Finalizando para la configuración de las librerías se define el nombre del Servomotor, en este caso Serv.

```
Servo Serv;
```

Luego de terminar con todos los valores que abarcan las librerías, se dispone a colocar las variables del programa, dentro de las más resaltantes:

Int MenuAdmin: La más importante y es la que ordena las capas de pantalla, el “*modus operandi*” de la máquina y la que permite que no se mezclen entre estas.

Char Tecla: Será la variable que tenga el valor de la tecla que se presione, sin esta, la máquina no sabría cómo enlazar una función con la tecla presionada.

Int peso_set e **Int** peso_real: Son el valor de peso deseado y el valor de peso en el momento respectivamente, se comparan para definir el tiempo de trabajo y que valor darle al PWM.

Int PWM = 3: Salida del PWM para el control del motor de la base vibratoria, dependiendo de la comparación entre el peso real y el peso deseado, el valor del PWM variará y la señal será enviada por la salida análoga 3.

Int Vel: Será el valor de la frecuencia del PWM y será el dato que el servomotor reciba.

Int cant e **Int** cont: Variable de cantidad y conteo de repeticiones respectivamente, uno indica el número de repeticiones que deben hacerse y el último lleva la cuenta de veces que se repiten en el momento. Cuando el conteo llega a la cantidad deseada, el dosificador debe parar.

Int infra: Variable de entrada del CNY70.

Int valinfra: Variable del valor del CNY70 y será la lectura e interpretación de la variable infra.

Después de esto se colocan los valores iniciales del programa en el *void setup*.

Se declara el Serial a 9600 bauds, también se declaran los pines que serán de entrada y salida. Se define la tara o peso default de la celda de carga, así como la posición inicial del servomotor.

Con estos parámetros puestos, se le considera la máquina en un estado inicial, luego se colocan los valores iniciales de las variables, en su mayoría son cero. Se declara la variable MenuAdmin en cero y se trabaja con la pantalla LCD, que durante este tiempo debe estar indicado “INICIANDO”, dando al usuario el mensaje que está iniciando las variables del sistema.

Terminado esto se entra al programa principal: *void loop*.

Dentro de este, se ha colocado el comando *Switch* y *case*, ambos alrededor de la variable MenuAdmin que inicialmente manda cero.

Cuando MenuAdmin está en cero, la pantalla indicará los modos de operación disponibles para el dosificador. En la figura 58, se muestra la pantalla de “*modus operandi*” del dosificador. En este se puede ver los dos modos posibles de trabajo del dosificador, así como los botones que se deben pulsar para cada uno. A parte, cualquier otro botón no causará que otra función se active de manera innecesaria o por error. La variable MenuAdmin se utilizó justamente para evitar este tipo de errores. Esto se debe a que cada modo, incluyendo el de espera, se ubica en un

“*case*” distintos. Por ello tienen distintos significados para los mismos botones, sin que estos se mezclen.



Figura 58. Pantalla del modus operandi del dosificador

Fuente: Elaboración propia

Dependiendo del modo de salida que se elija, la pantalla luego indica el tipo de operación que realiza. En la figura 59, se muestra como ejemplo cuando esta entre en modo Manual, esta es solo una pantalla de indicación y no se puede hacer nada, mientras tanto, la variable MenuAdmin cambia al valor necesario.

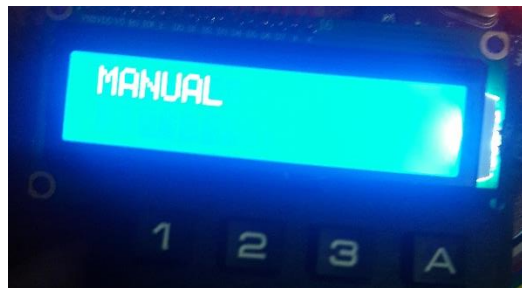


Figura 59. Ejemplo de pantalla cuando se escoge un Modo de Operación

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 60 y 61, se muestran respectivamente las pantallas de operación de cada modo, Automático y Manual. El modo automático tiene además otras opciones como guardado de variables, para estos tipos de comandos también se colocaron “*cases*” apartes.



Figura 60. Modo Automático

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la 61, para operar las constantes de número de veces en que se realizará la dosificación se necesita pulsar el botón 1 y para el peso deseado el botón 2.



Figura 61. Modo Manual

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 12 contiene el programa completo desarrollado.

CAPITULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se tratará las pruebas realizadas de manera individual y simultanea de piezas electrónicas y mecanismos, en revisión de lo fundamentado durante el rediseño del dosificador.

4.1. Descripción de pruebas

4.1.1. Pruebas en el control de motor

Entre las primeras pruebas mecánicas que se deben realizar debe ser el control del motor.

El propósito de esta prueba sería hallar un rango apropiado de valores para el PWM en el cual el motor obtiene suficiente fuerza para poder trasladar el contenido de la base vibratoria.

Los valores de ancho de banda del PWM con los que se van a probar serán 25%, 50%, 60%, 75%, 90% y 100%. Según la información calculada durante el rediseño y la selección de motor, a partir del 60% debería empezar a empujar.

4.1.2. Pruebas en el sensor de celda de carga

El elemento de mayor importancia es la celda de carga, por lo que es necesario realizar pruebas en este para poder asegurar el funcionamiento del diseño.

El rango de trabajo deseado de la celda de carga es de 0 a 200 gramos. Se podría tolerar un error de hasta 1 gramo en dosificaciones pequeñas y 1.5 gramos en dosificaciones que pasen los 100 gramos y se preferiría que pueda trabajar con mayor peso al establecido.

Para poder realizar eso, y teniendo completada la prueba del motor para trasladar el contenido a dosificar, se va a probar el sensor con las 3 velocidades a dosificar, el elemento a usar en la prueba será harina, que está dentro de la lista de productos que el cliente desea dosificar.

Se espera que con esto se pueda calcular la sensibilidad del sensor en la máquina y la posibilidad de comprobar la calibración de los parámetros de la misma.

4.1.3. Pruebas del servomotor y CNY70

Las pruebas en el servomotor y el CNY70 tienen la finalidad de descubrir el tiempo de respuesta de la máquina cuando se alcanza el contenido deseado y su capacidad de funcionar dependiendo de la luz a su alrededor para el caso del CNY70.

Las pruebas constarán de programar una pseudo dosificación y cuando este alcance el límite el programa debe ordenar que la dosificación se detenga y espera la señal del CNY70 para soltar la dosificación.

4.1.4. Pruebas del programa e interface en el sistema

Esta prueba es importante ya que poco importa lo eficiente que es la máquina si esta no es fácil de usar para el usuario o si hay errores en sus parámetros que no permitan una buena dosificación.

La primera prueba será en verificar el tiempo que tarda al cambiar de pantalla y la comprobación de todas las acciones realizadas por los pulsadores del teclado.

Verificar que todas las acciones de la interface y su comunicación con el usuario. Otro aspecto importante de esta prueba es verificar que siga el orden establecido por el pseudocódigo del programa.

4.1.5. Pruebas de los componentes en el simulador

La última prueba a realizar consiste en la unión de todos los componentes previamente probados, ensamblarlos en un simulador en físico.

El primer propósito es verificar el posicionamiento de componentes electrónicos y verificar no ocurran interferencias entre estos al ser usados en simultaneo.

Una vez completado el ensamblaje del mismo, se podría revisar las posibles posiciones de los componentes dentro de la máquina.

El otro propósito es revisar la sincronización y comportamientos de los elementos del dosificador funcionando en conjunto, descartar cualquier problema de ruido o bajadas de tensión.

4.2. Resultados conseguidos

4.2.1. Resultados de prueba de motor

Se probó primero por separado el control de motor por PWM. Los valores del PWM según la librería utilizada, trabaja entre los valores 0 y 255. Dentro de los cuales al probarse con los valores que indicaban menor al 60% no eran suficiente para mover el motor de forma que la vibración llegara a afectar la base con un peso de 200 g. Corroborando de esta forma lo analizado en la etapa de diseño.

Por lo tanto y como se tenía planeado, se descartó cualquier control de PWM debajo del valor previamente mencionado. Se decidió entonces que se trabajaran con los siguientes valores: 75%, 90% y 100%.

En la figura 62, se puede ver el motor instalado debajo de un modelo experimental de acrílico de la base vibratoria.

Luego se revisó la poca diferencia entre el 90% y se sugirió reducir estos valores, tomando el 78% para notar la diferencia de dosificación y se vio la posibilidad usando el 68% que equivale al valor nominal de 175 en el programa, para reducir cualquier exceso.

Por supuesto debido a la flexibilidad del programa, podría luego cambiarse estos valores a pedido de algún cliente.

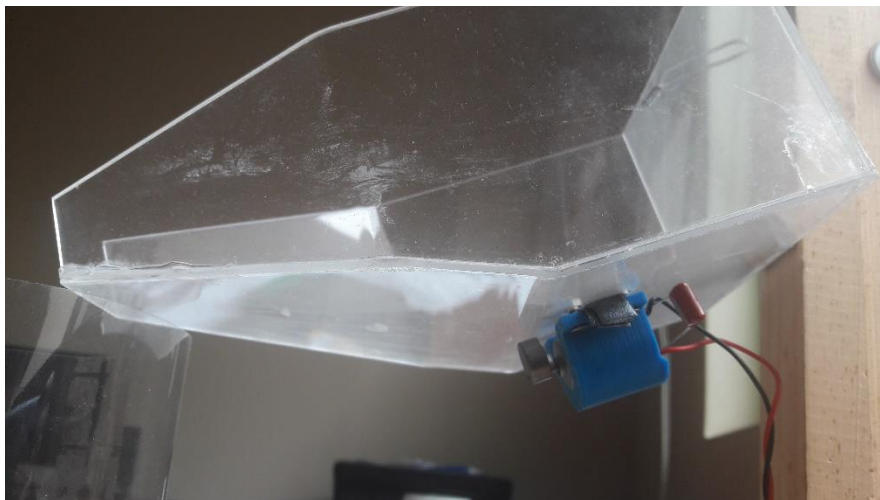


Figura 62. Motor con base de acrílico

Fuente: Elaboración propia

Utilizando los valores reflejados en la tabla 5, trabajó con los valores de 255, 200 y 175 en el programa para controlar el PWM, bajo la condición de peso censado en la celda de carga:

- Menor al 75% de peso, asignando el valor de 255 en el programa, que equivale a usar el PWM al 100%
- Entre el 75 y 90%, asignando el PWM a un 78% de tiempo en positivo.
- Finalmente, mayor al 90%, reducir el tiempo encendido del PWM al 68%.

De esta forma la fuerza de la vibración del motor y la dosificación irá disminuyendo conforme más se acerque al peso deseado, lo que reduce la posibilidad de que se pase del valor necesario.

Tabla 5. Tabla de porcentajes del motor

Peso en celda de carga	Valores en programa	Porcentaje de motor
<75%	255	100%
75% - 90%	200	78%
>90 %	175	68%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Resultados de la prueba de celda de carga

El primer paso para comprobar el funcionamiento de la celda de carga fue ajustando la tara y peso cero del sensor. La celda de carga no está simplemente colocada, está ajustada sobre una barra y cuenta con un embudo, por lo que ya contiene un desdoblamiento por el ajuste y un peso por el embudo. Así que su medida resistiva es distinta a cuando está simplemente en reposo, por lo que se debe hallar el desbalance y ajustarlo como el nuevo valor cero del sensor.

Para realizar mencionada labor, es necesario comprobar primero el valor en la celda de carga, afortunadamente como se puede ver en la figura 61, la librería cuenta también con un programa que facilita la regulación de la tara y el peso cero del sensor.

```

#include "HX711.h"

#define DOUT A1
#define CLK A0

HX711 balanza(DOUT, CLK);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Lectura del valor del ADC: ");
  Serial.println(balanza.read());
  Serial.println("No ponga ningun objeto sobre la balanza");
  Serial.println("Destarando...");
  balanza.set_scale(); //La escala por defecto es 1
  balanza.tare(0); //El peso actual es considerado Tara.
  Serial.println("Coloque un peso conocido:");

}

void loop() {

  Serial.print("Valor de lectura: ");
  Serial.println(balanza.get_value(10),0);
  delay(100);

}

```

Figura 63. Programa de calibración

Fuente: Elaboración propia

El valor de lectura visible en la figura 62 se entiende por el valor que ingresa de la celda de carga al programa, el valor alrededor de los 83338 refiere a la flexión de la celda de carga al estar ajustada y colocada con un embudo.

```

Valor de lectura: 83338
Valor de lectura: 83326
Valor de lectura: 83336
Valor de lectura: 83340
Valor de lectura: 83369
Valor de lectura: 83336
Valor de lectura: 83356
Valor de lectura: 83367
Valor de lectura: 83372
Valor de lectura: 83361
Valor de lectura: 83342
Valor de lectura: 83377
Valor de lectura: 83328
Valor de lectura: 83346
Valor de lectura: 83353
Valor de lectura: 83349
Valor de lectura: 83342
Valor de lectura: 83328
Valor de lectura: 83339
Valor de lectura: 83343
Valor de lectura: 83351
Valor de lectura: 83363
Valor de lectura: 83350
Valor de lectura: 83340
Valor de lectura:

```

Figura 64. Valores de lectura de celda de carga en "peso 0"

Fuente: Elaboración propia

Para revisar luego el peso de la celda de carga debe soportar, de utilizó un peso de 200 gramos que es el máximo que se desea dosificar en el dosificador, y se le agregó al peso en el embudo, dando el resultado visto en la figura 63. Donde el valor de lectura aumentó de 83338 a 160648.

```

Valor de lectura: 161910
Valor de lectura: 160642
Valor de lectura: 160637
Valor de lectura: 160648
Valor de lectura: 160644
Valor de lectura: 160656
Valor de lectura: 160626
Valor de lectura: 160655
Valor de lectura: 160649
Valor de lectura: 160633
Valor de lectura: 160661
Valor de lectura: 160626
Valor de lectura: 160655
Valor de lectura: 149999
Valor de lectura: 143818
Valor de lectura: 162442
Valor de lectura: 160587
Valor de lectura: 160632
Valor de lectura: 160647
Valor de lectura: 160638
Valor de lectura: 160648
Valor de lectura: 160644
Valor de lectura: 160675
Valor de lectura: 160662
Valor de lectura:

```

Figura 65. Valores de lectura en celda de carga con 200 gramos

Fuente: Elaboración propia

Esta diferencia servirá luego para hallar los valores dentro del rango de acción de la celda de carga. Se trabaja el valor resultante en la diferencia entre ambos datos y se le divide la cantidad que simboliza, para este caso, los 200 gramos. Por lo que la operación para hallar el promedio de variación por gramo es de 386.55.

$$X = \frac{160648 - 83338}{200} = 386.55$$

Este nuevo valor es colocado en un nuevo programa como la variación para cambiar el resultado en un gramo.

