



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
DE INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS
(UPIIZ)

INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO TERMINAL

“Diseño y construcción de una máquina peladora de ajos automatizada”

Diseño de una máquina o manipulador robótico. Entregable: Prototipo

Presentan:

Tomás Belmontes Cisneros

Ricardo Delgado Duarte

Asesores:

M. en C. Flabio Dario Mirelez Delgado

M. en C. Carlos Daniel Rico Mandujano

Ing. Addried Samir Moreno Castro



Zacatecas, Zac., a 01 de diciembre de 2022



Folio
UPIIZ/ESA/468/2022

2022, Año de Ricardo Flores Magón
100 Aniversario de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura
50 Aniversario de la UPIICSA
50 Aniversario del CECyT 10 "Carlos Vallejo Márquez"
25 Aniversario del CIECAS, CIITEC y del CIIDIR, Unidad Sinaloa

Asunto
DESIGNACIÓN DE ASESORES

Zacatecas, Zac., a 20 de octubre de 2022

C. TOMÁS BELMONTES CISNEROS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOLETA: 201767012198
GENERACIÓN: 2016-2022
PRESENTE

Mediante el presente se hace de su conocimiento que este Departamento acepta que el M. en C. Flabio Darío Mirelez Delgado, el M. en C. Carlos Daniel Rico Mandujano, y el Ing. Addried Samir Moreno Castro sean sus **Asesores**, en el tema que propone usted a desarrollar como prueba escrita de la opción de titulación **CURRICULAR**, con el título y contenido siguiente:

"Diseño y construcción de una máquina peladora de ajos automatizada".

Se concede un plazo de máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el jurado asignado.



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
DE INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN
SEGUIMIENTO ACADÉMICO

L.C. María Monserrat Saldaña Noriega
Jefa del Departamento de Evaluación
y Seguimiento Académico

ATENTAMENTE
"La Técnica al Servicio de la Patria"



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
DE INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS

ENTREGA: Fernando Flores Mejía
Director de la UPIIZ





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"



Unidad Profesional Interdisciplinaria
de Ingeniería Zacatecas

Folio
UPIIZ/ESA/472/2022

2022, Año de Ricardo Flores Magón
100 Aniversario de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura
50 Aniversario de la UPIICSA
50 Aniversario del CECyT 10 "Carlos Vallejo Márquez"
25 Aniversario del CIECAS, CIITEC y del CIIDIR, Unidad Sinaloa

Asunto
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

C. TOMÁS BELMONTES CISNEROS

C. RICARDO DELGADO DUARTE
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOLETA: 201767012198
GENERACIÓN: 2016-2022
PRESENTE

Zacatecas, Zac., a 21 de octubre de 2022

El suscrito tengo el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el trabajo de titulación que presenta con fines de titulación denominada:

"Diseño y construcción de una máquina peladora de ajos automatizada".

Se determinó que el citado **Trabajo de Titulación**, reúne los requisitos para autorizar la impresión y proceder a la presentación del Examen Profesional debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se hicieron.

M. EN C. FLABIO DARÍO MIRELEZ DELGADO

M. EN C. CARLOS DANIEL RICO MANDUJANO

ING. ADDRIED SAMIR MORENO CASTRO



Autorización de uso de obra
Autorización de uso de obra
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Tomás Belmontes Cisneros** y **Ricardo Delgado Duarte**, estudiantes del programa de **Ingeniería Mecatrónica**, con número de boletas **2017670121** y **201767301**, adscritos a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Zacatecas; manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "**Diseño y construcción de una máquina peladora de ajos automatizada**", en adelante "**El Trabajo de Titulación**" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el Artículo 27 Fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al Instituto Politécnico Nacional, en adelante el "**IPN**", autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales "**El Trabajo de Titulación**" por un periodo indefinido contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso al "**IPN**" de su terminación.

En virtud de lo anterior, el "**IPN**" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "**El Trabajo de Titulación**".

Adicionalmente, y en mi calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de "**El Trabajo de Titulación**", manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene a ninguna otra otorgada por el suscrito respecto de "**El Trabajo de Titulación**", por lo que deslindo de toda responsabilidad al "**IPN**" en caso de que el contenido de "**El Trabajo de Titulación**" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Zacatecas, Zac., a 01 de septiembre del 2022

Atentamente

Nombre y firma del o los alumnos



Ricardo Delgado Duarte



Tomás Belmontes Cisneros

RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo de máquina peladora de ajos automatizada para la empresa Procesadora de Alimentos de Zacatecas S.P.R. que se encarga de remover la cáscara de cada uno de los dientes sin causar daño sobre éstos. Los procesos de pelado de ajo que se tienen actualmente en la planta son realizados manualmente, por lo que se diseñó una máquina que cumple con los requerimientos de la empresa en cuanto volumen de materia prima, presupuesto y adaptabilidad a la línea de producción que ya tiene en posesión la empresa. Se fabricó una estructura mecánica que cumple con las necesidades de producción de la empresa para ejecutar el proceso de una manera automática acondicionando un sistema de sensores y actuadores. La peladora cuenta con una interfaz humano-máquina que permite al operario su manipulación, control y monitoreo con una mayor facilidad y seguridad. El beneficio que aporta la máquina a la planta es un proceso automatizado y eficaz para la línea de producción de ajos superando con la demanda de volumen kilogramo/hora del pelado que se realiza manualmente.

PALABRAS CLAVE

Actuadores, automatización, diente de ajo, estructura mecánica, interfaz humano-máquina, peladora, sensores.

ABSTRACT

The project consists of the design and construction of a prototype of automated garlic peeling machine for the company *Procesadora de Alimentos de Zacatecas S.P.R.* which is responsible for removing the garlic cloves peel without causing damage to them. The garlic peeling processes currently in use at the plant are carried out manually, therefore, the aim was to design a machine regarding the requirements that the company needs like volume of raw material, budget and adaptability to the production line that the company already has in possession. A mechanical structure was manufactured that meets the production needs of the company to execute the process in an automatic way, conditioning a system of sensors and actuators. The peeler has a Human Machine interface that allows the operator manipulating, controlling and monitoring it with greater ease and safety. The benefit that the machine bring to the plant is an automated and efficient process for the garlic production line, exceeding the demand for kilogram/hour volume of manual peeling.

KEYWORDS

Actuators, automation, garlic clove, Human Machine Interface, mechanical structure, peeler, sensors.

Índice

Índice de figuras	8
Índice de tablas.....	12
RESUMEN.....	3
PALABRAS CLAVE.....	3
ABSTRACT.....	4
KEYWORDS.....	4
INTRODUCCIÓN.....	13
OBJETIVOS.....	14
JUSTIFICACIÓN	15
I. MARCO TEÓRICO.....	17
1.1 El ajo.....	17
1.1.1 Características de la planta de ajo.....	17
1.2 Clasificación.....	18
1.3 Cultivo y cosecha	18
1.4 Propiedades	19
2 Proceso de pelado de ajo.....	20
2.1 Proceso del ajo pelado centrifugado en seco.....	20
2.2 Proceso del ajo pelado centrifugado mojado.....	21
2.3 Proceso del ajo pelado con aire comprimido.....	21
3 Materiales en la industria de alimentos.....	22
4 Sistema de Control	22
4.1 Definiciones	22
4.2 Control Adaptativo	23
5 Tarjeta de adquisición	24
5.1 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ).....	25
5.2 Controlador Lógico Programable (PLC)	25
5.3 Microprocesador.....	27
6 Acondicionamiento de sensores	28
6.1 Sensores.....	28
6.2 Actuadores.....	29
7. Interfaz humano-máquina	30
8 Fuente conmutada.....	31
9 Diseño ergonómico.....	32
II. ANTECEDENTES	35

III. ESTADO DEL ARTE	36
Máquinas peladoras de ajo comerciales.....	36
Prototipos de máquinas peladoras de ajo.....	39
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	44
V. DESARROLLO DEL TRABAJO	45
Selección del sistema mecánico para el pelado de ajo.....	45
Diseño conceptual	48
Diagramas IDEF0	48
Primer diseño conceptual.....	50
Diseño detallado.....	53
Diseño mecánico	53
Selección de materiales	53
Elementos mecánicos	54
Cálculo de fuerzas para el análisis mecánico de la base.....	62
Selección de las bandas	64
Selección de tren de engranajes.....	65
Simulaciones	67
Diseño de control.....	74
Selección de actuadores	76
Diseño electrónico	81
Selección de controlador.....	82
Selección de Interfaz	84
Diseño de la interfaz.....	85
Fuente de alimentación	86
Etapa de potencia.....	88
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....	89
Adquisición de los materiales.....	89
Manufactura de los elementos mecánicos.....	91
Base.....	91
Cajón, tolva y ducto	93
Cepillos	97
Sistema de transmisión	98
Electrónica y de control	100
Cableado y conexiones de gabinete	100
Acondicionamiento de señal	103

Mantenimiento de la máquina.....	108
VI. ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	109
Ensamble final.....	109
Transmisión.....	110
Sistema de aire comprimido y aspirado.....	111
Interacción con la HMI.....	112
Proceso de pelado.....	113
Pruebas de pelado.....	114
TRABAJO A FUTURO.....	120
CONCLUSIONES.....	121
X. ANEXOS.....	123
Anexo I. Diagramas de Gantt.....	126
Diagrama de Gantt Trabajo Terminal I.....	126
Diagrama de Gantt Trabajo Terminal II.....	127
Anexo II. Carta compromiso de financiamiento.....	128
Anexo III. Controladores Comerciales.....	129
Anexo IV. Hojas de datos y especificaciones de componentes seleccionados.....	131
Anexo V. Cálculo de corriente consumida por componentes de alterna.....	140
Anexo VI. Planos de construcción.....	141
Anexo VII Diseño CAD de los elementos mecánicos.....	149
Anexo VIII Pruebas experimentales.....	150
Anexo IX Código de control e interfaz:.....	153