El nuevo programa tendrá la siguiente forma como se puede ver en la figura 64, colocando en *set_scale* el valor hallado en la anterior operación. El programa de prueba tomaría entonces el orden de configurar en el *setup* del mismo los valores de la balanza.

```

#include "HX711.h"

#define DOUT A1
#define CLK A0

HX711 balanza(DOUT, CLK);

void setup() {
Serial.begin(9600);
Serial.print("Lectura del valor del ADC: ");
Serial.println(balanza.read());
Serial.println("No ponga ningun objeto sobre la balanza");
Serial.println("Destarando...");
Serial.println("...");
balanza.set_scale(386.55); // Establecemos la escala
balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.

Serial.println("Listo para pesar");
}

void loop() {
Serial.print("Peso: ");
Serial.print(balanza.get_units(20), 3);
Serial.println(" g");
delay(100);
}

```

Figura 66. Programa con el nuevo dato

Fuente: Elaboración propia

Se procede luego a probar la nueva salida del programa.

Se puede observar en la figura 65 que el cálculo es bastante preciso, pero aún no llega a los 200 gramos que se le fue asignado.

```

Lectura del valor del ADC: 86107
No ponga ningun objeto sobre la balanza
Destarando...
...
Listo para pesar
Peso: -0.300 g
Peso: -0.279 g
Peso: 0.986 g
Peso: 37.116 g
Peso: 247.751 g
Peso: 199.348 g
Peso: 199.299 g
Peso: 199.299 g
Peso: 199.296 g
Peso: 199.335 g
Peso: 199.299 g
Peso: 199.278 g
Peso: 199.302 g
Peso: 199.283 g
Peso: 199.302 g
Peso: 199.369 g
Peso: 199.170 g
Peso: 199.139 g
Peso: 199.128 g
Peso:

```

Figura 67. Valores en gramos con el nuevo programa

Fuente: Elaboración propia

Por lo que experimentalmente se trabajó con 360 como valor final para considerar el cambio en gramos, la tesis prueba la posibilidad de trabajar en microgramos.

A partir de estos valores y estos programas como base se pudo terminar el programa principal en la parte del control de la dosificación.

Después de verificar que el programa trabajaba adecuadamente los datos máximos y mínimos se empezó a probar con otros valores que se encuentren entre los que se desean dosificar, como lo son los valores de 10 gramos, 50 gramos y 100 gramos.

Debido a la cantidad de retardos que posee el programa para poder estabilizar la dosificación, el controlador obtiene 10 valores del dosificador en un intervalo de 18 segundos, por lo que la velocidad de reconocimiento es de alrededor de un valor cada 0.55 segundos.

Al saber que cada intervalo de valor obtenido por el programa es alrededor de 0.55 segundos y que la siguiente prueba, visible en la figura 68, se colocan pesas de 50 gramos y 100 gramos, probando la alteración y los valores básicos del dosificador al pasar de valores bruscos repentinamente.

```
Lectura del valor del ADC: 85948
No ponga ningun objeto sobre la balanza
Destarando...
...
Listo para pesar
Peso: -0.122 g
Peso: -0.194 g
Peso: -0.204 g
Peso: -0.186 g
Peso: 1.143 g
Peso: 41.123 g
Peso: 53.406 g
Peso: 53.545 g
Peso: 53.602 g
Peso: 45.552 g
Peso: -0.261 g
Peso: -0.238 g
Peso: 37.739 g
Peso: 96.290 g
Peso: 96.249 g
Peso: 96.076 g
Peso: 96.008 g
Peso:
```

Figura 68. Datos en controlador prueba con pesos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 69 se puede observar que para valores de alrededor de 50 gramos tardó 1.65 segundos que para pesos de 100 gramos respondió de igual velocidad, se puede estimar entonces que para reconocer un peso tardará entre 1.5 y 2 segundos.

Luego de comprobar la velocidad con la que asigna valores y que puede trabajar con cambios de valores repentinos sin desviar mucho el valor de la dosificación, se realizó la prueba de dosificar de manera lenta hasta alcanzar los 100 gramos. La razón de esta prueba es para demostrar que se puede realizar una dosificación simple y si se puede apreciar el cambio de velocidad durante la dosificación. En la figura 69, y su continuación, la figura 70, se puede observar, que durante las primeras muestras durante la dosificación que los valores avanzan de alrededor de 3 gramos por muestra, que se había confirmado, era de alrededor de 0.55 segundos, por lo que se puede asumir que la cantidad de material que logró dosificar en el tiempo de 5.33 gramos por segundo, dejando este como un posible caudal máximo de dosificación al usar el motor al 100%.

```
No ponga ningun objeto sobre la balanza
Destarando...
...
Listo para pesar
Peso: -0.212 g
Peso: -0.171 g
Peso: 1.366 g
Peso: 4.018 g
Peso: 7.236 g
Peso: 9.070 g
Peso: 13.548 g
Peso: 17.429 g
Peso: 19.785 g
Peso: 22.020 g
Peso: 25.034 g
Peso: 27.901 g
Peso: 31.466 g
Peso: 34.648 g
Peso: 37.713 g
Peso: 37.987 g
Peso: 38.629 g
Peso: 40.427 g
Peso: 41.389 g
Peso: 43.363 g
Peso: 44.354 g
```

Figura 69. Valores en controlador dosificando a 50 gramos

Fuente: Elaboración propia

Cuando el peso en el dosificador alcanzó superar los 35 gramos, se pudo observar la disminución de fuerza en la dosificación, en la figura 69 se muestra que pasado el mencionado valor la dosificación baja alrededor de 1 a 2 gramos por valor asignado. Y en la figura 70, se muestra como el valor varió a un gramo o menor,

lo que considera la nuevamente reducción de fuerza en el motor al pasar a estar cerca de la dosificación.

Peso:	44.354 g
Peso:	44.633 g
Peso:	44.750 g
Peso:	45.107 g
Peso:	45.435 g
Peso:	46.418 g
Peso:	46.664 g
Peso:	46.868 g
Peso:	47.549 g
Peso:	47.766 g
Peso:	48.144 g
Peso:	49.223 g
Peso:	49.530 g
Peso:	49.629 g
Peso:	50.482 g
Peso:	50.444 g

Figura 70. Valores en controlador, dosificando a 50 gramos

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Resultados de la prueba del servomotor y CNY70

Contando ya con los valores de la prueba anterior, se puede probar las reacciones de la tesis con respecto al cambio de peso en la celda de carga, por lo que se puede revisar la secuencia de dosificación que involucra el uso de servomotor y el CNY70.

Para la simulación del servomotor se le colocó a este una palanca que sirviera de base e impida el pase de harina. Y para el uso del CNY70, se le colocó el CNY70 de manera que cuando se coloque una plataforma este detecte su presencia y accione el servomotor.

En la figura 71 se puede observar la posición del servomotor en reposo, que mantiene la salida de contenido sellada.



Figura 71. Servomotor cerrado

Fuente: Elaboración propia

Tras probar el llenado del dosificador, se probó el uso del CNY70 con el servomotor, ambos funcionando sin mayor problema.

En la figura 72, se puede observar el comportamiento del servomotor y su accionamiento de cerrado pasando ha abierto.



Figura 72. Servomotor abierto

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Resultados de la prueba de programa e interface del sistema

Como se había explicado antes, para controlar las distintas funciones de la pantalla se tomó una variable MenuAdmin en conjunto con la función switch case del programador de Arduino.

Se probó entonces el cambio de las funciones y sus modificaciones, resultando de manera positiva. La prueba se realizó en orden, empezando por el primer valor asignado que es el MenuAdmin en estado cero, que lleva a la secuencia de inicio de la máquina, el modelo del dosificador pudo mantenerse en su estado inicial sin el mayor problema.

Como se puede observar en las vistas de pantallas en la figura 73, la pantalla indica las de manera simple los comandos que se pueden usar, se realizó el comando que indica el cambio de estado de pantalla y esta realizó el trabajo de manera eficiente.

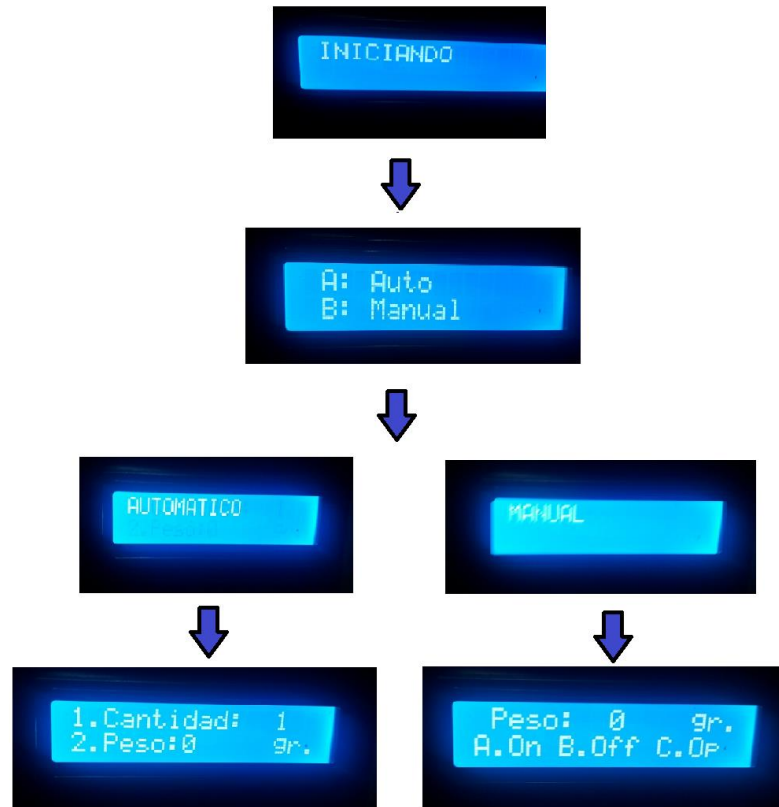


Figura 73. Vistas de pantalla según modo de operación

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Resultados de las pruebas de los componentes en el simulador

Se empezó con la distribución de circuitos y componentes, siguiendo el diseño original del dosificador se colocó la tolva de la misma manera, en lateral y con el embudo con sensor debajo de la salida de la misma, como puede verse en la figura 74. Se aprovechó el espacio que era anteriormente destinado al electroimán para colocar el controlador y la placa.



Figura 74. Simulación de máquina dosificadora

Fuente: Elaboración Propia

Después de colocar todos los componentes se procedió a probar el comportamiento de los mismos, funcionando al mismo tiempo en el prototipo del dosificador.

Una vez probado con éxito el funcionamiento de la pantalla inicial se procedió a cambiar el modo operativo del dosificador a modo manual. Dentro de este se pudo revisar el cambio en el programa y se procedió a comprobar el funcionamiento del motor. Una vez completado la cantidad deseada, se paró el motor y de posteriormente la pantalla entregó la cantidad que entró al dosificador.

Dentro de los primeros errores encontrados fue el ruido encontrado al usar el motor en conjunto con la pantalla LCD, el ruido interfería con la pantalla borrando el contenido de esta al comenzar la dosificación. Por lo que se decidió buscar una forma para eliminar el ruido del motor, al comparar con los métodos mostrados en la figura 75, el cuarto método fue el que mejor funcionó para eliminar el ruido del motor.

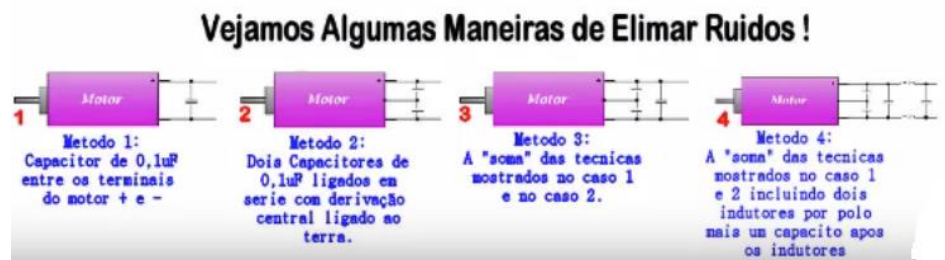


Figura 75. Métodos para eliminar ruido en motores

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=4cvNWp9HfBU>

El problema se resolvió al soldar dos condensadores más en el motor, estos en serie y a la vez en paralelo con el primer condensador colocado, siguiendo el ejemplo de la figura 76.