Índice de figuras

Figura 1. Dientes y bulbo de ajo [4].	17
Figura 2. Corte longitudinal y transversal de un bulbo maduro de ajo [5].	18
Figura 3. Dientes de ajo pelados [8].	20
Figura 4. Diagrama de diseño conceptual de una máquina de pelado de ajos [7].	21
Figura 5. Configuración básica de control adaptativo [13].	24
Figura 6. Diagrama de bloques de un PLC [16].	26
Figura 7. Estructura interna de un microprocesador [17].	27
Figura 8. Clasificación de tipo de bombas [19].	30
Figura 9. Diagrama de bloques general de una fuente conmutada aislada [21].	32
Figura 10. Dimensiones antropométricas básicas para el diseño de un puesto de trabajo [24].	34
Figura 11. Peladora de ajos comercial RY-30 [28].	36
Figura 12. Peladora Comercial FX-128-2 [29].	37
Figura 13. Máquina JH-Bs desarrollada por Shandong Jiahe Machinery [30].	38
Figura 14. Prototipo A y Prototipo B en la planta procesamiento Hortofrutícola [31].	39
Figura 15. Prototipo de máquina peladora en Nariño, San Juan, Colombia [32].	40
Figura 16. Máquina peladora por Gissele Estefanía Mosquera Campaña [33].	41
Figura 17. Máquina peladora de ajos creada en la universidad (UNIMAP) [7].	42
Figura 18. Máquina peladora de ajos realizada en El Cairo, Egipto [34].	43
Figura 19. Diagrama A-0 Máquina peladora de ajos automatizada (Elaboración propia)..	48
Figura 20. Diagrama A0 Máquina peladora de ajos automatizada (Elaboración propia)..	49
Figura 21. Vista de la primera versión del diseño conceptual.	50
Figura 22. Diseño conceptual con modificaciones y mejoras.	51
Figura 23. Diseño conceptual versión 3 con modificaciones y mejoras.	52
Figura 24. Diseñado detallado.	53
Figura 25. Diseño de la tolva. a) Componentes. b) Vista superior.	54
Figura 26. Rampa con sistemas para la remoción de la cáscara.	54
Figura 27. Compresor CARROLL.	56
Figura 28. a)Aspiradora WD-2.5 K b) Separador ciclónico	57
Figura 29. Diagrama sistema de aspirado de cáscaras (Elaboración propia).	57
Figura 30. Posturas de cabeza y cuello para interfaz. a)Aceptable b) No recomendable	58
Figura 31. Zonas del alcance recomendadas	58

Figura 32. Vista lateral , se coloca la interfaz a 40° .	59
Figura 33. a) Gabinete (Izquierda) b) Viste de sección plano lateral (Derecha)	59
Figura 34. Vista explosionada del gabinete.	60
Figura 35. Base estructural soldada vista isométrica.	61
Figura 36. Posición de carga correcta.	62
Figura 37. Base estructural soldada vista frontal y lateral.	62
Figura 38. Selección de guía para correa con valores iniciales (rpm y HP) .	64
Figura 39. Cálculo de la masa que sostendrá la estructura.	67
Figura 40. Selección de acero AISI inoxidable 304.	68
Figura 41. a) Puntos de geometría fija. b) Carga total de 784.8 N en barras superiores.	68
Figura 42. Límite superior axial y de flexión de estructura soldada.	69
Figura 43. Resultado de desplazamiento de estructura soldada.	69
Figura 44. Factor de Seguridad en la estructura	70
Figura 45. Condiciones de frontera de las entradas y salidas de flujo.	71
Figura 46. Resultado de velocidad del flujo.	72
Figura 47. Resultado de presión.	73
Figura 48. Diagrama de Flujo del modelado de control (Elaboración propia).	75
Figura 49. Válvula solenoide normalmente cerrada (N/C).	76
Figura 50. Módulo de relé con optoacoplador.	77
Figura 51. Motor monofásico WEG.	78
Figura 52. Caudalímetro YF-B10.	79
Figura 53. Sensor de movimiento Pir Hc-sr501.	80
Figura 54. Diagrama de funcionamiento general (Elaboración propia).	81
Figura 55. Pantalla táctil LCD Nextion NX4827T043.	84
Figura 56. Fuente de alimentación 5V, 5A conmutada.	87
Figura 57. Circuito control con relés (Elaboración propia)	88
Figura 58. Simulación de esfuerzo a la tensión y factor de seguridad para la base con un PTR de 1 1/4"	91
Figura 59. Base. a) Modelo CAD. b)Proceso de fabricación. c) Resultado final.	92
Figura 60. CAD de ensamble de cajón, tolva y ducto con piezas cortadas en láser y dobladas.	93
Figura 61. a) Acomodo de piezas desplegadas con diseño actualizado de chapa metálica. b)Corte láser.	94
Figura 62. Ensamble de tolva.	94

Figura 63. Cajón ensamblado.....	95
Figura 64. Taladros de 3/8" y 5/8".	95
Figura 65. Ensamble de cajón, tolva y ducto.....	96
Figura 66. a) Fabricación cepillos cortos. b) Posicionamiento cepillos primera etapa c) Posicionamiento cepillos segunda etapa.....	98
Figura 67. Montaje de tren de engranaje y tensado de banda.....	99
Figura 68. Montaje y ajuste de cadenas.....	99
Figura 69. a) Gabinete instalado a 40°. b) Vista frontal del gabinete.	100
Figura 70. Diagrama de conexiones eléctricas y electrónicas del gabinete de control. ...	101
Figura 71. Cableado de conexiones eléctricas y electrónicas del gabinete de control. ...	101
Figura 72. Botón de paro de emergencia de 6000 W.....	102
Figura 73. Código del sensor PIR.....	103
Figura 74. Sensor de flujo montado.....	104
Figura 75. Código del sensor de flujo.	105
Figura 76. Válvula solenoide conectada al compresor de aire.....	105
Figura 77. Estados principales interfaz.....	106
Figura 78. Estados de la interfaz para seleccionar producción.	107
Figura 79. Fases de la interfaz de la evolución de los indicadores de actuadores.	107
Figura 80. Limpieza y mantenimiento de la máquina.	108
Figura 81. Ensamble final.....	109
Figura 82. CAD diseño detallado original.	109
Figura 83. Sistema de transmisión en funcionamiento.....	110
Figura 84. Sistema de aire comprimido y aspirado.	111
Figura 85. Interacción con la interfaz.....	112
Figura 86. Proceso de pelado.	113
Figura 87. Clasificación de ajos. a)Dañado. b)Pelado. c)Capa mínima cáscara. d)Con cáscara	114
Figura 88. Prueba de 500 gr a una sola pasada. a) Dientes expulsados. b)Dientes clasificados(no pelados, pelados y dañados).	117
Figura 89. Producto final de la máquina peladora de ajos automatizada.	117
Figura 90. Dispersión y línea de tendencia con ecuación de los resultados de las pruebas realizadas	118
Figura 91. Vista explosionada de la máquina.....	149
Figura 92. Acoplamiento para prueba de pelado.....	150

Figura 93. Proceso de prueba experimental con cepillo giratorio.	150
Figura 94. Resultados de la prueba de cepillo.	151
Figura 95. Aspiradora HV-120 KG3.	151
Figura 96. Prueba experimental de extracción de cáscaras. a)Montaje b)Diente de ajo c) Cáscara.....	152

Índice de tablas

Tabla 1. Dimensiones antropométricas espécimen de pie [24]:	33
Tabla 2. Métodos mecánicos para el pelado de ajo [7].	45
Tabla 3. Tabla de pertenencia de la selección del sistema mecánico de pelado (Elaboración propia).	46
Tabla 4. Componentes de la tolva.	54
Tabla 5. Componentes de la rampa.	55
Tabla 6. Selección de diámetros por relación de velocidad	65
Tabla 7. Selección de Taper-Locks	65
Tabla 8. Selección de piñón por rpm de motor	66
Tabla 9. Resultados de análisis estáticos de estructuras (Elaboración propia).	70
Tabla 10. Consumos de corriente de componentes de corriente alterna (Elaboración propia).	78
Tabla 11. Tabla de pertenencia para la selección del controlador (Elaboración propia). ..	82
Tabla 12. Tabla de alimentación DC de los componentes.	86
Tabla 13. Lista de compra (Elaboración propia).	89
Tabla 14. Comparación de esfuerzos para PTR (Elaboración propia).	91
Tabla 15. Resultados de pruebas de pelado para 200 gr	115
Tabla 16. Resultados de pruebas de pelado para 250 gr	115
Tabla 17. Resultados de pruebas de pelado para 500 gr	116
Tabla 18. Resultados de las pruebas realizadas para masa y tiempo.	118
Tabla 19. Lista de componentes (Elaboración propia).	149

INTRODUCCIÓN

La producción de ajo en el estado de Zacatecas tiene un gran impacto económico y social, según información de la Secretaría del Campo (Secampo), a través de la Subsecretaría de Agronegocios y la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Zacatecas, se registra que Zacatecas conserva el primer lugar en producción nacional de ajo [1]. Sin embargo, la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial declara que existe falta de maquinaria especializada y baja tecnificación de los sistemas productivos para procesar el ajo y obtener un producto de alto valor agregado [2].

La empresa Procesadora de Alimentos de Zacatecas S.P.R. no cuenta con la maquinaria necesaria para fomentar ese valor agregado por lo que requiere del desarrollo tecnológico de una máquina peladora de ajos automatizada que cumpla con la cuota del promedio de producción diaria y que se pueda adaptar a la línea de producción existente. Se solicitó diseñar y construir un prototipo con una estructura mecánica en donde se incorporará un sistema de control que llevará a cabo la ejecución del proceso de remoción de cascará con el daño mínimo posible a los dientes de ajo, este sistema de control, estará trabajando en conjunto con sensores y actuadores que estarán acondicionados para realizar la tarea de manera automática por medio de los valores que se inserten en la interfaz humano-máquina que además contendrá medidas y funciones de seguridad necesarias para la máquina, la producción y el operador.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Diseñar y construir un prototipo de una máquina automatizada que sea capaz de pelar los dientes de ajo.

Objetivos específicos

1. Diseñar y construir una estructura mecánica que cumpla con las necesidades de producción del cliente (50-70 kilogramos/hora).
2. Diseñar el sistema de control necesario para ejecutar el proceso de remoción de la cáscara de dientes de ajos de una manera automática.
3. Diseñar, seleccionar e implementar el sistema de acondicionamiento de sensores y actuadores que permita la automatización del proceso.
4. Crear una interfaz humano-máquina e integrar un botón de paro de emergencia para que el usuario opere la máquina con seguridad.
5. Evitar el daño en los dientes de ajo durante el proceso de remoción de cáscara.

JUSTIFICACIÓN

Se contactó con la empresa Procesadora de Alimentos (P.A.) de Zacatecas S.P.R. certificada por Cofepris en 2019. P.A. de Zacatecas está dada de alta en el listado de certificaciones como una empresa procesadora de chile en polvo. Actualmente, la empresa busca nuevas líneas de procesamiento de alimento, de las cuales una está destinada al procesamiento de ajos.

La empresa desea desarrollar una innovación tecnológica mexicana para la nueva línea de ajos que tiene como objetivo la creación de una máquina peladora de ajo automatizada que cuide las propiedades del producto evitando causar daño sobre éste cumpliendo con las cuotas del promedio de producción diaria (50 – 70 kg/hora) y con un costo reducido referente a las existentes máquinas peladoras comerciales.

La planta cuenta con una línea de procesamiento adaptable para el procesado de cualquier vegetal y fruta, ya existe una peladora con rodillos de caucho, sin embargo, esta tecnología desarrollada por Urschel solo fue hecha para quitar la cáscara de los vegetales y frutas que cumplan con las dimensiones y características especificadas de la máquina y el ajo no las cumple.

Según información de la Secretaría del Campo (Secampo), a través de la Subsecretaría de Agronegocios y la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Zacatecas, se registra que Zacatecas conserva el primer lugar en producción nacional de ajo [1].

El cultivo del ajo se concentra en los municipios Villa de Cos, Calera, Pánuco, Guadalupe y Fresnillo. De 2019 al 2020 incrementó el número de hectáreas cosechadas, de 2 mil 878 a 3 mil 70; la producción creció de 45 mil a 48 mil 831 toneladas y el valor de la producción aumentó de 474 a 601 millones de pesos.

En 2019 en Pánuco hubo producción de ajo, avena forrajera en verde, cebolla y zanahoria, todo esto en 311 hectáreas que arrojaron una cosecha de 5 mil 804 toneladas, con valor de 39 millones 516 mil pesos. La mayor producción es de ajo con 3 mil 160.3 toneladas, cuyo valor fue de 31 millones 560 mil pesos.

Respecto al municipio de Guadalupe, también produjo ajo, avena forrajera en verde, cebolla y zanahoria. La mayor producción es de ajo, con 7 mil 750 toneladas con valor de 64 millones 97 mil pesos [1].

De acuerdo con los datos estadísticos presentados con antelación y con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, que en la actualidad es la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural), la producción de ajo en el Estado de Zacatecas cuenta con las condiciones propias para incrementar la elaboración de productos con valor agregado, como lo es el producto final de la máquina propuesta en este documento que es el diente de ajo sin cáscara, siendo procesado en condiciones ideales para la realización de otros subproductos como la pasta de ajo y ajo picado [2].

Sin embargo, la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y SAGARPA, para el Estado de Zacatecas, refieren las siguientes problemáticas en la cadena de ajo de las que se encuentran [2]:

- Baja tecnificación de los sistemas productivos en productores de nivel medio y bajo.
- Falta de asistencia técnica en productores de nivel medio y bajo.
- Altos costos de producción.
- Falta de maquinaria especializada.
- Comercialización de productos con bajo valor agregado.
- Falta de canales de transferencia de tecnología.

El presente proyecto con el diseño y construcción del prototipo propuesto busca dar una oportunidad y solución de automatización a los productores de nivel medio y bajo de ajo como la empresa Procesadora de Alimentos de Zacatecas S.P.R. que no cuentan con la tecnología y tienen recursos económicos limitados para adquirir una máquina que remueva la cáscara de los dientes de ajo y obtener un producto procesado con valor agregado conservando sus propiedades nutricionales a un costo más rentable que con las peladoras de ajo comerciales.

I. MARCO TEÓRICO

1.1 El ajo

El ajo es una planta perteneciente a la familia *Allium* (cebolla) y está estrechamente relacionada con las cebollas, los chalotes y los puerros.

De origen centro asiático, es uno de los ingredientes fundamentales de la cocina mediterránea, adoptado hoy en día por muchas cocinas en el mundo como la mexicana. Hay muchas variedades de ajo, siendo el más común el ajo blanco. Lo hay también rosa o morado, gigante y miniatura.

El ajo es una de las hortalizas más antiguas usadas por el hombre, extendiéndose al sur de Europa y llegando al continente americano durante la llegada y conquista de los españoles [3].



Figura 1. Dientes y bulbo de ajo [4].

1.1.1 Características de la planta de ajo

La cabeza de ajo entera recibe el nombre de bulbo de ajo, mientras que a cada segmento se le llama diente. Aproximadamente, hay 10-20 dientes en un solo bulbo de ajo. Una porción de ajo de 28 gramos contiene 3 dientes.

Como se aprecia en la Figura 2, el bulbo adulto presenta un tallo comprimido en forma de disco o plato (base del bulbo), donde se apoyan las hojas, muchas de las cuales están fuertemente modificadas [5].

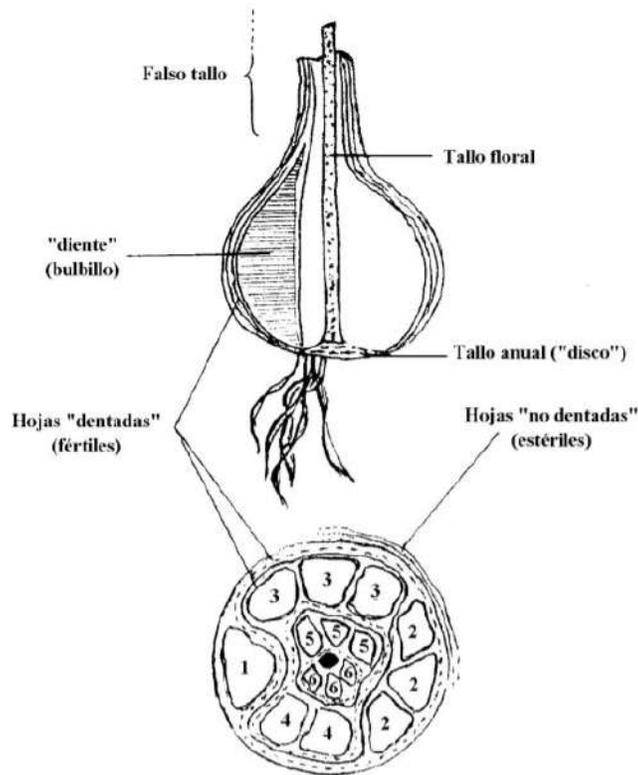


Figura 2. Corte longitudinal y transversal de un bulbo maduro de ajo [5].

1.2 Clasificación

El ajo se puede clasificar en [4].

1.2.1 Según el tipo de tallo.

- Ajo de cuello duro: el tallo genera floración y presenta hijuelos.
- Ajo de cuello blando: no presenta hijuelos, pueden resistir mayores tiempos de almacenamiento.

1.2.2 Según la coloración.

- Ajo blanco: aptos para el consumo seco.
- Ajo morado o rosado: maduran más temprano que los ajos blancos.

1.3 Cultivo y cosecha

De acuerdo con el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), el cultivo de ajo se produce en altitudes que van desde los 600 a los 3,500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). El ciclo vegetativo, período que va de la siembra a la cosecha, tiene una duración que varía de 120 a 150 días, dependiendo de la variedad utilizada y de la altura

del lugar. Se adapta en lugares con temperaturas que oscilan entre 10 y 34°C, siendo la media óptima de 18°C. Crece en muchas partes del mundo y es un ingrediente básico en la cocina debido a su fuerte olor y el sabor que le da a los alimentos.

Debido al continuo incremento en el consumo de este producto, se hace necesario aumentar la producción de éste y la alternativa más viable es la explotación del ajo en zonas cálidas; lo cual implica la posibilidad de ataques de plagas y enfermedades no comunes.

Hoy en día es considerado como una de las hortalizas más rentable a nivel nacional. Se cultiva en 21 entidades del país y los principales estados productores son Zacatecas, Guanajuato, Puebla, Baja California y Sonora, estados que aportan el 87.1 por ciento de la producción nacional. Otras entidades que también producen este alimento son Veracruz, Aguascalientes, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, Durango, San Luis Potosí, Hidalgo, Guerrero, Jalisco, Tlaxcala, Baja California Sur, Coahuila y Michoacán, entre otras.

El ajo se siembra en surcos o en eras; en terrenos inclinados y pequeñas superficies se recomienda el sistema de eras, las cuales son canteros o camas de suelo levantadas unos 6 a 10 cm, de 1 a 2 m de ancho y al largo que permita el terreno.

Los principales destinos de exportación son Estados Unidos, Australia, Brasil, Francia y Martinica, los cuales representan el 98.9 por ciento de las ventas al exterior de este producto [3].

1.4 Propiedades

Según el Fideicomiso de Riesgo Compartido el ajo posee un alto valor nutritivo y contiene muy pocas calorías, rico en vitamina C, vitamina B6 y manganeso. Disminuye niveles de colesterol y contiene antioxidantes que protegen contra el daño celular y el envejecimiento. Puede disminuir el riesgo de sufrir Alzheimer y demencia.

Por otro lado el ajo cuenta con propiedades curativas, siendo un aliado del aparato digestivo humano, ya que ayuda a prevenir inflamaciones estomacales y favorece la eliminación de bacterias dañinas en los intestinos, cuenta con efectos diuréticos, causados por la acción de sus aceites esenciales y sus azúcares de bajo peso molecular, ayuda a reducir la presión arterial, gracias a que estimula la producción de ácido sulfhídrico, el cual relaja los vasos sanguíneos y mejora el flujo de la sangre en el

organismo, ayuda a prevenir y reducir el endurecimiento de las arterias que dificulta la circulación, excelente diurético, facilitando la eliminación de líquidos y toxinas [3].

2 Proceso de pelado de ajo

El bulbo de ajo está cubierto por una fina piel parecida al papel que no se puede comer. El pelado de dientes de ajo es la operación unitaria a través de la cual se quita la piel exterior parecida al papel para facilitar el procesamiento posterior. El pelado de ajo es una operación unitaria tediosa, clave, costosa y que requiere mucho tiempo en el procesamiento del ajo [6].

Dado que el ajo tiene una piel fina que no es fácil de pelar de forma limpia y rápida con las manos y puede causar lesiones. Hay diferentes tipos de máquinas peladoras de ajo que se han creado con diferentes conceptos de diseño como el uso de métodos de pelado en seco y pelado en húmedo [7].



Figura 3. Dientes de ajo pelados [8].

De acuerdo con la Cooperativa Extremeña de Ajos de Aceuchal S.C. en España, existen diversos tipos de procesos para pelar los ajos, dependerá de la industria en cuestión, esencialmente se encuentran dos tipos de pelado, el centrifugado y con aire comprimido. Aunque el centrifugado tiene dos variantes: en seco y mojado [8].

2.1 Proceso del ajo pelado centrifugado en seco

Se le conoce de esta forma porque las máquinas usadas para pelar los ajos simulan el funcionamiento de una gran lavadora. La diferencia radica en que esta máquina lo hace en seco, da cientos de vueltas por minuto, las cuales logran desprender las frágiles capas de los ajos. Por un compartimiento salen filtradas las cáscaras o piel de los ajos, mientras que por otro compartimiento salen los dientes de ajo pelados [8].

2.2 Proceso del ajo pelado centrifugado mojado

Este proceso incluye el agua en el centrifugado, la cual permite desprender con mayor facilidad las cáscaras o piel de los ajos. En este tipo de máquinas, los ajos son puestos en un espacio donde se realizará el centrifugado y recibirán el agua de la parte superior. La diferencia es que, en este tipo de proceso, el agua sale disparada por un compartimiento inferior, que se lleva consigo las cáscaras y residuos de los ajos. Permaneciendo todos los dientes de ajo en la parte superior, para ser liberados una vez terminado el proceso, a través de una compuerta superior [8].

2.3 Proceso del ajo pelado con aire comprimido

Esta forma, es igualmente útil y eficaz, su diferencia radica básicamente en el uso de aire comprimido sobre pequeñas cantidades de dientes de ajo. La máquina funciona de tal forma que recibe una porción de ajos y libera al instante el aire comprimido, desprendiendo al instante las cáscaras o piel de los ajos. Éstas son expulsadas a través de una malla y salen disparadas hacia abajo, donde un recipiente de basura las espera. Mientras que los dientes de ajo siguen su camino lineal después de haber sido limpiados, sobre la misma malla superior [8].