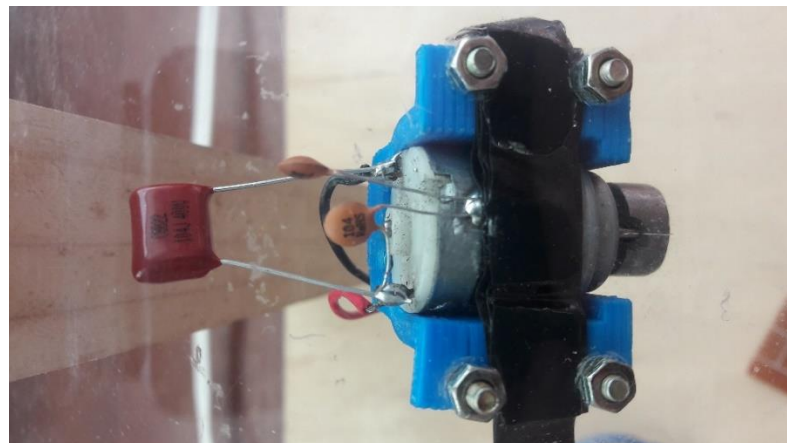


Figura 76. Motor en prueba

Fuente: Elaboración propia

Resuelto el problema del ruido del motor, no se presentó mayor problema en el ensamblaje. Durante la experimentación, se ajustaron algunos temporizadores y se prosiguió a las pruebas finales. Se accionó el pulsador que libera el contenido dosificado, comprobando el funcionamiento del servomotor. Se verificó tanto la dosificación en proceso automático como en manual.

4.3. Presupuesto estimado de la futura implementación del rediseño

Para realizar un estimado en los costos, se debe evaluar primero que materiales se planea utilizar. Afortunadamente, tomando en consideración el reducido tamaño del dosificador en comparación con otros de similar propósito, se puede estimar que sus costos respecto a los materiales físicos serían menores al de sus predecesores.

Presupuesto de Armazón y base

Para el prototipo presentado, se utilizó una base de acero con un grosor de 0.25 cm, las paredes con láminas de acero de menor grosor. Se realiza, además, una proyección del costo en la tabla 6 tratándose de usar acero inoxidable en un modelo más orientado en representar un producto finalizado.

Tabla 6. Presupuesto de armazón y base

Pieza	Precio unit. (s/.)	Precio por mayor (s/.)
Planchas de acero	125.00	110.00
Base de acero	80.00	75.00
Pintura	10.00	8.00
Sub-total	215.00	193.00

Fuente: Elaboración propia

En un mecanismo de acero inoxidable en la tabla 7:

Tabla 7. Presupuesto de armazón y base en INOX

Pieza	Precio unit. (s/.)	Precio por mayor (s/.)
Planchas de inox	165.00	140.00
Base de inox	110.00	100.00
Pintura	10.00	8.00
Sub-total	285.00	248.00

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto de piezas electrónicas

Para las piezas electrónicas, se ha separado entre: Sensores y Actuadores, y Piezas de placa de control. Para mantener ordenado el costo, se toma en cuenta que estos gastos son por cada máquina a hacer y se multiplican con el número de máquinas. Además, si son compradas al por mayor el costo se reduce por lo que el costo unitario al fabricar un ejemplar no será igual al costo unitario al fabricar cinco o más ejemplares, se pueden observar los precios en las tablas 8 y 9.

Sensores y Actuadores

Tabla 8. Presupuesto de sensores y actuadores

Pieza	Precio unit. (s/.)	Precio por mayor (s/.)
Celda de carga de 1 kg.	10.00	8.00
Pantalla LCD 16x2	10.00	8.00
Matriz botones	20.00	18.00
Servomotor futaba	20.00	18.00
Circuito HX711	10.00	6.00
Motor yxs con excéntrica	6.00	4.80
Sujetador de motor	3.00	2.00
Fuente 240 - 12 v	25.00	22.00
Ventilador	8.00	7.00
Sub-total	112.00	93.80

Fuente: Elaboración propia

Piezas de placa de control

Tabla 9. Presupuesto de piezas de placa de control

Pieza	precio unit. (s/.)	precio por mayor (s/.)
Placa de baquelita	8.00	5.00
Arduino mega	180.00	170.00
Cableado	0.37	0.20
Pines	1.00	0.80
Transistor 7805	1.00	0.80
Transistor 7812	1.00	0.80
Transistor TIP	4.00	3.80
Transistor TIC	4.00	3.80
Potenciómetro	0.50	0.35
Condensadores	0.50	0.35
Resistencias	0.50	0.35
Sub-total	200.87	186.25

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto de programa

El costo de un programa, cuando se solicita el servicio de elaboración de un programa, depende del grado de dificultad y de la interface que se desea usar. Mientras más complicado y completo, mayor será el costo. Como para este prototipo se desarrolló el programa de control, este gasto no existe. Para un caso que se compra un programa, a diferencia de los demás presupuestos, el comprar el programa es solo un gasto y no varía con el número de dosificadores a producir.

Presupuesto de servicios

Los servicios realizados al trabajar este proyecto, consistieron en su totalidad de gastos de viaje, la mano de obra usada en la impresión de la placa electrónica y del moldeamiento de las planchas de acero, así como la preparación y pintado del mismo, visualizado en las tablas 10 y 11.

Tabla 10. Presupuesto impresión de placa

Servicios	precio unit. (s/.)	precio por mayor (s/.)
Impresión placa electrónica	25.00	18.00
Moldeado de placas de acero	25.00	22.00
Transportes	40.00	40.00
sub-total	90.00	80.00

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto total

Tabla 11. Presupuesto total

Servicios	precio unit. (s/.)	precio por mayor (s/.)
Armazón y base	285.00	248.00
Sensores y actuadores	112.00	93.80
Piezas de placa de control	200.87	186.25
Servicios	90.00	80.00
Sub-total	687.87	608.05

Fuente: Elaboración propia

El presupuesto total juntando todos los gastos presentados es de S/.617.87 que pueden tomarse alrededor de US\$ 205, para un caso de fabricación al por mayor sería un aproximado de US\$181.

CONCLUSIONES

La presente tesis concluye en que, si es posible diseñar y simular la automatización de un sistema de un dosificador de polvos, operado por celda de carga a través de microcontrolador ATmega para disposición de la empresa JACS.

1. Se logró diseñar un sistema mecánico que permita el traslado del producto. Al aplicar las técnicas de ingeniería inversa, que contaron con un modelado físico en Solidworks para ver su tamaño y peso, al igual que lo componentes que conforman el sistema mecánico. Tomando en consideración el proceso de *benchmarking*, se reemplazaron algunos componentes mecánicos como el electroimán con componentes electrónicos como el motor DC con excéntrica de marca Yxs. Posterior a esto se realizó un nuevo diseño en Solidworks que no ocupe más espacio que el original, añadiendo además los nuevos componentes.
2. Se logró diseñar un sistema electrónico que permita realizar todas las funciones del dosificador original, realizando un análisis del funcionamiento y sus variables, en un modelado de los posibles componentes electrónicos en ISIS Proteus. Luego, se diseñó en ISIS una nueva placa electrónica y se le dio forma y tamaño en ASUS Proteus en relación a todos los nuevos componentes. Durante la formulación del funcionamiento electrónico del motor de marca Yxs, se comprobó la necesidad de que el PWM tenga un 60% mínimo de eficiencia para empezar a dosificar.
3. Se diseñó un programa en el entorno Arduino, realizado en conjunto con el análisis del funcionamiento del dosificador durante la ingeniería inversa. El programa usa efectivamente una celda de carga, por lo que se realizó una prueba de calibración del sensor para que se adecue a las condiciones mecánicas del dosificador, así como a la asignación de sus variables. Se controló el motor Yxs por PWM, cuya eficiencia está configurada para que se reduzca con forme el peso reconocido en la celda de carga se acerque al peso deseado asignado por el usuario, esto aumentó la precisión del dosificador.

4. Se logró investigar nuevas herramientas para mejorar la automatización el dosificador, con el reemplazo de los componentes que requerían corriente alterna para funcionar, se puede adicionar una batería de 5V para que el dosificador funcione en casos de apagones. Adicionalmente, debido a que se usó el entorno Arduino que es compatible con Visual Basic, programa mayormente usado por la empresa JACS, permite la comunicación entre el dosificador y otras de sus maquinarias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

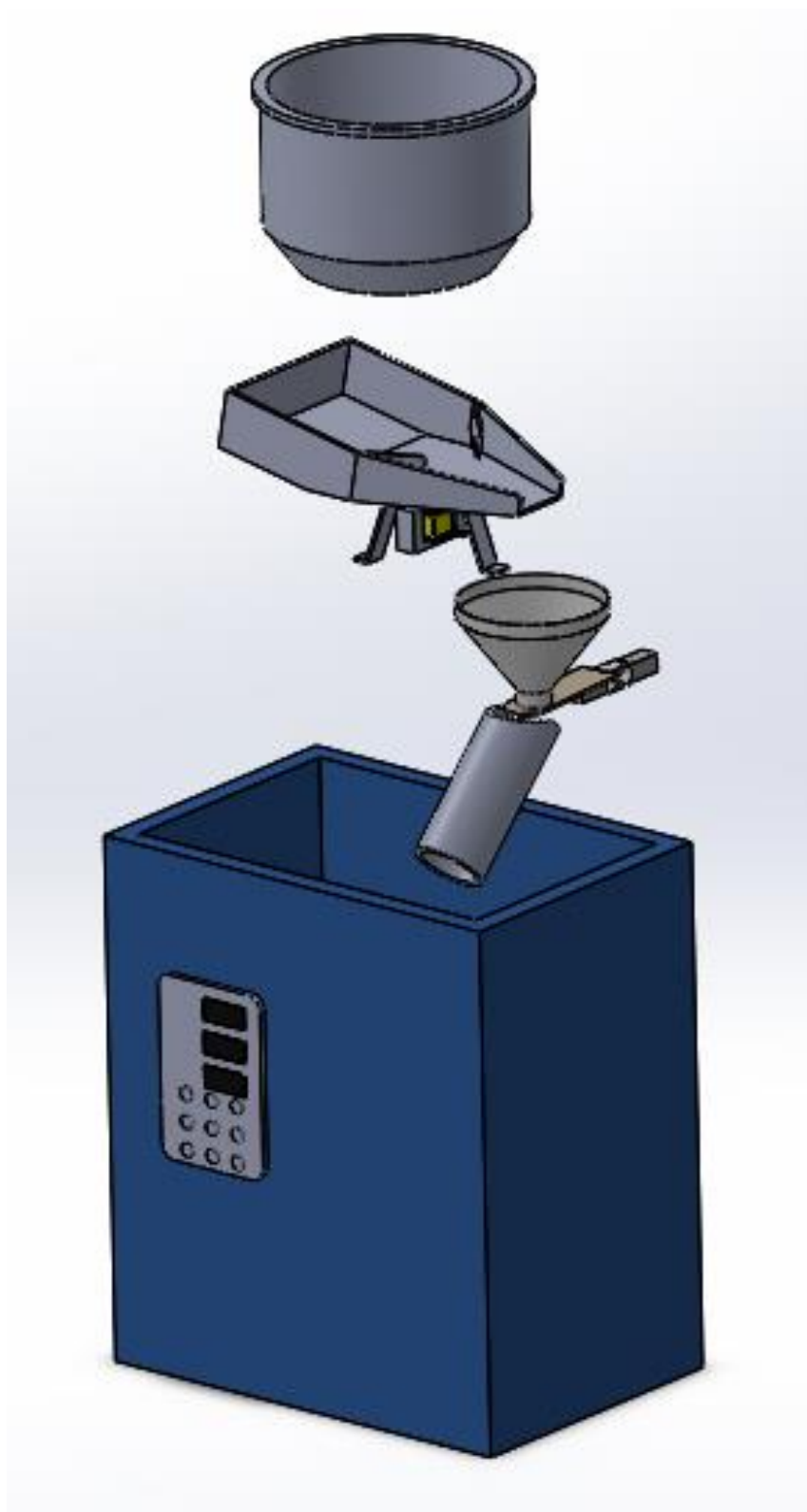
- Álvarez, M. Electroimanes, Editorial ECU, p. 24 – 34. Recuperado de:
<https://www.editorial-club-universitario.es/libro.asp?ref=5698>
- Aplin, T. (2013). *Reverse Engineering and Commercial Secrets. Current Legal Problems*, 341–377
- Augarten S. (1983). *State of the Art: A Photographic History of the Integrated Circuit*, p. 38.
- Axayacatl O. Blog: *BlogIngenieria*, (2014). Recuperado de:
<https://blogingenieria.com/general/ingenieria-inversa/>
- Bartolomé J. (2003) El teclado de matriz. Recuperado de:
<http://www.tolaemon.com/docs/tmatriz.htm>
- BasculasPoise, página web de venta de celdas de carga.
https://www.basculaspoise.com/Productos/Celdas_de_carga/index.html
- Bazan, M. (2010) *Sistema Milidosificador de Polvos: Diseño y Construcción*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Berkowitz, D. (2009) *Industria Alimentaria, Sectores Basados en Recursos Ecológicos*, c67, 2-33. Recuperado de:
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/67.pdf>
- Blanca, A. (2008). *Automatización y robótica para la producción*. Recuperado de
<https://www.gestiopolis.com/automatizacion-robotica-produccion/>
- Cabrera, R. (2015). *Ingeniería inversa para la adaptación tecnológica en una empresa manufacturera peruana, estudio de caso*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chapman, J. (2000), *Máquinas Eléctricas*. Mc Graw Hill Tercera edición, p.549
- Chen, Y., & Ng, C. (1997). *Integrated reverse engineering and rapid prototyping*. Computers & Industrial Engineering, 481–484.
- Definicion ABC. Pantallas LCD Página web de educación en electrónica
<https://www.definicionabc.com/tecnologia/pantalla-lcd.php>
- Electronicoscaldas.com Página de ventas de artículos de mecatrónica
<http://www.electronicoscaldas.com/microcontroladores-atmel/383-microcontrolador-atmega328p-pu.html>