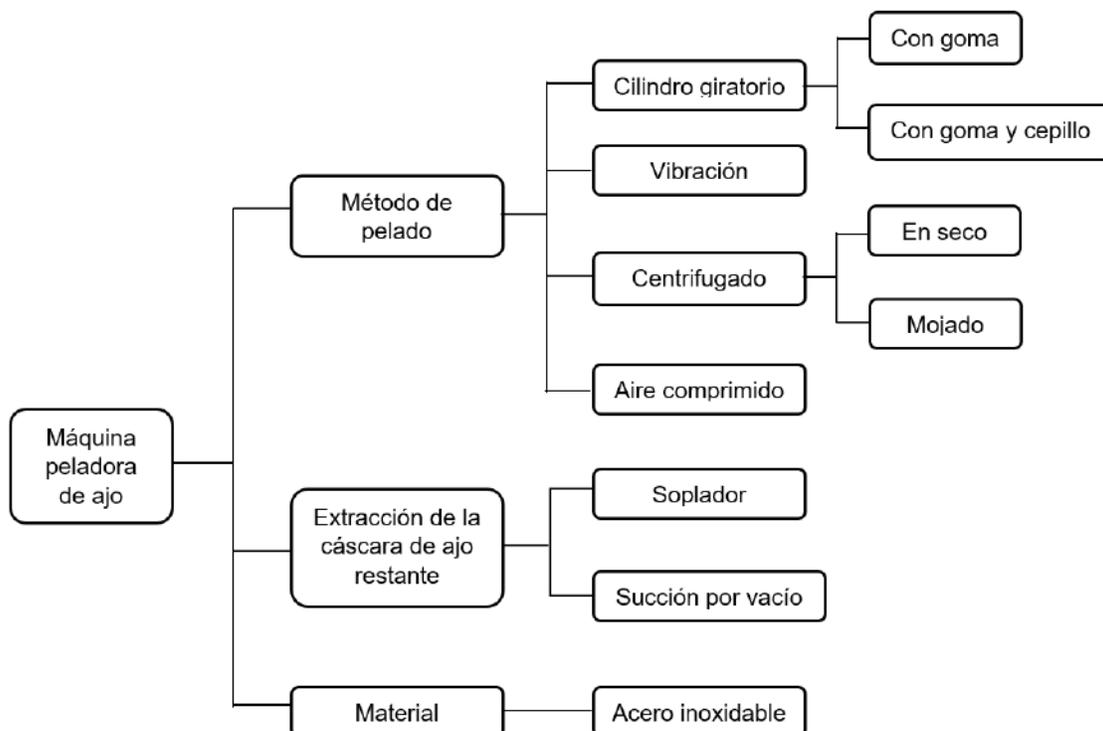


Figura 4. Diagrama de diseño conceptual de una máquina de pelado de ajos [7].

3 Materiales en la industria de alimentos

En la industria de los alimentos se considera extremadamente importante la selección de los materiales de construcción para los: equipos, utensilios y mesas de trabajo para los alimentos. Todos los elementos destinados a tener contacto con un material en el momento de producir, envasar o procesar, deben de cumplir con las normas de salud. En Estados Unidos existe un código de comida (*food code*) para los fines industriales administrada por el departamento de administración de comida y drogas (*Food and drug administration* conocida por sus siglas en inglés como FDA), que consiste, en presentar las regulaciones sanitarias de la comida que se han realizado a lo largo de su historia, aquí mismo se plantea los materiales que son propios para cada operación o proceso [9]. En México, se encarga la Secretaría de Salud del gobierno para las debidas regulaciones en la industria alimenticia.

Para todos los equipos y utensilios en el área de equipamiento para alimentos debe ser usado para los fines que fueron diseñados. Estos equipos y utensilios deben construirse y conservarse de manera que no constituya un riesgo para la salud. Si los alimentos entran en contacto con los equipos y utensilios, deben ser aquellos que debido a su funcionamiento que no transmitan sustancias tóxicas, olores ni sabores, sean inabsorbente, capaces de limpiezas repetitivas sin sufrir deterioro por el aseo y resistente a corrosión.

En el caso específico de la industria de los alimentos, la Secretaría de Salud sugiere el acero inoxidable, en general los tipos AISI 304 y 316 son los más recomendados, y en ciertos casos obligatorios [10].

4 Sistema de Control

Un sistema de control automático es una interconexión de elementos que forman una configuración denominada sistema, de tal manera que el arreglo resultante es capaz de controlarse por sí mismo, proporcionando una respuesta deseada. Un sistema o componente del sistema susceptible de ser controlado, al cual se le aplica una señal $r(t)$ a manera de entrada para obtener una respuesta o salida $y(t)$ [11].

4.1 Definiciones

Variable controlada y señal de control o variable manipulada. La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La señal de control o variable manipulada es

la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado.

4.1.1 Planta

Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular.

4.1.2 Procesos

El Diccionario Merriam-Webster define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado.

4.1.3 Sistemas

Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos.

4.1.4 Perturbaciones

Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.

4.1.5 Control realimentado

El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia [12].

4.2 Control Adaptativo

Es un tipo de control no lineal en el que el estado del proceso puede ser separado en dos escalas de tiempo que evolucionan a diferente velocidad. Este control está compuesto

por un bucle principal de retroalimentación negativa, actúa como regulador y bucle, al momento de medir el índice de funcionamiento, se compara con el índice deseado, se procesa el error y adapta los parámetros del regulador. En este controlador se utiliza frecuentemente para trabajar con parámetros y constantes ya establecidos, sin embargo, se puede crear una tabla para trabajar con más parámetros y constantes, una tabla con los valores deseados ya calculados para distintos puntos de funcionamiento, en función de una variable auxiliar. Se puede observar la configuración básica de control adaptativo con la Figura 5 [13].

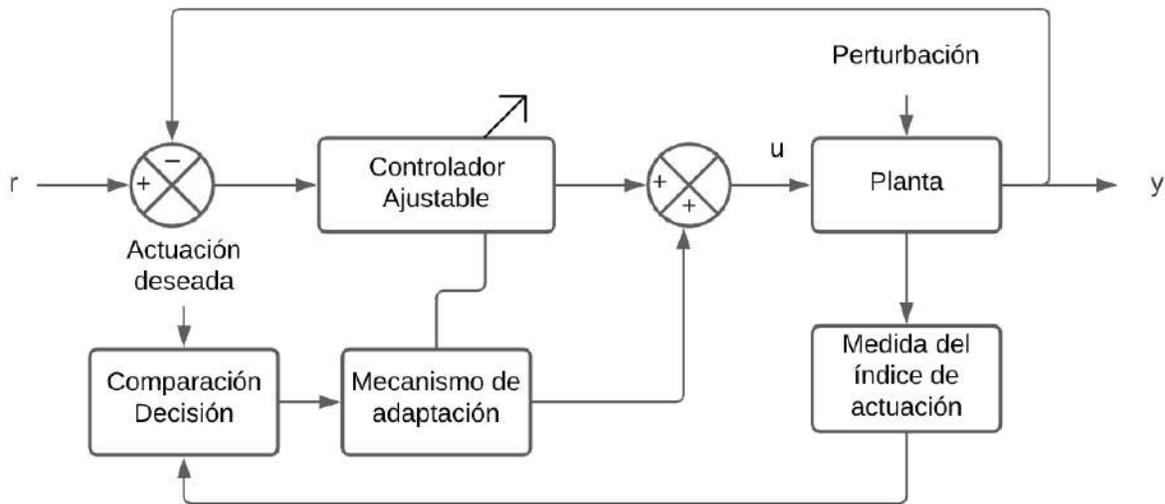


Figura 5. Configuración básica de control adaptativo [13].

5 Tarjeta de adquisición

En la actualidad, existen diferentes tecnologías capaces de crear una comunicación con el mundo físico y el digital. Estas tecnologías son usadas en todo tipo de industrias y centros de investigación, ya que permiten llevar a cabo mediciones y controlar las condiciones de trabajo. Mediante el mundo de la informática, se puede obtener información del mundo real al pasarla por un artefacto electrónico que puede registrar y manipular esa información con una computadora. El sistema de recopilación de datos obtiene la información del mundo real que son transformadas a señales eléctricas, pero para su procesamiento, análisis y almacenamiento en una computadora, se requiere de un módulo o una tarjeta:

- Tarjeta de adquisición de datos.
- Controlador Lógico Programable (PLC).

- Microprocesador.

Estos sistemas de recopilación de datos requieren de 3 elementos fundamentales para su funcionamiento. Requieren de sensores, hardware (tarjeta DAQ, PLC o el microprocesador) y software.

5.1 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)

Estas tarjetas de adquisición de datos normalmente son conocidas por sus siglas en inglés DAQ (*data acquisition*), toman muestras de variables físicas y después las adecúan para transformarlas en un dato que pueda ser reconocido y registrado por un sistema digital, posteriormente pasan por una computadora para la lectura de estos datos y actúa mediante un software [14].

Los dispositivos de DAQ actúan como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Este dispositivo digitaliza las señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Para el funcionamiento de los dispositivos DAQ se tienen 3 elementos clave; circuito acondicionador de señales, convertidor análogo digital y un bus de PC [15].

5.2 Controlador Lógico Programable (PLC)

Un Controlador Lógico Programable o Autómata Programable es un equipo electrónico de control con un cableado interno independiente del proceso a controlar, que se adapta a dicho proceso mediante un programa específico que contiene la secuencia de las operaciones a realizar [16].

NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*): Aparato electrónico digital que usa una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones que implementan funciones lógicas, secuenciales, temporizadores, contadores y aritméticas, para controlar a través de módulos de entradas/salidas digitales y analógicas, diferentes tipos de máquinas o procesos.

Las señales de entrada pueden proceder de elementos digitales, como fines de carrera y detectores de proximidad, o analógicos, como sensores de temperatura y dispositivos de salida en tensión o corriente continua.

El autómata gobierna las señales de salida según el programa de control previamente almacenado en una memoria, a partir del estado de las señales de entrada.

Una característica diferenciadora del PLC frente a otros sistemas de control programables está en la estandarización de su hardware, que permite la configuración de sistemas de control a medida, según las necesidades estimadas de potencia de cálculo y número y tipo de señales de entrada y salida.

Un PLC se compone esencialmente de los siguientes bloques (Figura 6):

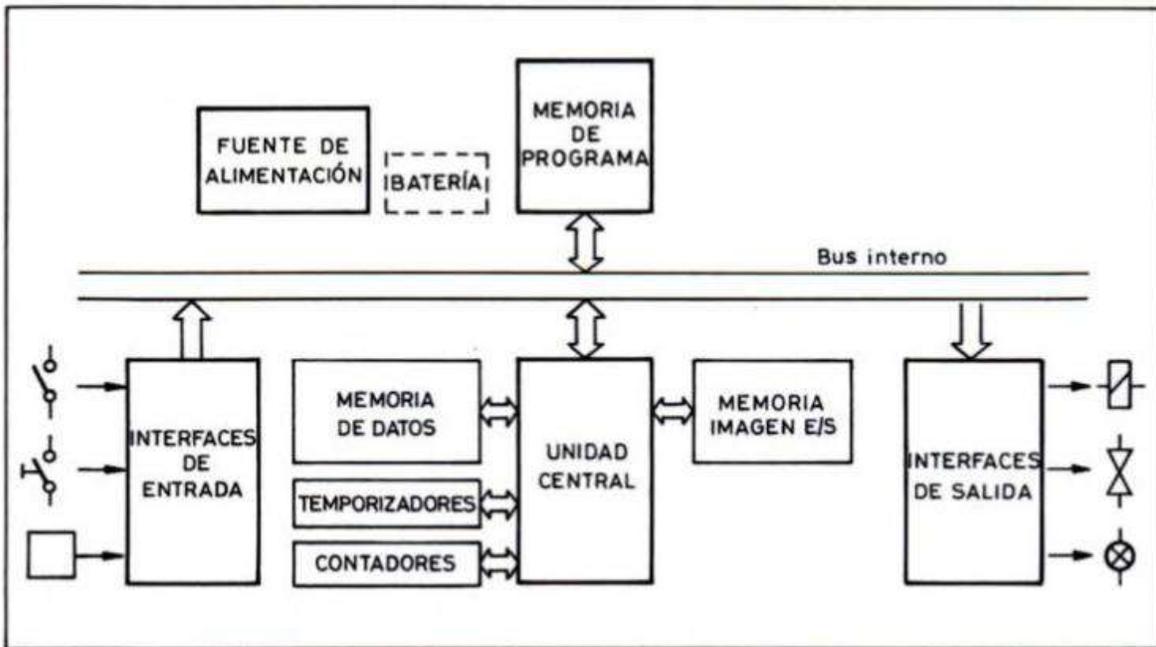


Figura 6. Diagrama de bloques de un PLC [16].

- Unidad Central de Proceso o de Control, CPU: consulta el estado de las entradas y recoge de la memoria de programa la secuencia de instrucciones a ejecutar, elaborando a partir de ella las señales de salida que se enviarán al proceso. También es la responsable de actualizar continuamente los temporizadores y contadores internos que hayan sido programados.
- Memoria interna: es la encargada de almacenar datos intermedios de cálculo y variables internas que no aparecen directamente en las salidas.
- Memoria de programa: contiene la secuencia de operaciones que deben realizarse sobre las señales de entrada para obtener las señales de salida, así como los parámetros de configuración
- Interfaces de entrada y salida.
- Fuente de alimentación.

5.3 Microprocesador

Un microprocesador es un dispositivo que tiene un gran poder de cálculo y se han convertido en un elemento fundamental en la vida diaria, ya que, estos dispositivos se encuentran en muchas aplicaciones electrónicas como lo es la televisión, los celulares, un equipo de sonido, entre otras. El microprocesador es capaz de manejar diversas series de datos binarios, realizando una gran cantidad de operaciones lógicas basadas en el programa establecido por el usuario.

Su apariencia física es muy parecida a los circuitos integrados, sin embargo, su interior es muy diferente. Se puede observar un diagrama del aspecto que tiene un microprocesador en su interior con la Figura 7 [17].

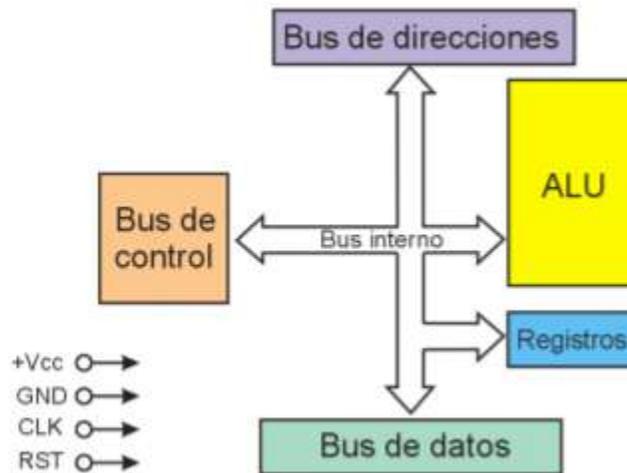


Figura 7. Estructura interna de un microprocesador [17].

El microprocesador es un dispositivo de proceso de información digital, capaz de realizar diversas operaciones con números binarios para cierto programa dado por el usuario, que se está ejecutando en ese momento.

En su interior se pueden encontrar los elementos que componen su funcionamiento:

ALU: Identificada por sus siglas en inglés como *Aritmetic-Logic Unit* o unidad Aritmético-lógica, que es la encargada de llevar a cabo las operaciones.

Bus interno: Lleva y trae señales de los otros bloques desde y hacia la ALU. Es decir, permite cargar y leer datos con una serie de registros parciales que son utilizados para llevar a cabo las operaciones de la ALU de una manera fácil y rápida.

Registros: Son pequeños bloques internos, donde se almacenan temporalmente los bits y bytes que usará la ALU para sus cálculos y también los resultados parciales antes de enviarse a la etapa adecuada.

Bus de control: Expide o introduce las instrucciones al microprocesador, dependiendo de la operación que va a realizar.

Bus de datos: Es la puerta y salida de los bits que se procesarán dentro del microprocesador. En este bus circula toda la información con la que trabaja el microprocesador, tanto la que entra como la que sale.

Bus de direcciones: Sirve para que el microprocesador pueda leer la memoria externa, o para determinar qué dispositivo externo se utiliza en un momento dado.

Para que un microprocesador funcione se necesita de otros dos elementos clave además de su estructura interna. El reloj de entrada, para tomarlo como referencia para el seguimiento de las operaciones internas. Por último, es necesario tener una fuente externa para alimentarlo [17].

6 Acondicionamiento de sensores

En el mundo físico existen señales que pueden llegar a ser ruidosas o peligrosas para medirse por lo que se requiere de un acondicionamiento de esta señal para ser medidas. El circuito de acondicionamiento de señales manipula las señales convirtiéndolas en una señal apropiada para tomar lectura de ella y que puede ser una señal funcional de entrada para un dispositivo ya determinado. En este caso, el objetivo del acondicionamiento de señal es convertir la señal analógica tomada por sensores en valores estandarizados para ser interpretados por una tarjeta DAQ, un microprocesador o un PLC.

Dentro del acondicionamiento existen subprocesos para que cumpla con su primer objetivo del proyecto. Transformación de la señal, la amplificación de la señal en dado caso de necesitarla, filtrado de la señal y linealización [14].

6.1 Sensores

La necesidad de obtener energía natural y transformarla en otro tipo de energía con el fin de controlarla para el beneficio humano se hizo presente durante el desarrollo tecnológico con la creación de las máquinas autómatas. Tomar una representación de algún parámetro dado de algún fenómeno físico, por el cual, se puede cuantificar de manera

numérica a partir de las magnitudes físicas que se toman a partir de este fenómeno y transformarla a otra que tiene diferente dominio se conoce como transducción.

El transductor forma parte de los actuadores y sensores, la diferencia entre un sensor y un transductor es que el transductor se refiere al cambio de dominio de la variable mientras que un sensor proporciona una salida útil para ser usada como variable de entrada a un sistema de procesamiento de información [18].

6.2 Actuadores

Como se dijo anteriormente, un actuador también forma parte de un transductor, la diferencia es que, el actuador ejecuta la acción determinada por el sistema de procesamiento de la información tomada con el sensor [18].

6.2.1 Bombas

El método más común para transportar fluidos es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las bombas se utilizan para impulsar fluidos a través de estos sistemas, mueven el flujo volumétrico que se desea al mismo tiempo que desarrollan una carga dinámica total, creada por los cambios de elevaciones, diferencia de presión, de velocidad y las demás pérdidas.

Existen una variedad de tipos de bombas que se clasifican en dos ramas, bombas de desplazamiento positivo o cinéticas. Las bombas de desplazamiento positivo, envía una cantidad fija de fluido en cada revolución del rotor o del eje impulsor de la bomba. Las bombas cinéticas son aquellas que agregan energía al fluido para acelerar el flujo por medio de la rotación de un impulsor [19].

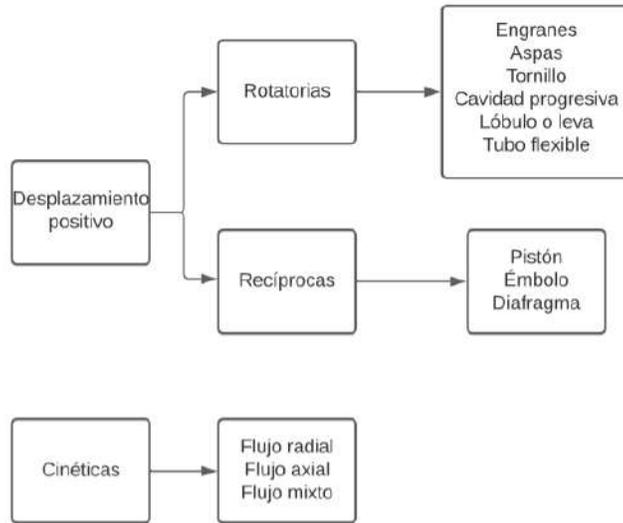


Figura 8. Clasificación de tipo de bombas [19].

7. Interfaz humano-máquina

Las tecnologías se han ido desarrollado muy rápido por el paso de los años, de tal manera que, estas tecnologías están presentes en todo ámbito de la sociedad y para todo dispositivo electrónico se requiere de una interfaz para ser manipulado. Las interfaces, al igual que la tecnología ha ido evolucionando, desde interfaces por botones mecánicos y comandos hasta las interfaces táctiles que ahora se conocen en las pantallas de los smartphones.

Cada día, en la tecnología se innova y con ello las interfaces para presentar mayor facilidad a la hora de manipular dispositivos. Una interfaz que permita controlar y visualizar al ser humano y un proceso, máquina, aplicación o dispositivo se le llama interfaz humano-máquina también conocida como HMI por sus siglas en inglés (*Human Machine interface*).

Estas interfaces constan de dos componentes, la entrada, que permite al usuario comunicarle al dispositivo o máquina que hace mediante instrucciones ya establecidas por defecto. El otro componente es la salida, que mantiene actualizado al usuario de los procesos comandados al momento de ejecutarlos, es decir, mostrar información.

Las principales características de una interfaz son: su funcionalidad, accesibilidad, uso fácil, agradable y su lógica. La interfaz trata de una comunicación entre el usuario y la máquina por instrucciones que son llevadas a cabo por un software haciendo que el

mundo físico pueda interactuar con el digital por una retroalimentación de información para ejecutar los comandos de instrucciones ya dadas [20].