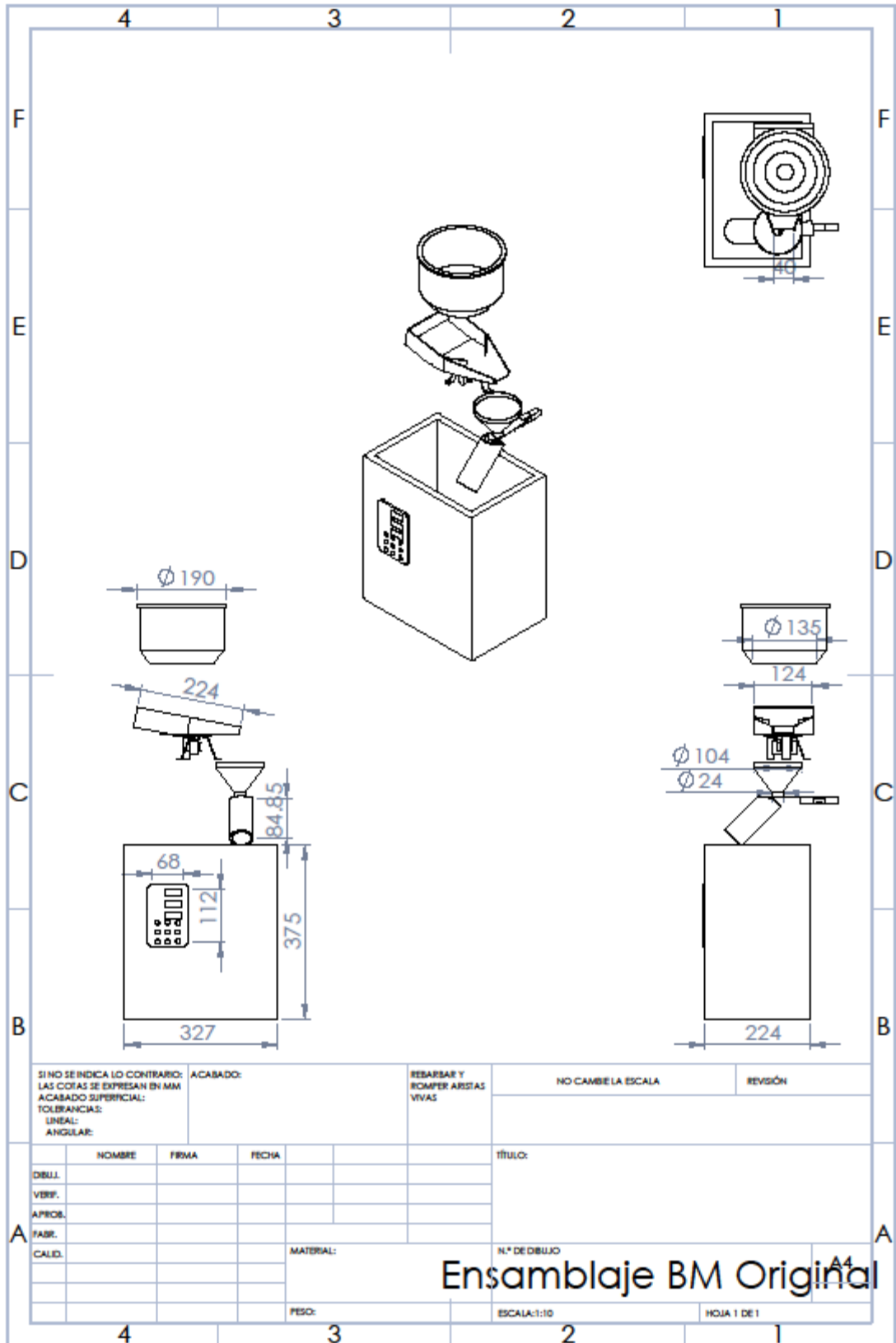
- ESPASA, *Industria Alimentaria, la revolución de la comida*. Recuperado de: <http://espasa.planetasaber.com/theworld/gats/article/default.asp?pk=841&art=59>
- Espinosa Esquivel, M. (1995) *Diseño y construcción de una celda de carga*. Maestría thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- FESTO (2008) Libro técnico, *Fundamentos de la técnica de automatización*. Recuperado de: https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/nwt/gym/weiteres/fb1/atechnik/-rundlagen/es/kapitel/563062_Fundamentos_de_la_tecnica_de_automatizacion.pdf
- García E. (2012) Universidad Politécnica Salesiana. *Diseño y Construcción de un prototipo con sistema scada aplicado al control del micro clima y dosificación del producto almacenado en silos*. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1902/5/04%20Diseno%20construccion%20dosificadores.pdf>
- Marmolejo R. (2017) Blog: trece dBs. <https://trecedb.wordpress.com/2009/02/13/partes-del-microcontrolador/>
- Montanha, J. (2011). *Sistematização do processo de engenharia reversa de sistemas técnicos* (Tesis Doctorado). Universidad de Federal de Santa Catarina, Brasil.
- Montanha, J., Ogliari, A., & Black, N. (2007) *Guidelines for Reverse Engineering Process Modeling of Technical Systems*.
- National Instruments, documentos de soporte, ¿Que es una Señal Modulada por Ancho de Pulso (PWM) y Para Qué es Utilizada? Blog de soporte al cliente. <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/AA1BDEA4AA224E3E86257CE400707527>
- Naylampmechatronics, página web de venta de componentes de mecatrónica <https://naylampmechatronics.com/sensores/147-modulo-hx711-transmisor-de-celda-de-carga.html>
- Otto, K., & Wood, K. (1998) *Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology*. Research in Engineering Design, 226–243.
- Otto, K. N., & Wood, K. L. (2001) *Product design: Techniques in reverse engineering and new product development*. Upper Saddle River.
- Pino, R. (2008) *La relación entre el sector industrial y el tamaño de empresa con las prácticas de la calidad total y el desempeño organizacional*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Pooley, J. (1999) *Trade secrets. Intellectual Property Series*. New York: Law Journal Press.

- Ramirez, A. (2013) *Tipos de Automatización*. Blog Automatizacion Industrial Ingenieria. Recuperado de: <http://automatizacionindustrialingenieria.blogspot.pe/p/tipos-de-automatizacion.html>
- Rekoff, M. (1985) *On Reverse Engineering*. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 244–252.
- Ruiz, A. (2014) “*Desarrollo de Ingeniería Inversa Orientado a Objeto*”, Blog: HistoriadelComputo.UNAM. Recuperado de: http://www.historiadelcomputo.unam.mx/files/40anos/memorias_40_anos/invest/invaaar13.htm
- Stefanelli E. & Infantozzi R. *Ingeniería inversa: La discusión sobre su validez y legalidad*. Recuperado de: <http://www.stefanelli.eng.br/es/ingenieria-inversa-validez-legalidad/>
- USA Department (2000) *U.S. Army Reverse Engineering*, 13.
- Vidal, H. (2004) *Diseño y Fabricación de una máquina limpiadora de trigo*. Pontificia Universidad Católica del Perú
- Wang, W. (2011) *Reverse engineering: Technology of reinvention*. Boca Raton, FL: CRC Press.

ANEXOS

Anexo 1. Vista Exterior y componentes del dosificador original, imagen y rótulo de plano





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:
 ACABADO:
 REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS
 NO CAMBIE LA ESCALA
 REVISIÓN

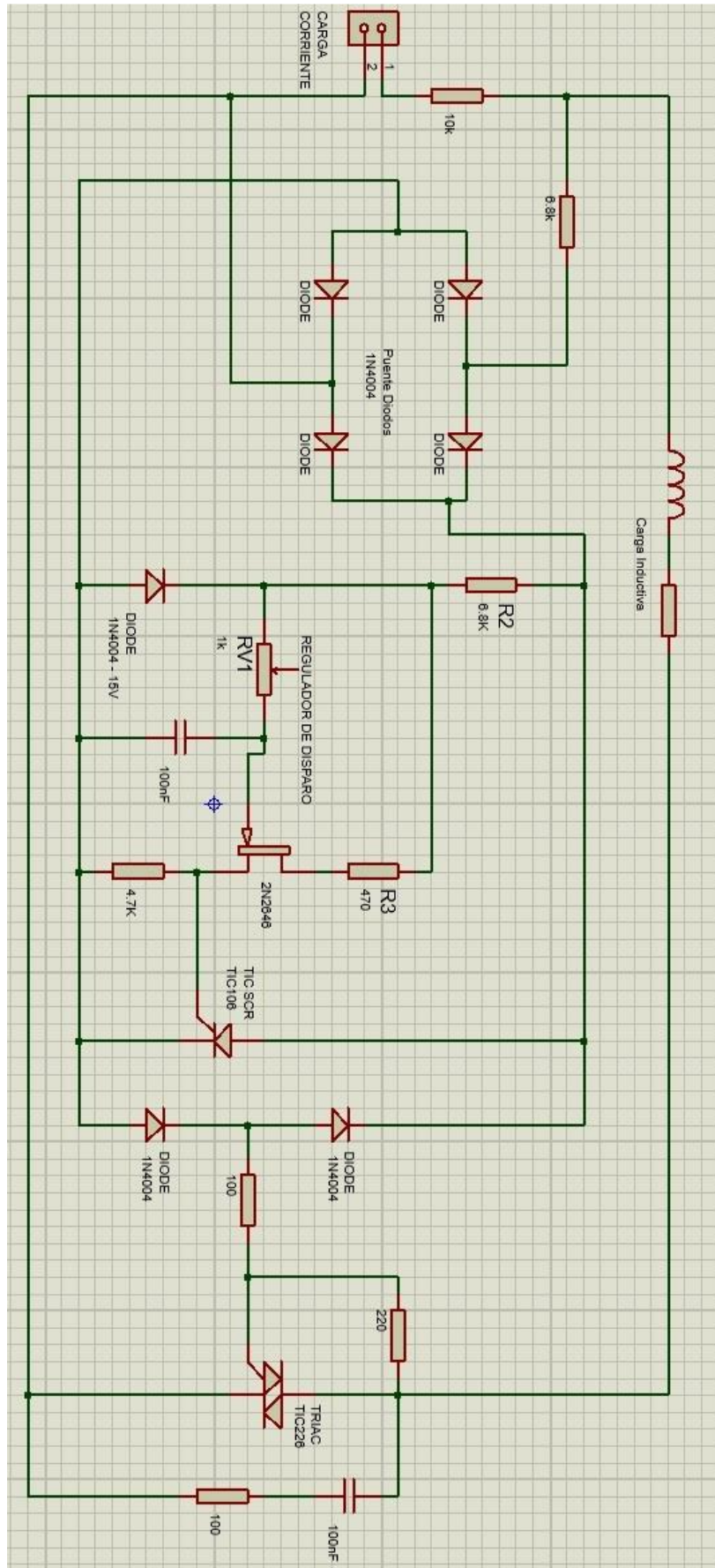
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

título:

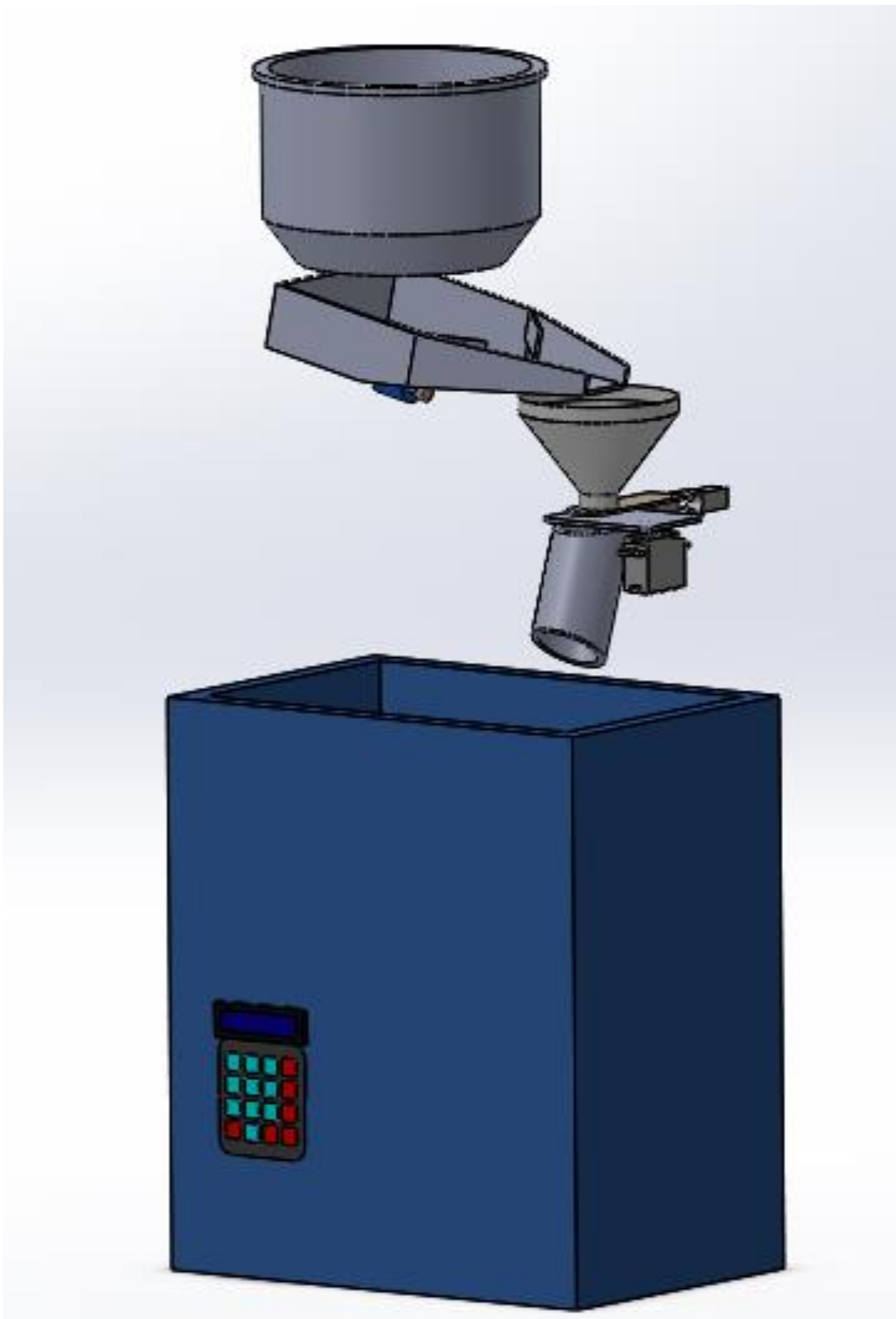
MATERIAL:
 N.º DE DIBUJO
Ensamblaje BM Original
 ESCALA: 1:10
 HOJA 1 DE 1