8 Fuente conmutada

Una fuente conmutada es un dispositivo usado para entregar energía a equipos eléctricos con un rango controlado de voltajes de salida para dicha alimentación. La entrega de energía se hace a través de circuitos que emplean transistores de potencia, los cuales son llamados interruptores de potencia, trabajando en conmutación a altas frecuencias. El voltaje de salida es controlado mediante el ciclo de trabajo, frecuencia o fase de las conmutaciones [21].

Tiene las siguientes etapas:

1. Etapa de rectificación: (por medio de diodos). Convierte la señal de voltaje de corriente alterna a voltaje de corriente directa pulsante positiva. Al igual que una fuente lineal se colocan capacitores después de la etapa de rectificación.
2. Etapa de filtros: (por medio de capacitores electrolíticos). Estos capacitores disminuyen el rizo de la señal rectificada.
3. Etapa de conmutación: (por medio de un transistor MOSFET). Este transistor funciona como un interruptor que cierra y abre muy rápido aproximadamente con una frecuencia entre 20KHz a 100KHz por segundo y se encarga de dar paso al alto voltaje que viene de la etapa anterior. Es bien sabido que este tipo de transistor MOSFET puede conmutar a altas frecuencias y a altos voltajes.
4. Etapa de reducción de voltaje: (por medio de un transformador). Reduce el voltaje a uno que ya es más adecuado para trabajar, así como volver la señal alterna nuevamente. A diferencia de una fuente lineal, aquí el transformador es más pequeño y trabaja a frecuencias mayores de 50/60Hz, esto gracias a la etapa anterior, reduce costos, peso y tamaño de la fuente.
5. Etapa de rectificación y filtro: Convierte el voltaje alterno a voltaje de corriente directa por medio de diodos, capacitores y bobinas. Este ya es el voltaje que se emplea en las cargas.
6. Etapa de control: Está enlazada a la salida de la etapa anterior por medio de un optoacoplador y conectada también a la etapa de conmutación por medio de un circuito

integrado que genera PWM (modulación por ancho de pulsos). Esta etapa monitorea la salida, si la carga que se tiene a la salida demanda mucha o poca corriente, por medio de la etapa de control ordena al CI que genera el PWM más o menos tiempo de activación al transistor MOSFET de la etapa de conmutación, esto para que entregue la energía requerida por la carga, haciendo que estas fuentes sean eficientes en el consumo de energía.

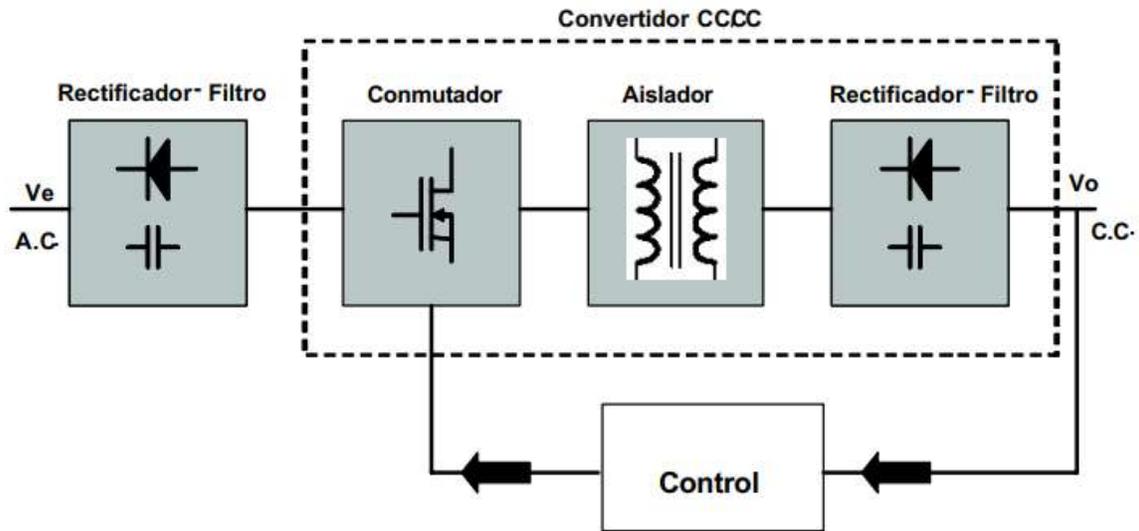


Figura 9. Diagrama de bloques general de una fuente conmutada aislada [21].

9 Diseño ergonómico

La ergonomía estudia la interacción del humano-puesto, es la adaptación del medio al humano con los conocimientos anatómicos, antropométricos, fisiológicos, psicológicos y técnicos; desarrolla métodos para la determinación de los límites que no deben ser superados para llevar a cabo las distintas actividades laborales. Según la Asociación Internacional de Ergonomía, la ergonomía es el conjunto de conocimientos científicos aplicados para que el trabajo, los sistemas, productos y ambientes se adapten a las capacidades y limitaciones físicas y mentales de la persona [22].

Los datos antropométricos en el área de la ergonomía tienen una amplitud de usos tales como la determinación general y específica de las características dimensionales de los usuarios en sus diversas agrupaciones poblacionales; el diseño de espacios de trabajo, ropa, equipo personal, máquinas, herramientas, aparatos y mobiliario. Estos datos se convierten en poderosas herramientas disponibles para la adecuada dimensión y diseño

de espacios y productos para el hombre, considerando la estructura del cuerpo humano [23].

De acuerdo con el *Estudio antropométrico de la población mexicana masculina laboralmente productiva* realizado por el Instituto Politécnico Nacional, se efectuó una investigación acerca de las dimensiones del operario originario del valle de México, mediante la ejecución de un estudio antropométrico con apoyo de un sistema de medición manual (antropómetro comercial, estadiómetro, cinta métrica, plano vertical de referencia y una balanza clínica convencional) y se obtuvieron los datos estadísticos presentados en la Tabla 1 [24]:

Tabla 1. Dimensiones antropométricas espécimen de pie [24]:

Descripción	Percentil (5%)	Percentil (50%)	Percentil (95%)
Peso (kg)	55.45	70.26	96.55
Estatura (cm)	162.12	170.86	185.67
Altura de pie			
Ojos (cm)	151.28	159.14	174.36
Hombros (cm)	132.46	141.03	155.29
Codos (cm)	94.78	103.45	117.16
Cintura (cm)	96.29	105.36	120.32
Trasero (cm)	57.34	65.39	80.15
Muñeca (cm)	63.43	70.92	85.31
Ancho de brazos extendidos (cm)	146.23	154.78	176.14
Longitud de brazos extendidos (cm)	56.21	66.89	72.35
Ancho de los hombros (cm)	43.72	55.90	63.34
Ancho de Pecho (cm)	37.54	46.62	52.21
Ancho de las caderas (cm)	41.27	52.36	59.83

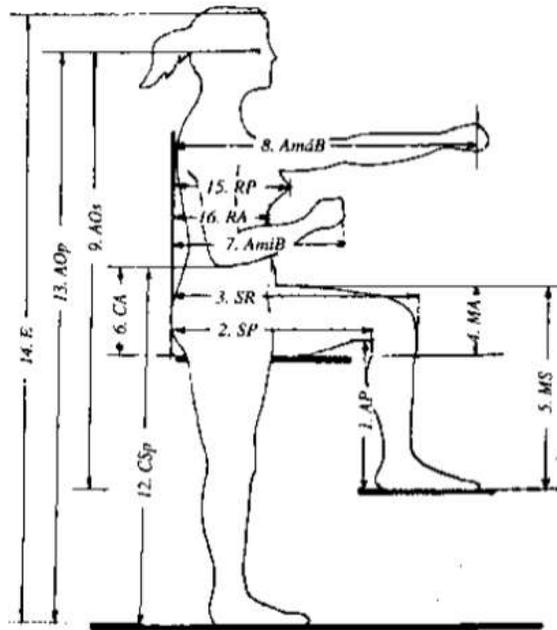


Figura 10. Dimensiones antropométricas básicas para el diseño de un puesto de trabajo [24].

Considerando la Figura 10, las dimensiones necesarias para el correcto diseño de un área de trabajo son todas las medidas referentes al cuerpo humano, incluyendo las variaciones existentes en un individuo cuando se encuentra en pie o de manera sentada, esto mediante la aplicación del concepto de que el operario es un elemento importante en cualquier proyecto de diseño [24].

II. ANTECEDENTES

Se hizo una búsqueda sobre trabajos anteriores acerca del diseño y construcción de máquinas automatizadas en la biblioteca física y digital de la UPIIZ, los siguientes son los proyectos de Trabajo Terminal encontrados que se relacionan con el proyecto propuesto en este protocolo enfocados en el procesamiento de alimentos.

El proyecto titulado “Máquina Mezcladora Automatizada” consistió en el proceso de diseño mecánico y eléctrico para la selección de materiales y construcción de un prototipo de una máquina de bebidas automatizada. La máquina está formada por una estructura que soporta el mecanismo principal e integra la conexión de los componentes electrónicos. Se implementó la programación desarrollando una interfaz humano-máquina para controlar y observar el estado del dispositivo [25].

En el trabajo terminal titulado “Prototipo deshidratador de alimentos automatizado” para el procesado de distintos alimentos como plátano, manzana y papa; se realizó la combinación de un sistema mecánico, eléctrico y de control realimentado, implementando una interfaz de usuario para controlar la máquina. Para la construcción del prototipo y selección de componentes se empleó una metodología de diseño de sistemas mecánicos, eléctricos y de control, realizando simulaciones para observar el comportamiento de los alimentos y de la máquina [26].

En el proyecto de “Diseño y construcción de una máquina semi-automatizada para el proceso de extracción de semilla de calabaza” se diseñó un sistema para extraer las semillas de calabaza provocando el mínimo daño a la pulpa. Para automatizar el proceso se emplearon cilindros neumáticos que sujetan la calabaza y se seleccionaron motores eléctricos para la rotación y desplazamiento de la herramienta que hace los cortes en la calabaza, asimismo, se seleccionó un controlador lógico programable para garantizar robustez al sistema y lograr un mínimo consumo energético. El prototipo incluye una interfaz humano-máquina con base en botones e indicadores [27].

III. ESTADO DEL ARTE

Máquinas peladoras de ajo comerciales

R Y- 30

Es una máquina peladora de ajos del fabricante *Sanli Grain Sorting Machinery*. Esta máquina tiene una capacidad de pelado de 30-50kg/hora. Utiliza aire comprimido como fuente de alimentación móvil, el uso del compresor hace que se produzca una fuerza motriz para el pelado obteniendo un índice de 95-98% de eficacia en el proceso [28].

Características de la máquina:

- Modelo: RY-30.
- Voltaje: 220 V-50 HZ.
- Producción: 30-50 kg/hr.
- Potencia: 0.1 kW.
- Potencia del compresor de aire: 3 kW.
- Presión de aire: 8kg/cm²
- Dimensiones: 50x52x88 cm
- Peso: 50 kg.