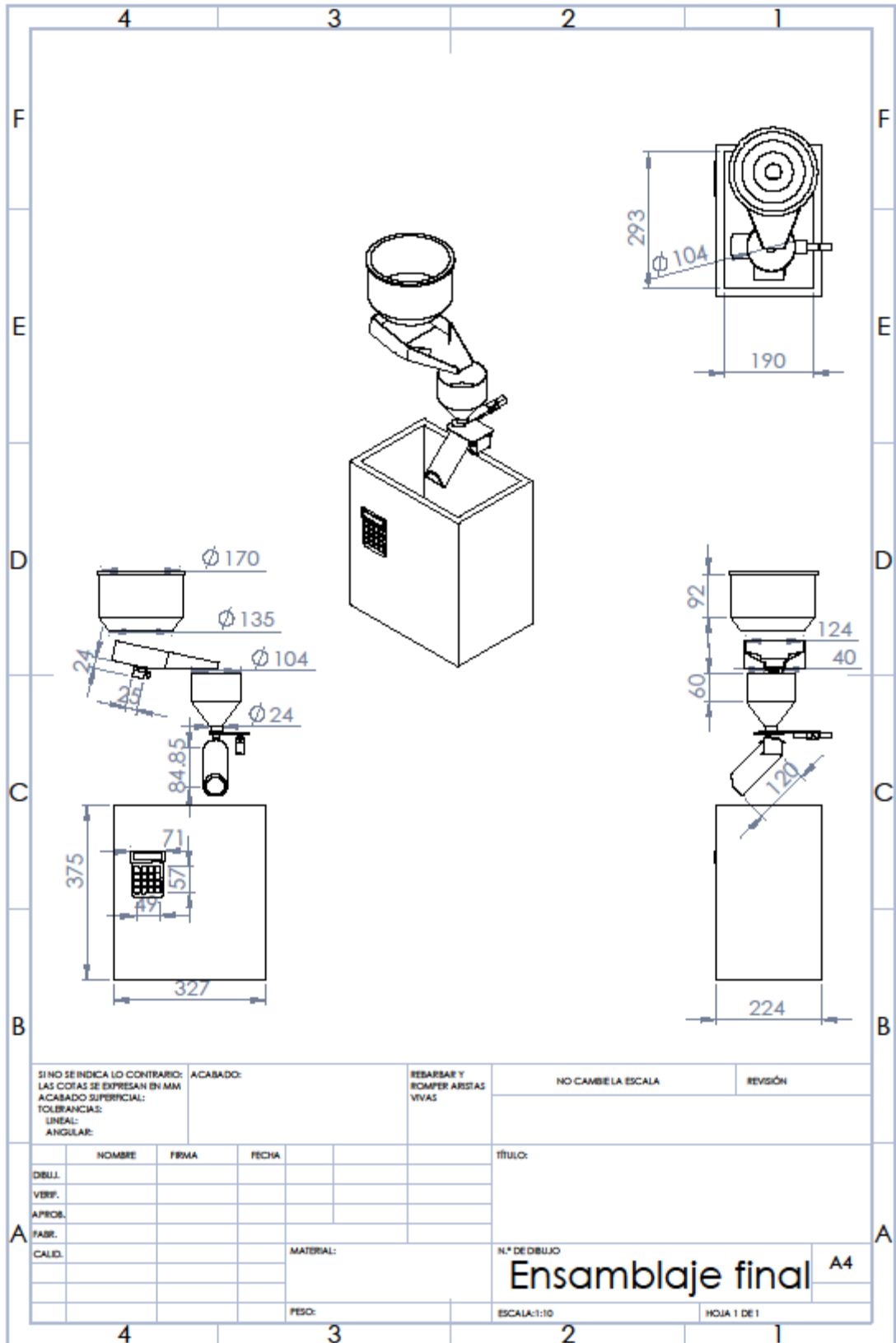


Anexo 2. Diagrama de control de electroimán, diseño original



Anexo 3. Vista completa de componentes del rediseño, figura y rótulo de plano





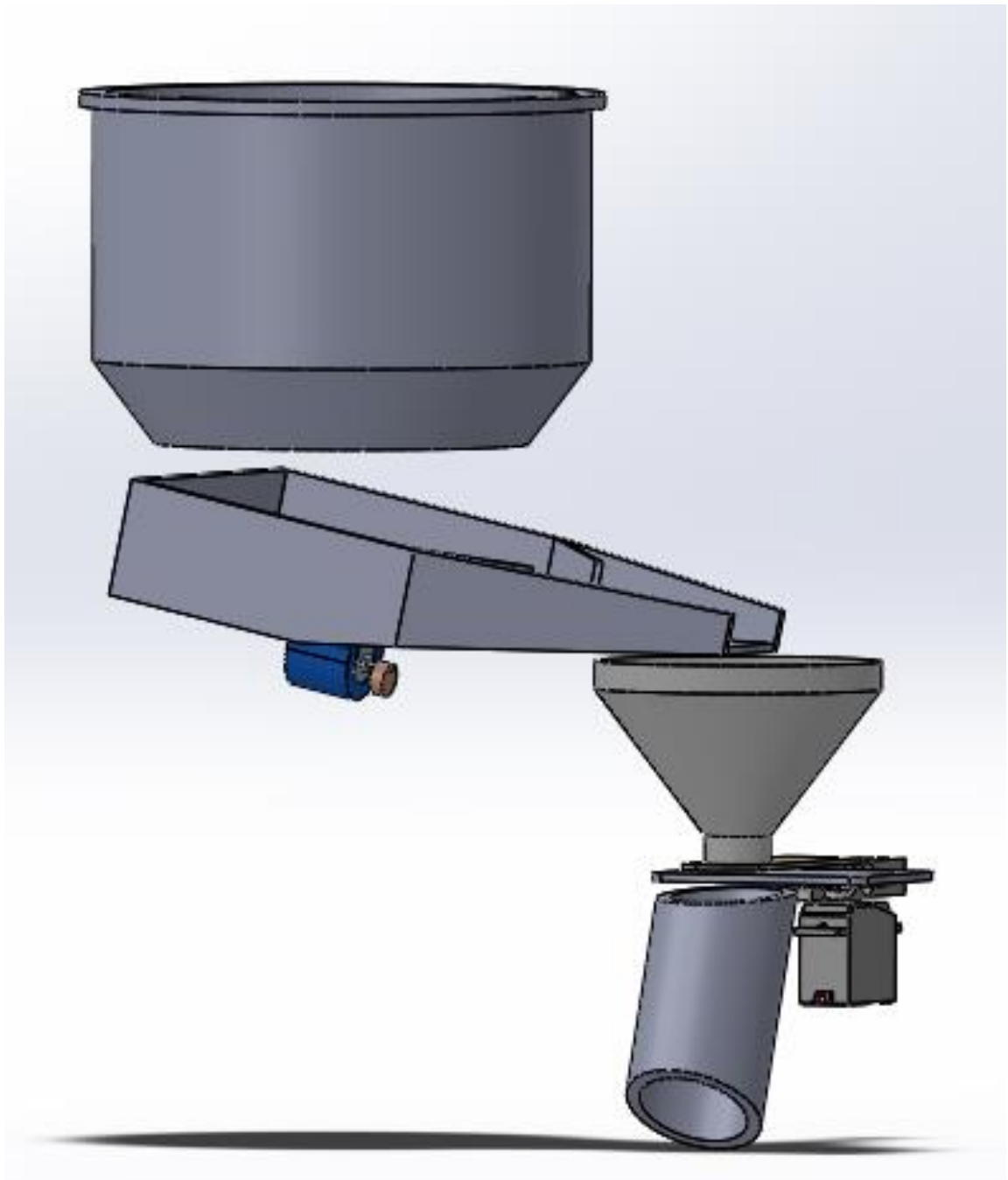
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO: REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
 NO CAMBIE LA ESCALA
 REVISIÓN

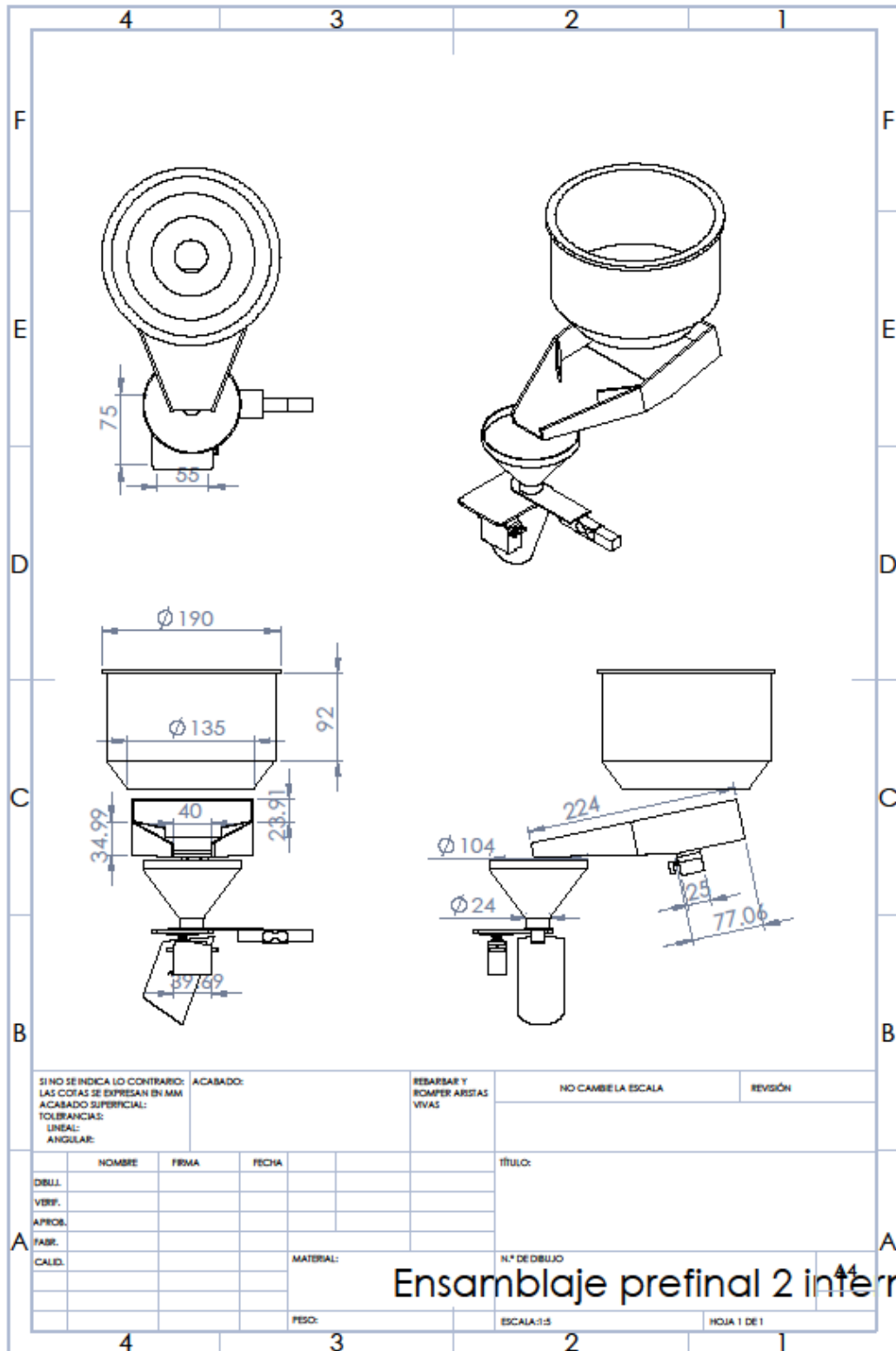
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			título:
DIBUJ.						
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.						

MATERIAL: N.º DE DIBUJO
Ensamblaje final A4
 ESCALA: 1:10 HOJA 1 DE 1



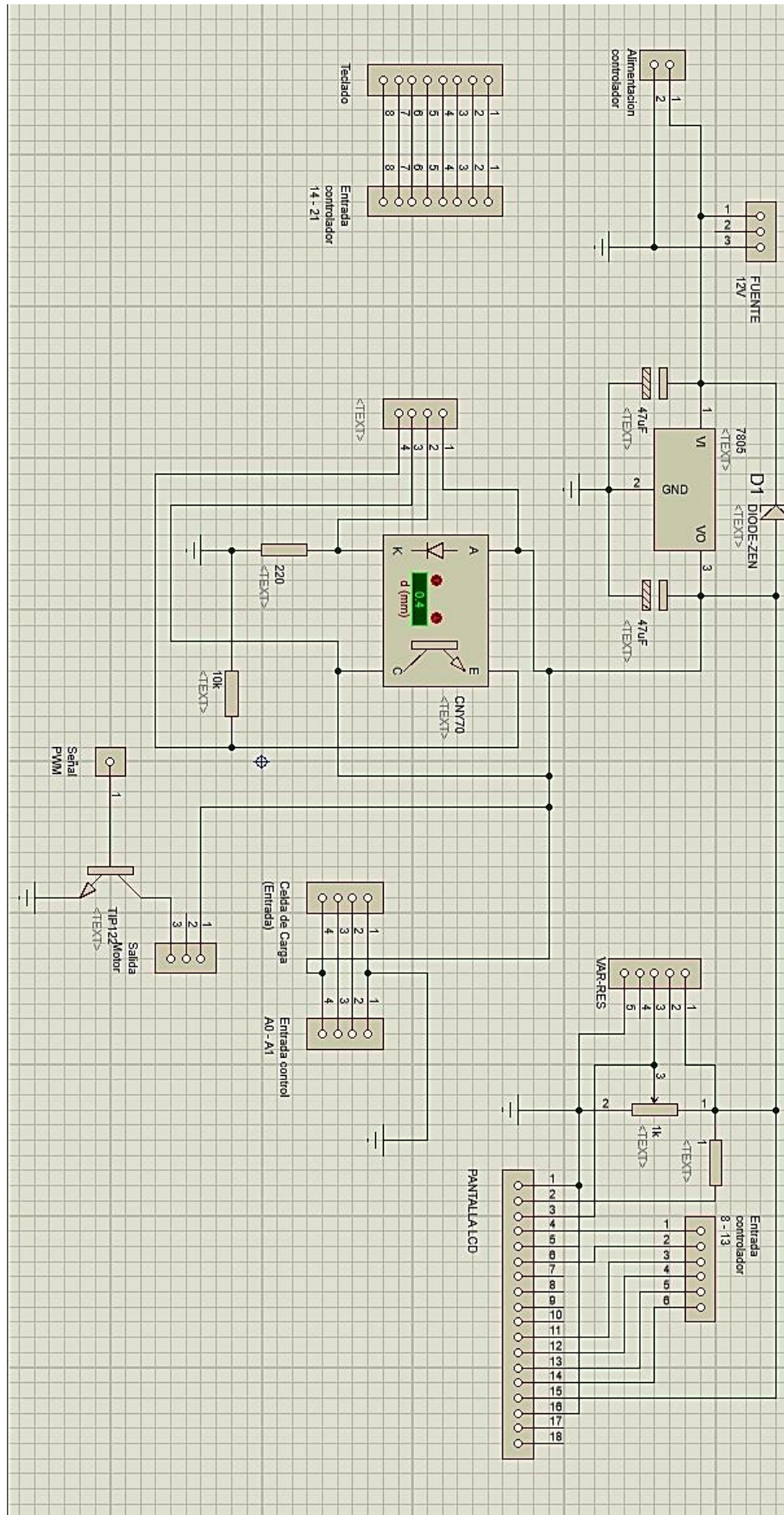
Anexo 4. Vista Interna de componentes del dosificador rediseñado, figura y rótulo de plano



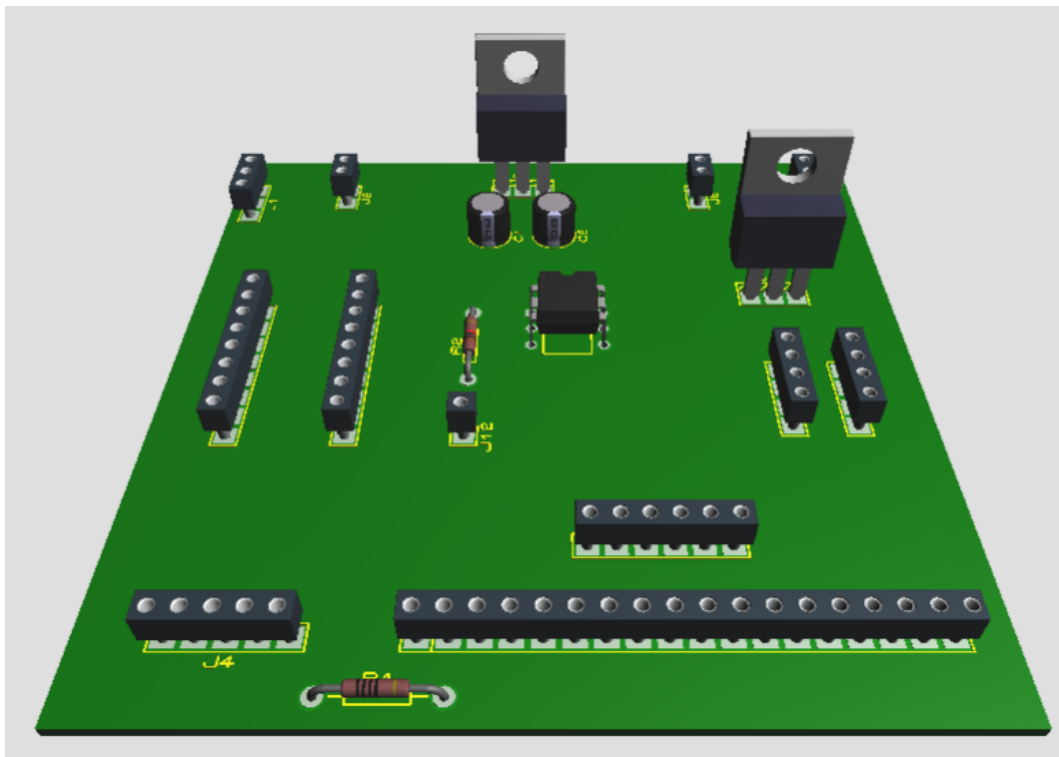
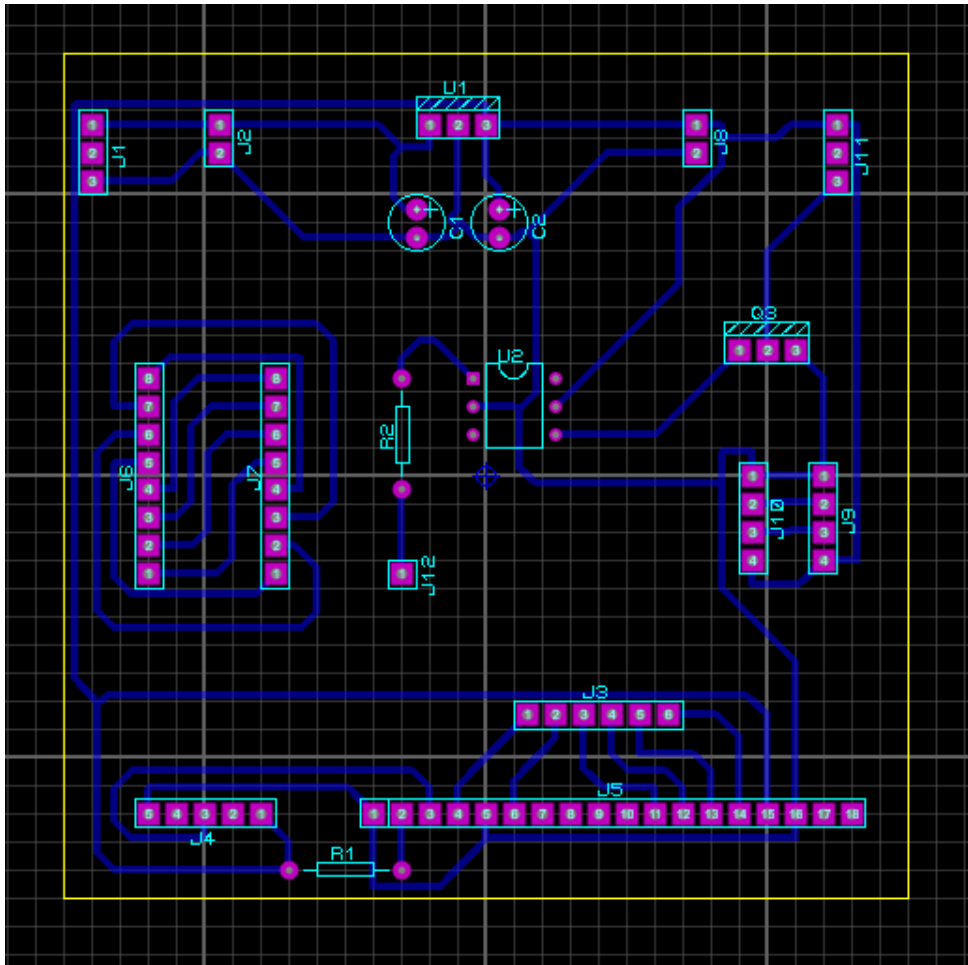


Ensamblaje prefinal 2 interno

Anexo 5. Diseño electrónico del dosificador



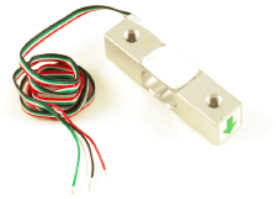
Anexo 6. Vistas de placa impresa en ARES



Anexo 7. Hoja de datos de la celda de carga

Datasheet

3133 - Micro Load Cell (0-5kg) - CZL635



Contents

- 1 What do you have to know?
 - 1 How does it work - For curious people
 - 1 Installation
 - 2 Calibration
 - 2 Product Specifications
 - 3 Glossary
-

What do you have to know?

A load cell is a force sensing module - a carefully designed metal structure, with small elements called strain gauges mounted in precise locations on the structure. Load cells are designed to measure a specific force, and ignore other forces being applied. The electrical signal output by the load cell is very small and requires specialized amplification. Fortunately, the 1046 PhidgetBridge will perform all the amplification and measurement of the electrical output.

Load cells are designed to measure force in one direction. They will often measure force in other directions, but the sensor sensitivity will be different, since parts of the load cell operating under compression are now in tension, and vice versa.

How does it work - For curious people

Strain-gauge load cells convert the load acting on them into electrical signals. The measuring is done with very small resistor patterns called strain gauges - effectively small, flexible circuit boards. The gauges are bonded onto a beam or structural member that deforms when weight is applied, in turn deforming the strain-gauge. As the strain gauge is deformed, its electrical resistance changes in proportion to the load.

The changes to the circuit caused by force is much smaller than the changes caused by variation in temperature. Higher quality load cells cancel out the effects of temperature using two techniques. By matching the expansion rate of the strain gauge to the expansion rate of the metal it's mounted on, undue strain on the gauges can be avoided as the load cell warms up and cools down. The most important method of temperature compensation involves using multiple strain gauges, which all respond to the change in temperature with the same change in resistance. Some load cell designs use gauges which are never subjected to any force, but only serve to counterbalance the temperature effects on the gauges that measuring force. Most designs use 4 strain gauges, some in compression, some under tension, which maximizes the sensitivity of the load cell, and automatically cancels the effect of temperature.

Installation

This Single Point Load Cell is used in small jewelry scales and kitchen scales. It's mounted by bolting down the end of the load cell where the wires are attached, and applying force on the other end **in the direction of the arrow**. Where the force is applied is not critical, as this load cell measures a shearing effect on the beam, not the bending of the beam. If you mount a small platform on the load cell, as would be done in a small scale, this load cell provides accurate readings regardless of the position of the load on the platform.



Calibration

A simple formula is usually used to convert the measured mv/V output from the load cell to the measured force:

$$\text{Measured Force} = A * \text{Measured mV/V} + B \text{ (offset)}$$

It's important to decide what unit your measured force is - grams, kilograms, pounds, etc.

This load cell has a rated output of $1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V}$ which corresponds to the sensor's capacity of 5kg.