El costo aproximado de la máquina es de \$800 dólares US.



Figura 11. Peladora de ajos comercial RY-30 [28].

FX-128-2

Es una máquina peladora de ajos automática del fabricante *ALIMTECH* que se dedica a la importación, venta y distribución de maquinaria para la industria alimenticia. Este modelo tiene una capacidad de pelado de 70 kg/hora. Para que la máquina funcione debe estar equipada con un compresor de aire (que se compra aparte), la piel de ajo se quita a presión de aire y se separa por el principio del aire caliente [29].

Características de la máquina:

- Modelo: FX-128-2.
- Voltaje: 220 V-60 HZ.
- Producción: 70 kg/hr.
- Potencia: 2.2 kW.
- Dimensiones: 95x74x148 cm
- Peso: 150 kg.

El costo cotizado de la máquina es de \$62,500 pesos mexicanos, aparte se debe adquirir el compresor.



Figura 12. Peladora Comercial FX-128-2 [29].

JH-BS

Esta máquina pela el ajo de una manera altamente eficiente en seco por medio de compresión de aire para que el proceso sea natural. Al igual que las otras máquinas, se utiliza aire comprimido para evitar daño sobre los dientes de ajo. La máquina JH-Bs desarrollada por **Shandong Jiahe Machinery** puede pelar diferentes tamaños de ajo, es compacta y de peso ligero [30].

Características de la máquina:

- Modelo: JH-Bs.
- Voltaje: 220 V-60 HZ.
- Producción: 40-50 kg/hr.
- Potencia: 1 kW.
- Dimensiones: 50x65x130 cm
- Peso: 40 kg.

El costo cotizado de la máquina es de \$19,930 pesos mexicanos, aparte se debe adquirir el compresor.



Figura 13. Máquina JH-Bs desarrollada por Shandong Jiahe Machinery [30].

Prototipos de máquinas peladoras de ajo

En Zamorano, Honduras se diseñó una máquina peladora de ajo (*allium sativum*) que se llevó a cabo con la construcción de dos prototipos funcionales con el fin de observar el desempeño de ambas y obtener el rendimiento de los dos prototipos. Este proyecto se desarrolló en la planta de Procesamiento Hortofrutícola en 2009 donde el pelado era manual y la contratación de la mano de obra implicaba un costo por kilo de ajo. El objetivo del proyecto fue abaratar costos, ahorrar esfuerzos humanos y tiempo. El primer prototipo (A) consistió en un sistema mecánico con dos rodillos de caucho pegado a una de las paredes para ejercer presión sobre el producto para pelar y un soplador en la salida para remover la cáscara de los ajos. El segundo prototipo (B) al igual que el prototipo A, se realizó un sistema mecánico en el cual se usó un cilindro despulpador con un eje giratorio con nylon dentro de un contenedor cilíndrico para que el producto pudiese girar dentro y pelándolo a su vez. De acuerdo con las pruebas y estadísticas, el prototipo B superó al prototipo A con una diferencia de 334%. El eje con nylon actúa como cepillo [31].



Figura 14. Prototipo A y Prototipo B en la planta procesamiento Hortofrutícola [31].

El día 26 de julio del 2020 en Nariño, San Juan, Colombia se creó un prototipo de máquina peladora, deshidratadora y pulverizadora de ajo. El objetivo del proyecto recae en la producción de ajo pulverizado con una peladora que consta de un cilindro con capacidad para 5 kg de ajo, un disco el cual gira a 280 rpm por un motor monofásico con transmisión de poleas para la regulación de la velocidad. El proceso de pelado de ajo es por medio del disco y un centrifugado, el ajo golpea en la lámina, lo que provoca que la cáscara se desprenda de éste logrando una producción de 34 kg/hora [32].

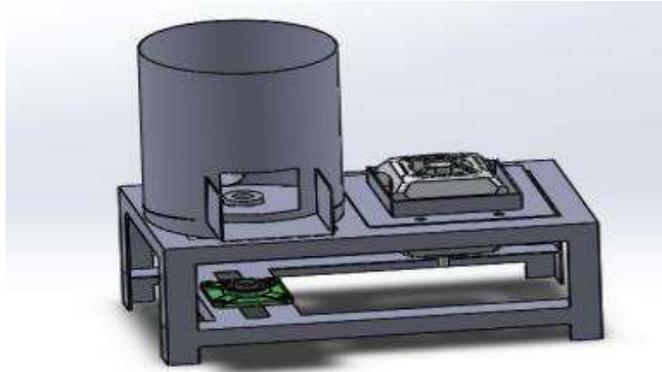


Figura 15. Prototipo de máquina peladora en Nariño, San Juan, Colombia [32].

Gissele Estefanía Mosquera Campaña diseñó y simuló una máquina peladora de ajo durante su estancia en la Escuela Politécnica Nacional en Quito, Ecuador. Durante este proceso, Gissele, manufacturó y diseñó todas las piezas de la peladora con apoyo de simulaciones sometiendo a los elementos a cargas reales. Para la construcción de la máquina, primero se creó una matriz de pelado para determinar por medio de experimentación, el pelado del ajo con un cepillo tangencial a un eje rotativo y variando su velocidad para declarar las rpm necesarias para un pelado óptimo. Se declaró que el rpm adecuado es entre 255 a 280. Posterior a este procedimiento, se seleccionaron los elementos mecánicos y el motor para el giro de la transmisión. Los parámetros que se calcularon para transmitir el giro en el eje desde el motor y la selección de este fueron: potencia, torque, peso y velocidad (rpm). Mediante los esfuerzos simulados también se seleccionaron los materiales para cada elemento mecánico. Los objetivos recaen en el diseño de la máquina para un agricultor de Ecuador, que, según las estadísticas presentadas en el documento del proyecto, se sabe que un agricultor de Ecuador tiene posesión de casi 9000 kg de producción de ajo y la máquina fue diseñada para producir un aproximado de 80kg/hora [33].

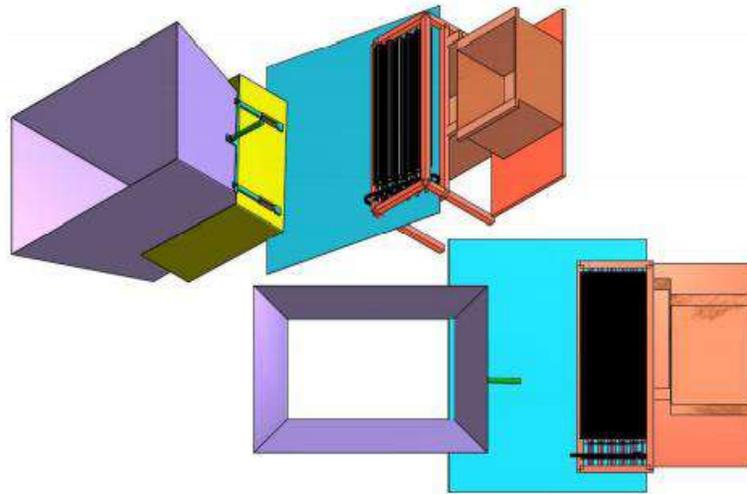


Figura 16. Máquina peladora por Gissele Estefanía Mosquera Campaña [33].

Durante el año 2020, la escuela de ingeniería de manufactura de la Universidad Perlis de Malaysia (UNIMAP), creó un diseño de una peladora de ajos. En el desarrollo del proyecto, observaron la importancia de la actividad de remover la cáscara del ajo para la industria alimenticia. Se estudiaron diversos conceptos de diseño de esta máquina para la actividad ya mencionada, los diseños mecánicos son los siguientes: cilindro rotativo con goma o caucho, por vibración y cilindro rotativo con goma y cepillo. Se creó una sección de calidad para la máquina respecto a las necesidades del cliente mediante el despliegue de función de calidad o por sus siglas en inglés QFD (*Quality Function Deployment*), que transforma las necesidades a deseos de diseño por parte del consumidor. Para la selección de los métodos de diseño, se crearon matrices de los diseños previamente vistos en el que, por forma experimental, se comparan todas las matrices. Al igual que los diseños mecánicos para el pelado, se analizaron diferentes aspectos; método para arrojar las cáscaras fuera de la máquina (soplador o succionador) y el material. Haciendo uso del QFD y los resultados obtenidos de la comparación, se seleccionó el cilindro rotativo con goma y cepillo y se crearon diseños en CAD y una simulación CFD para fluido del aire causado por un soplador para arrojar la cáscara. Para el material se optó por el acero inoxidable para higiene y durabilidad (no se sabe que calibre se utilizó). La máquina realizada en este proyecto llegó a sus resultados esperados con su peso ideal y con la capacidad de remover la cáscara del ajo y arrojándola fuera del contenedor cilíndrico para obtener el producto sin merma [7].

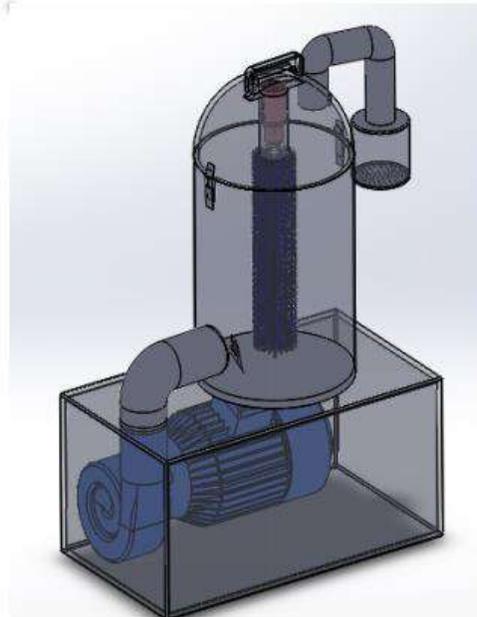


Figura 17. Máquina peladora de ajos creada en la universidad (UNIMAP) [7].

Para el desarrollo del prototipo de una peladora de ajo desarrollado en El Cairo, Egipto en 2017, utilizaron una estructura cilíndrica con un plato rotativo en la parte inferior con bordes trapezoidales distribuidos de manera simétrica angular sobre el plato para crear un empuje circular sobre la materia. En la estructura cilíndrica interna, se ubicó una aleta de manera tangencial en la circunferencia interior de la estructura, haciendo que, golpeteé los ajos al momento de que el disco gire. El prototipo es de dimensiones reducidas, lo que llevó a escoger un motor de taladro para su funcionamiento. Lo que difiere de los otros proyectos, es el cálculo que llevaron a cabo para las dimensiones del ajo promedio y cómo adecuaron esos cálculos hacia el diseño de la máquina para una mejor eficiencia de pelado visto en el análisis del documento. Al igual que estudiaron su dimensionamiento, también se estudiaron las propiedades físicas de los dientes de ajo para comprobar su densidad, masa, diámetro geométrico, entre otras; para un mejor procesamiento de la materia y controlar la velocidad del motor considerando estas propiedades, de esta manera, se evita provocar daño sobre el ajo [34].