To find A we use

$$\text{Capacity} = A * \text{Rated Output}$$

$$A = \text{Capacity} / \text{Rated Output}$$

$$A = 5 / 1.0$$

$$A = 5$$

Since the Offset is quite variable between individual load cells, it's necessary to calculate the offset for each sensor. Measure the output of the load cell with no force on it and note the mv/V output measured by the PhidgetBridge.

$$\text{Offset} = 0 - 5 * \text{Measured Output}$$

Product Specifications	
Mechanical	
Housing Material	Aluminum Alloy
Load Cell Type	Strain Gauge
Capacity	5kg
Dimensions	55.25x12.7x12.7mm
Mounting Holes	M5 (Screw Size)
Cable Length	550mm
Cable Size	30 AWG (0.2mm)
Cable - no. of leads	4
Electrical	
Precision	0.05%
Rated Output	$1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V}$
Non-Linearity	0.05% FS
Hysteresis	0.05% FS
Non-Repeatability	0.05% FS
Creep (per 30 minutes)	0.1% FS
Temperature Effect on Zero (per 10°C)	0.05% FS
Temperature Effect on Span (per 10°C)	0.05% FS
Zero Balance	$\pm 1.5\% \text{ FS}$
Input Impedance	$1130 \pm 10 \text{ Ohm}$
Output Impedance	$1000 \pm 10 \text{ Ohm}$
Insulation Resistance (Under 50VDC)	$\geq 5000 \text{ MOhm}$
Excitation Voltage	5 VDC
Compensated Temperature Range	-10 to $\sim +40^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range	-20 to $\sim +55^\circ\text{C}$
Safe Overload	120% Capacity
Ultimate Overload	150% Capacity

Anexo 8. Hoja de datos del controlador ATmega2560

Features

- High Performance, Low Power AVR[®] 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 135 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-Chip 2-cycle Multiplier
- Non-volatile Program and Data Memories
 - 64K/128K/256K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
In-System Programming by On-chip Boot Program
True Read-While-Write Operation
 - 4K Bytes EEPROM
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 8K Bytes Internal SRAM
 - Up to 64K Bytes Optional External Memory Space
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - Four 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare- and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four 8-bit PWM Channels
 - Six/Twelve PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits
(ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Output Compare Modulator
 - 8/16-channel, 10-bit ADC
 - Two/Four Programmable Serial USART (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte Oriented 2-wire Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 51/86 Programmable I/O Lines (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - 64-lead (ATmega1281/2561)
 - 100-lead (ATmega640/1280/2560)
 - 100-lead TQFP (64-lead TQFP Option)
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C Industrial
- Speed Grade:
 - ATmega1281/2561V/ATmega640/1280/2560V:
0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 8 MHz @ 2.7 - 5.5V
 - ATmega640/1280/1281/2560/2561:
0 - 8 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 16 MHz @ 4.5 - 5.5V



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 256K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega1281/25
61/V
ATmega640/128
0/2560/V

Advance
Information

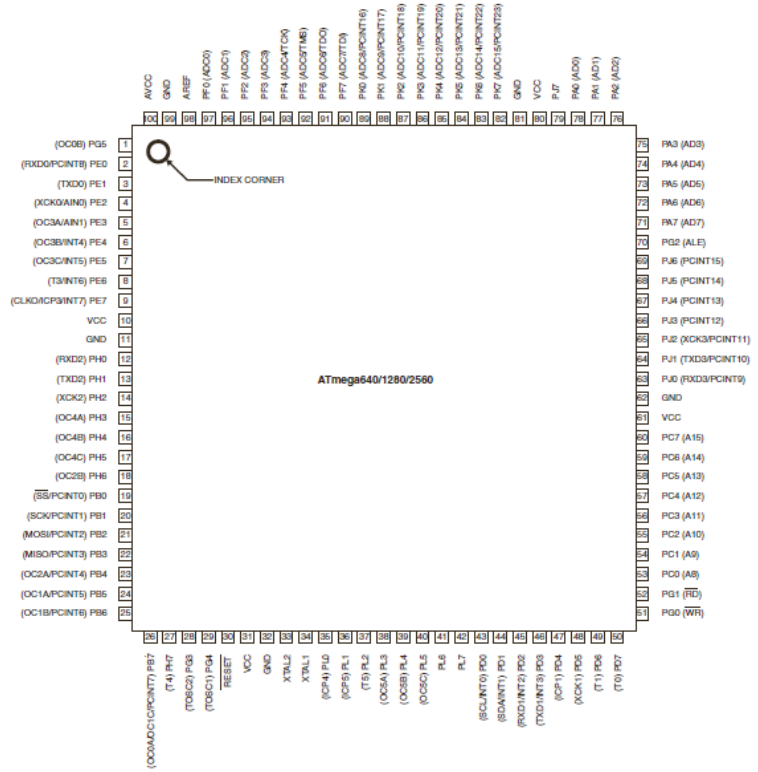
2549A-AVR-03/05





Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega640/1280/2560



Anexo 9. Hoja de datos del servomotor FUTABA

S3003 FUTABA SERVO



...S3003 FUTABA SERVO...

Detailed Specifications

Control System:	+Pulse Width Control 1520usec Neutral	Current Drain (4.8V):	7.2mA/idle
Required Pulse:	3-5 Volt Peak to Peak Square Wave	Current Drain (6.0V):	8mA/idle
Operating Voltage:	4.8-6.0 Volts	Direction:	Counter Clockwise/Pulse Traveling 1520- 1900usec
Operating Temperature Range:	-20 to +60 Degree C	Motor Type:	3 Pole Ferrite
Operating Speed (4.8V):	0.23sec/60 degrees at no load	Potentiometer Drive:	Indirect Drive
Operating Speed (6.0V):	0.19sec/60 degrees at no load	Bearing Type:	Plastic Bearing
Stall Torque (4.8V):	44 oz/in. (3.2kg.cm)	Gear Type:	All Nylon Gears
Stall Torque (6.0V):	56.8 oz/in. (4.1kg.cm)	Connector Wire Length:	12"
Operating Angle:	45 Deg. one side pulse traveling 400usec	Dimensions:	1.6" x 0.8" x 1.4" (41 x 20 x 36mm)
360 Modifiable:	Yes	Weight:	1.3oz. (37.2g)

Anexo 10. Hoja de datos de circuito acondicionamiento 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 $\pm 20\text{mV}$ or $\pm 40\text{mV}$ 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 $< 1.5\text{mA}$, power down $< 1\mu\text{A}$
- Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V
- Operation temperature range: $-40 \sim +85^\circ\text{C}$
- 16 pin SOP-16 package

APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Industrial Process Control

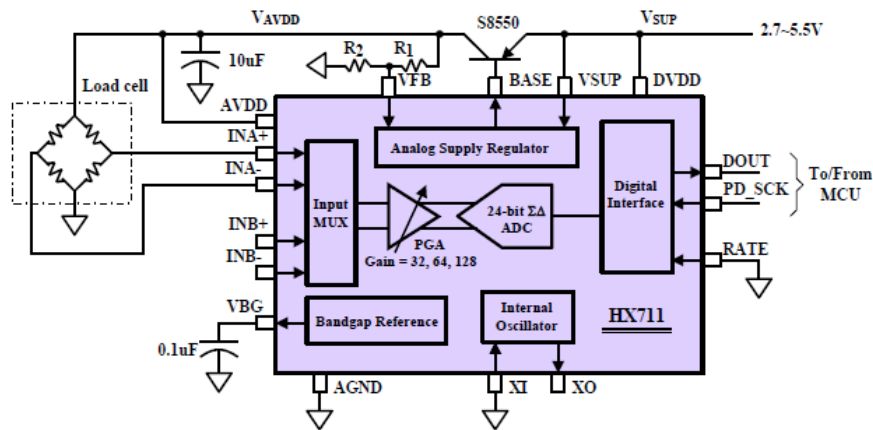


Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram

Pin Description

Regulator Power	VSUP	□	1	•	16	□	DVDD	Digital Power
Regulator Control Output	BASE	□	2		15	□	RATE	Output Data Rate Control Input
Analog Power	AVDD	□	3		14	□	XI	Crystal I/O and External Clock Input
Regulator Control Input	VFB	□	4		13	□	XO	Crystal I/O
Analog Ground	AGND	□	5		12	□	DOUT	Serial Data Output
Reference Bypass	VBG	□	6		11	□	PD_SCK	Power Down and Serial Clock Input
Ch. A Negative Input	INNA	□	7		10	□	INPB	Ch. B Positive Input
Ch. A Positive Input	INPA	□	8		9	□	INNB	Ch. B Negative Input

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)	$\pm 0.5(AVDD/GAIN)$			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		7FFFFFF	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/°C
	Gain (Gain = 128)	± 5			ppm/°C
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

Reference PCB Board (Single Layer)

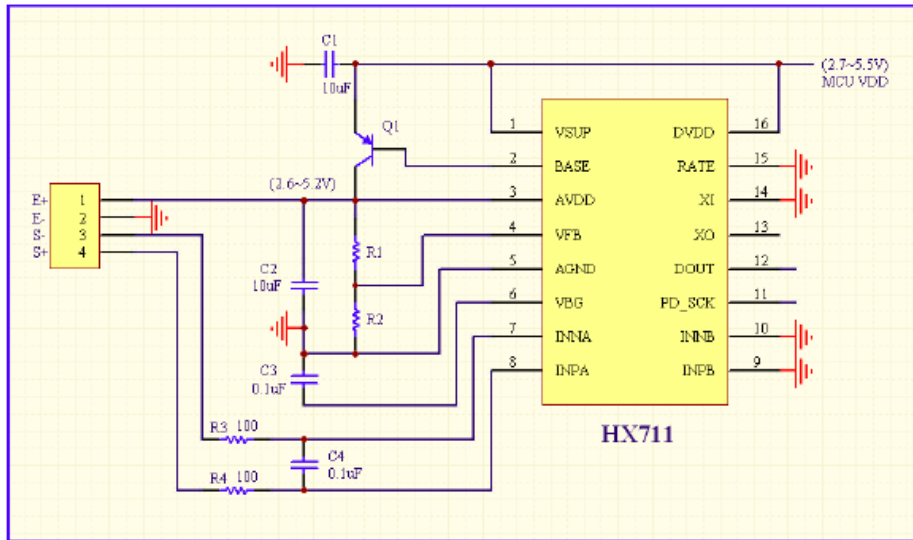


Fig.4 Reference PCB board schematic

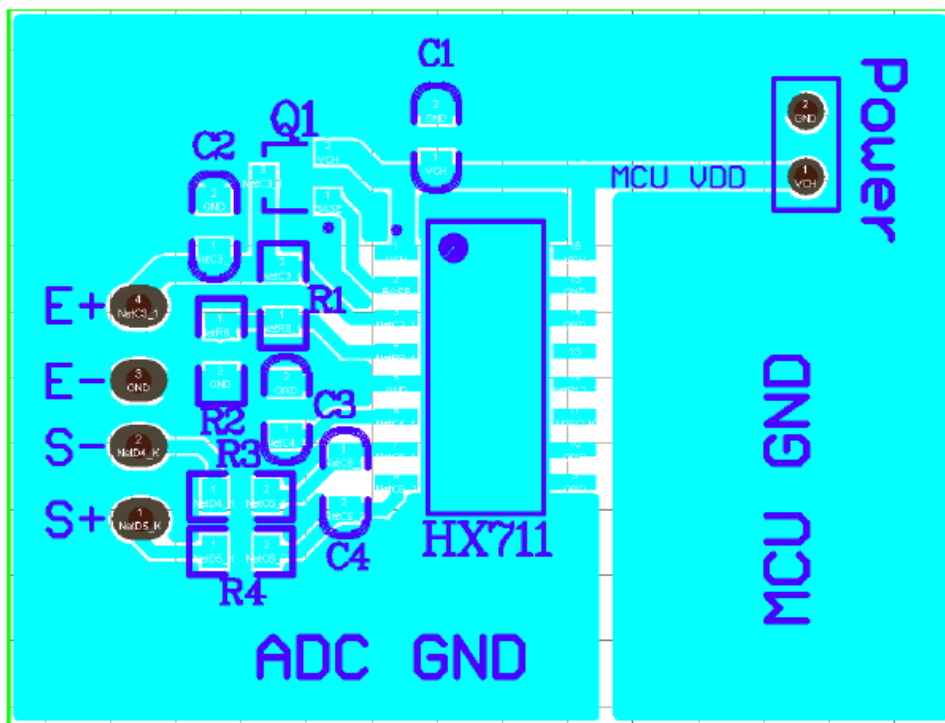


Fig.5 Reference PCB board layout

Anexo 11. Hoja de datos de pantalla LCD 16 x 2 ADM1602K

1. Features

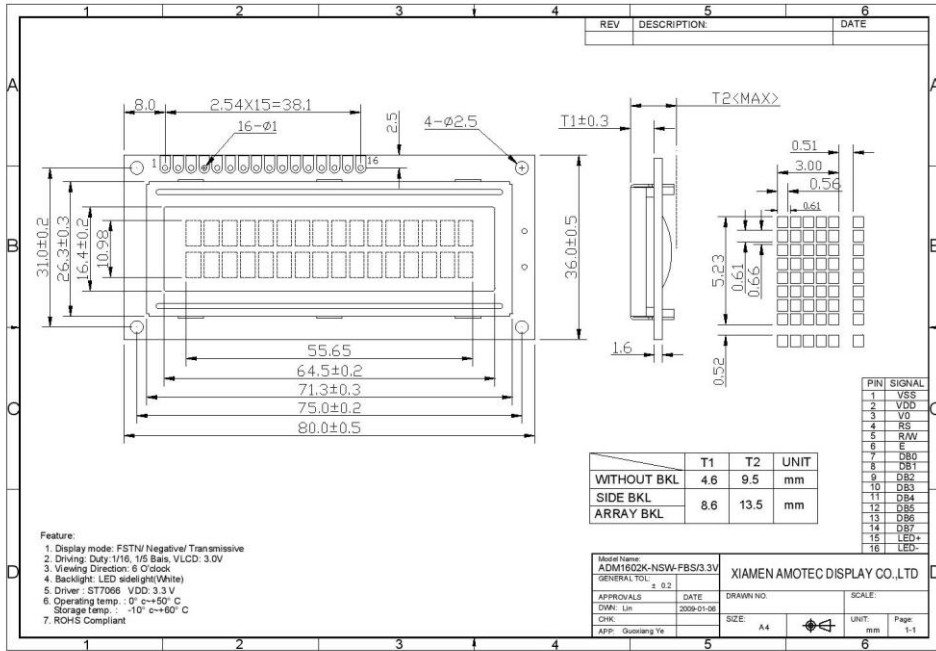
1. 5x8 dots with cursor
2. 16characters *2lines display
3. 4-bit or 8-bit MPU interfaces
4. Built-in controller (ST7066 or equivalent)
5. Display Mode & Backlight Variations
6. ROHS Compliant

LCD type	<input type="checkbox"/> TN			
	<input type="checkbox"/> FSTN	<input checked="" type="checkbox"/> FSTN Negative		
	<input type="checkbox"/> STN Yellow Green	<input type="checkbox"/> STN Gray	<input type="checkbox"/> STN Blue Negative	
View direction	<input checked="" type="checkbox"/> 6 O'clock		<input type="checkbox"/> 12 O'clock	
Rear Polarizer	<input type="checkbox"/> Reflective		<input type="checkbox"/> Transflective	<input checked="" type="checkbox"/> Transmissive
Backlight Type	<input checked="" type="checkbox"/> LED	<input type="checkbox"/> EL	<input type="checkbox"/> Internal Power	<input checked="" type="checkbox"/> 3.3V Input
		<input type="checkbox"/> CCFL	<input checked="" type="checkbox"/> External Power	<input type="checkbox"/> 5.0V Input
Backlight Color	<input checked="" type="checkbox"/> White	<input type="checkbox"/> Blue	<input type="checkbox"/> Amber	<input type="checkbox"/> Yellow-Green
Temperature Range	<input checked="" type="checkbox"/> Normal		<input type="checkbox"/> Wide	<input type="checkbox"/> Super Wide
DC to DC circuit	<input type="checkbox"/> Build-in		<input checked="" type="checkbox"/> Not Build-in	
Touch screen	<input type="checkbox"/> With		<input checked="" type="checkbox"/> Without	
Font type	<input checked="" type="checkbox"/> English-Japanese	<input type="checkbox"/> English-Europen	<input type="checkbox"/> English-Russian	<input type="checkbox"/> Other

2. MECHANICAL SPECIFICATIONS

Module size	80.0mm(L)*36.0mm(W)* Max13.5(H)mm
Viewing area	64.5mm(L)*16.4mm(W)
Character size	3.00mm(L)*5.23mm(W)
Character pitch	3.51mm(L)*5.75mm(W)
Weight	Approx.

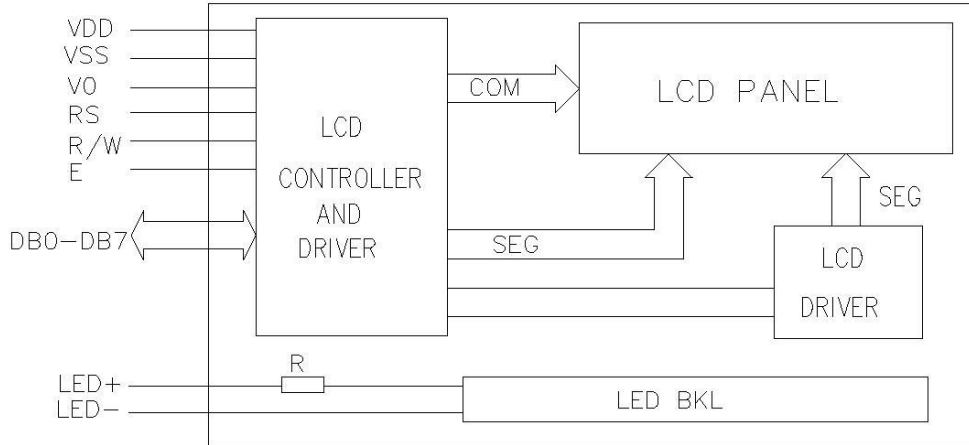
3. Outline dimension



4. Absolute maximum ratings

Item	Symbol	Standard			Unit
Power voltage	$V_{DD}-V_{SS}$	0	-	7.0	V
Input voltage	V_{IN}	VSS	-	VDD	
Operating temperature range	V_{OP}	0	-	+50	°C
Storage temperature range	V_{ST}	-10	-	+60	

5. Block diagram



6. Interface pin description

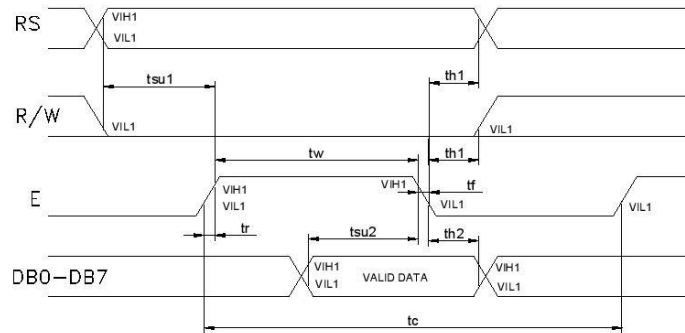
Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	V _{SS}	Power supply	Signal ground for LCM
2	V _{DD}		Power supply for logic for LCM
3	V ₀		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0~DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4~DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	LED+	LED BKL power supply	Power supply for BKL
16	LED-		Power supply for BKL

10. Timing Characteristics

Write cycle (Ta=25°C, VDD=3.3V)

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t_w		300	-	-	
Enable rise/fall time	t_r, t_f		-	-	25	
RS; R/W setup time	t_{su1}	RS; R/W RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t_{h1}		10	-	-	
Read data output delay	t_{su2}	DB0~DB7	60	-	-	
Read data hold time	t_{h2}		10	-	-	

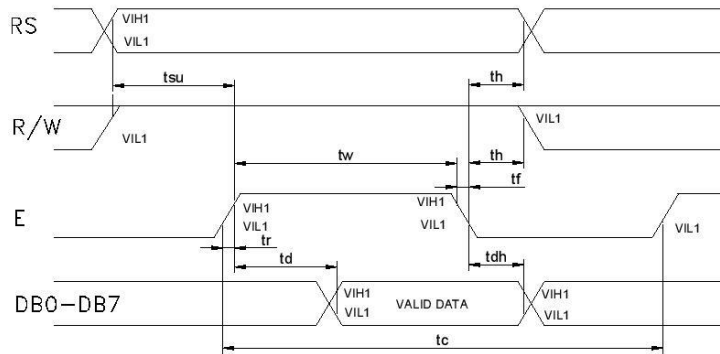
Write mode timing diagram



Read cycle (Ta=25°C, VDD=3.3V)

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t_w		300	-	-	
Enable rise/fall time	t_r, t_f		-	-	25	
RS; R/W setup time	t_{su}	RS; R/W RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t_h		10	-	-	
Read data output delay	t_d	DB0~DB7	60	-	90	
Read data hold time	t_{dh}		20	-	-	

Read mode timing diagram



11.9 Instruction Table

Instruction	Instruction code										Description	Execution time (fosc=270 KHZ)	
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0			
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "20H" to DDRAM and set DDRAM address to "00H" from AC	1.53ms	
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Set DDRAM address to "00H" From AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53ms	
Entry mode Set	0	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor moving direction And blinking of entire display	39us
Display ON/OFF control	0	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display (D), cursor (C), and Blinking of cursor (B) on/off Control bit.	
Cursor or Display shift	0	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	Set cursor moving and display Shift control bit, and the Direction, without changing of DDRAM data.	39us
Function set	0	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	Set interface data length (DL: 8-Bit/4-bit), numbers of display Line (N: =2-line/1-line) and, Display font type (F: 5x11/5x8)	39us
Set CGRAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0		Set CGRAM address in address Counter.	39us
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0		Set DDRAM address in address Counter.	39us
Read busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0		Whether during internal Operation or not can be known By reading BF. The contents of Address counter can also be read.	0us
Write data to Address	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us
Read data From RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us

NOTE:

When an MPU program with checking the busy flag (DB7) is made, it must be necessary 1/2fosc is necessary for executing the next instruction by the falling edge of the "E" signal after the busy flag (DB7) goes to "Low".

11.3 Contents

1) Clear display

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Clear all the display data by writing "20H" (space code) to all DDRAM address, and set DDRAM address to "00H" into AC (address counter).

Return cursor to the original status, namely, bring the cursor to the left edge on the first line of the display.

Make the entry mode increment (I/D="High").

2) Return home

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-

Return home is cursor return home instruction.

12. Standard character pattern

Upper 4bit Lower 4bit	LLLL	LLLH	LLHL	LLHH	LHLL	LHLH	LHHL	LHHH	HLLL	HLLH	HLHL	HLHH	HHLL	HHLH	HHHL	HHHH
LLLL	CG RAM (1)															
LLLH	(2)															
LLHL	(3)															
LLHH	(4)															
LHLL	(5)															
LHLH	(6)															
LHHL	(7)															
LHHH	(8)															
HLLL	(1)															
HLLH	(2)															
HLHL	(3)															
HLHH	(4)															
HHLL	(5)															
HHLH	(6)															
HHHL	(7)															
HHHH	(8)															

Anexo 12. Programa del dosificador

```
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Servo.h>
#include <HX711.h>

#define DOUT A1
#define CLK A0

HX711 balanza(DOUT,CLK);

const byte fil = 4;
const byte col = 4;
byte pins_fil[] = {14,15,16,17}; // Definir pines filas
byte pins_col[] = {18,19,20,21}; // Definir pines columnas

char teclas[fil][col]={
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}
};

Keypad teclado = Keypad(makeKeymap(teclas),pins_fil,pins_col,fil,col);
LiquidCrystal lcd(8,9,10,11,12,13); // Definir pines de LCD
Servo Serv;

char tecla; //variable teclado
int MenuAdmin; //variable Menu
int peso_set; //peso seteado del programa
int peso_real; //peso real
int pwm = 3; // salida pwm para el motor
int cant; // variable cantidad
int cont; //variable conteo
int i; //variable usada como ingreso de informacion
int num; //valor numérico de las teclas
int vel; //velocidad en control manual
double temp; //varibale tiempo
int infra = 4; // pin de lectura del
int valinfra;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pwm,OUTPUT);
  pinMode(infra, INPUT);
  Serv.write(100);
  balanza.set_scale(198.5);
  balanza.tare(20);
  cant = 1;
  cont = 0;
  i = 0;
  vel = 255;
  peso_set = 0;
  peso_real = 0;
  Serv.attach(7);
  MenuAdmin = 0;
  lcd.begin(16,2);
  lcd.setCursor(0,0);
}
```

```

    lcd.write("INICIANDO");
    delay(500);
    lcd.clear();
}

void loop() {
    tecla = teclado.getKey();
    switch(MenuAdmin){
        case 0:
            lcd.write(" A: Auto");
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.write(" B: Manual");
            lcd.setCursor(0,0);
            if(tecla != NO_KEY){
                if(tecla == 'A'){
                    lcd.clear();
                    lcd.write("AUTOMATICO");
                    delay(500);
                    lcd.clear();
                    MenuAdmin = 1;
                }
                else if(tecla != 'D'){
                    lcd.clear();
                    lcd.write("MANUAL");
                    delay(500);
                    lcd.clear();
                    MenuAdmin = 2;
                }
            }
            break;
        case 1:
            lcd.write("1.Cantidad: ");
            lcd.setCursor(13,0);
            lcd.print(cant);
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.write("2.Peso: ");
            lcd.setCursor(7,1);
            lcd.print(peso_set);
            lcd.setCursor(13,1);
            lcd.write("gr.");
            if(tecla != NO_KEY){
                if(tecla == '1'){
                    lcd.clear();
                    MenuAdmin = 4;
                }
                else if (tecla == '2'){
                    lcd.clear();
                    MenuAdmin = 5;
                }
                else if (tecla == 'A'){
                    lcd.clear();
                    MenuAdmin = 3;
                }
                else if (tecla == 'D'){
                    lcd.clear();
                    MenuAdmin = 0;
                }
            }
            delay(100);
    }
}

```

```

break;
case 2:
lcd.write(" Peso: ");
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print(peso_real);
lcd.setCursor(13,0);
lcd.write("gr.");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.write("A.On B.Off C.Op");
if (tecla != NO_KEY){
  if (tecla == '1'){
    vel = 200;
  }
  if (tecla == '2'){
    vel = 255;
  }
  if (tecla == 'A'){
    analogWrite(pwm,vel);
  }
  else if (tecla == 'B'){
    analogWrite(pwm,0);
    lcd.clear();
    peso_real = balanza.get_units(20),3;

    lcd.write(peso_real);
  }
  else if (tecla == 'C'){
    Serv.write(140);
    delay(1000);
    Serv.write(100);
  }
  else if (tecla == 'D'){
    lcd.clear();
    MenuAdmin = 0;
  }
}
break;
case 3:
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.write("1.Conteo: ");
lcd.setCursor(13,0);
lcd.print(cont);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.write("Dosificando...");
peso_real = balanza.get_units(20),3;
analogWrite (pwm, 255);
if (peso_real > peso_set * 0.75){
  analogWrite (pwm, 200);
  if (peso_real > peso_set){
    analogWrite(pwm, 0);
    MenuAdmin = 6;
  }
}
if (peso_real > peso_set){
  analogWrite(pwm, 0);
  MenuAdmin = 6;
}
}

```

```

break;
case 4:
lcd.clear();
lcd.print(i);
delay(200);
if (tecla != NO_KEY){
  if (tecla == 'A'){
    cant = i;
    lcd.clear();
    i = 0;
    MenuAdmin = 1;
  }
  else {
    num = tecla - 48;
    if (num > 9){
      num = 0;
      i = i;
    }
    else if (num < 0){
      num = 0;
      i = i;
    }
    else{
      i = i * 10 + num;
      if (i > 1000){
        i = 0;
      }
    }
  }
}
break;
case 5:
lcd.clear();
lcd.print(i);
delay(200);
if (tecla != NO_KEY){
  if (tecla == 'A'){
    peso_set = i;
    lcd.clear();
    i = 0;
    MenuAdmin = 1;
  }
  else {
    num = tecla - 48;
    if (num > 9){
      num = 0;
      i = i;
    }
    else if (num < 0){
      num = 0;
      i = i;
    }
    else{
      i = i * 10 + num;
      if (i > 1000){
        i = 0;
      }
    }
  }
}
}

```



```
}
break;
case 6:
delay (1500);
  Serv.write(140);
  delay(1000);
  Serv.write(100);
cont = cont + 1;
if (cont < cant){
  delay(1500);
  MenuAdmin = 3;
  ;
}
else if (cont = cant){
  MenuAdmin = 1;
}
break;
}
}
```