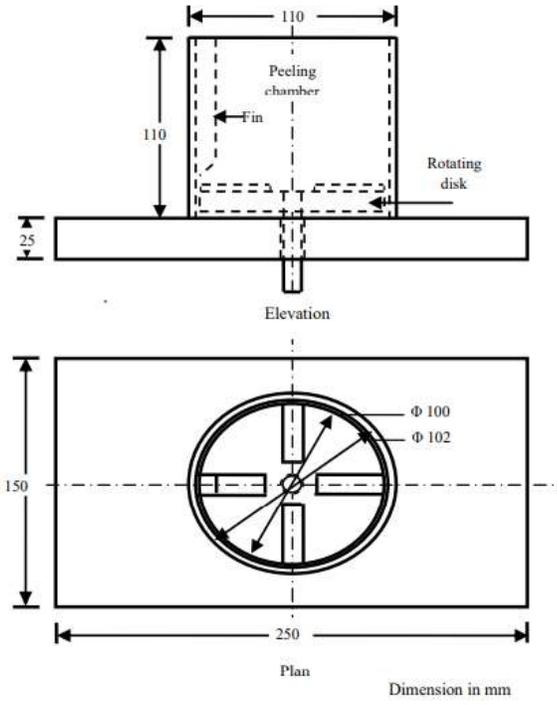


Figura 18. Máquina peladora de ajos realizada en El Cairo, Egipto [34].

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Procesadora de Alimentos (P.A.) de Zacatecas S.P.R. busca nuevas líneas de procesamiento de alimento, de las cuales una está destinada al procesamiento de ajos.

La empresa desea desarrollar una innovación tecnológica mexicana para automatizar la línea de ajos donde actualmente los procesos de pelado de ajo que se tienen en la planta son realizados manualmente

En el desarrollo del proyecto se propone como solución la creación de una máquina peladora de ajo automatizada que cuide las propiedades del producto evitando causar daño sobre éste, cumpliendo con las cuotas del promedio de producción diaria (50 – 70 kg/hora).

El diseño y construcción del prototipo propuesto busca brindar una oportunidad de automatización a los productores de nivel medio y bajo de ajo como la empresa Procesadora de Alimentos de Zacatecas S.P.R. que no cuentan con la tecnología y tienen recursos económicos limitados para adquirir una máquina que remueva la cáscara de los dientes de ajo y obtener un producto procesado con valor agregado conservando sus propiedades nutricionales a un costo más rentable que con las peladoras de ajo comerciales.

V. DESARROLLO DEL TRABAJO

Selección del sistema mecánico para el pelado de ajo

Tabla 2. Métodos mecánicos para el pelado de ajo [7].

Opción	Nombre	Funcionamiento	Imagen
A	Cilindro giratorio con goma	Es un eje con goma alrededor de éste, movido por el torque de un motor ya sea conectando el eje a la flecha del motor o por transmisión, por medio de contacto desprende la cáscara del ajo.	
B	Cilindro giratorio con cepillo	Es un eje con cepillos alrededor de éste, movido por el torque de un motor ya sea conectando el eje a la flecha del motor o por transmisión, por medio de contacto desprende la cáscara del ajo.	
C	Centrifugado en Seco	Proceso en seco donde se dan cientos de vueltas por minuto, las cuales logran desprender las frágiles capas de los ajos	
D	Centrifugado mojado	Este proceso incluye el agua en el centrifugado, la cual permite desprender con mayor facilidad las cáscaras o piel de los ajos.	

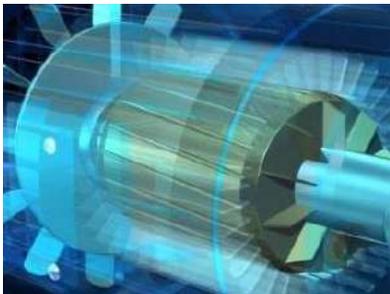
E	Vibración	Se introduce un volumen de ajo bajo y se somete a vibración para provocar un golpeteo y fricción.	
F	Aire comprimido	Se recibe una porción de ajos y se libera aire comprimido, desprendiendo al instante las cáscaras de los dientes ajos por el principio de aire caliente.	

Tabla 3. Tabla de pertenencia de la selección del sistema mecánico de pelado (Elaboración propia).

Factores	Peso Relativo (%)	Alternativas (opciones)					
		A	B	C	D	E	F
Costo	20%	10	10	8	7	8	9*
Eficacia	25%	8	9	9	10	8	9.5
Volumen	15%	9.5	9.5	9	9	8	8
Condiciones de operación	15%	8	8	9	9.5	8	9.5
Requerimientos	25%	7	9	8	9	7	9
Puntuación total		8.38	9.13	8.55	8.93	7.75	9.05

Como se observa en la *Tabla 3* se emplearon 5 criterios básicos para la selección del **Sistema mecánico de pelado**, con una ponderación para los factores del 0-10, considerando 10 como mayor, y haciendo una suma con los pesos relativos (en

porcentaje) para obtener la puntuación total con una calificación de 10 como máximo. Los factores con mayor peso relativo son el costo y los requerimientos del cliente con 25%, le sigue el costo con un peso del 20% y posteriormente las condiciones de operaciones y el volumen de producción con un peso del 15%.

Al obtener la sumatoria total, los métodos con mayor calificación y que mejor se adecuan para los objetivos del proyecto son las opciones B y F, que corresponden al *cilindro giratorio con cepillo y aire comprimiendo*, por lo que se diseñó un sistema combinado usando estos dos.

*Nota: Se destaca que la empresa P.A. cuenta con un compresor, que se emplea en la parte del proceso de aire comprimido, favoreciendo a omitir el costo del proyecto.

Diseño conceptual

Diagramas IDEF0

Con el sistema mecánico seleccionado se procedió a realizar los diagramas IDEF0 empleados en la metodología de diseño mecatrónico para identificar y representar de manera estructurada los procesos y objetos que interactúan en el funcionamiento de la máquina.

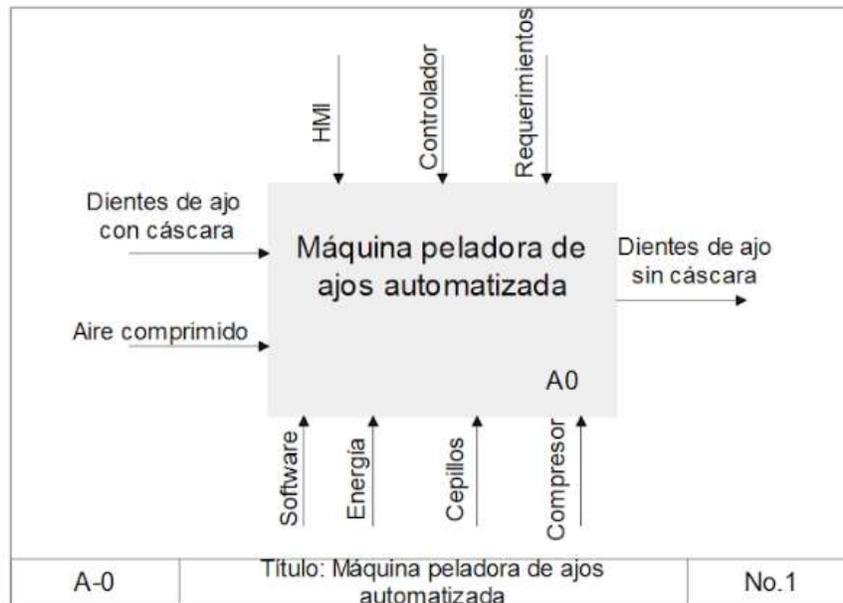


Figura 19. Diagrama A-0 Máquina peladora de ajos automatizada (Elaboración propia).

En la Figura 19 está representado el diagrama A-0, en la parte izquierda se tienen las entradas de la máquina que son los dientes de ajo con cáscara y el aire comprimido suministrado por el compresor, en la parte derecha se tiene como salida el producto final que son los dientes de ajo con la cáscara removida. En la parte superior están los objetos de control que regulan la ejecución del proceso donde se incluye la interfaz humano-máquina, el controlador de la máquina y los requerimientos planteados por el cliente. En la parte inferior están los mecanismos que permiten funcionar la máquina: software, energía, cepillos y compresor.

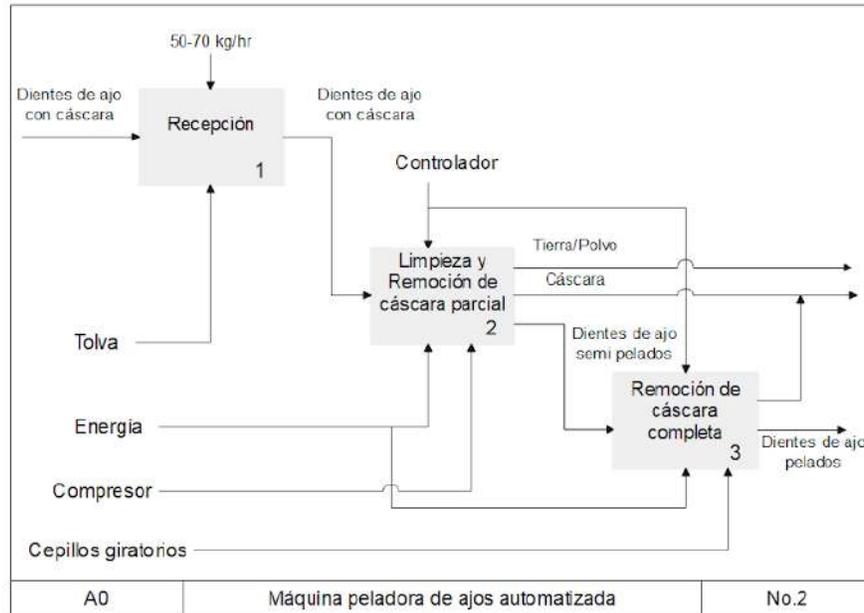


Figura 20. Diagrama A0 Máquina peladora de ajos automatizada (Elaboración propia).

En la Figura 20 con el diagrama A0 se describen los procesos de la máquina:

1. Recepción: Se regula y dosifica la entrada de los dientes de ajo con cáscara que ingresan a la máquina a través de la tolva.
2. Limpieza y remoción parcial de la cáscara: con el sistema mecánico de aire comprimido se realiza una limpieza de los dientes de ajo y la primera pasada de remoción de cáscara.
3. Con los cepillos giratorios se remueve por completo la cáscara para obtener los dientes de ajo pelados.

Primer diseño conceptual

Consideraciones:

- Adaptación a la producción de la línea (tolva de entrada).
- El alimento viajará por gravedad.
- Sistema mecánico seleccionado (sistema combinado de cilindro giratorio con cepillo y aire comprimido).
- Distribución de sensores (espacio para cableado).
- No lastimar los dientes de ajos.
- Extracción y almacenamiento de la cáscara restante/polvo.

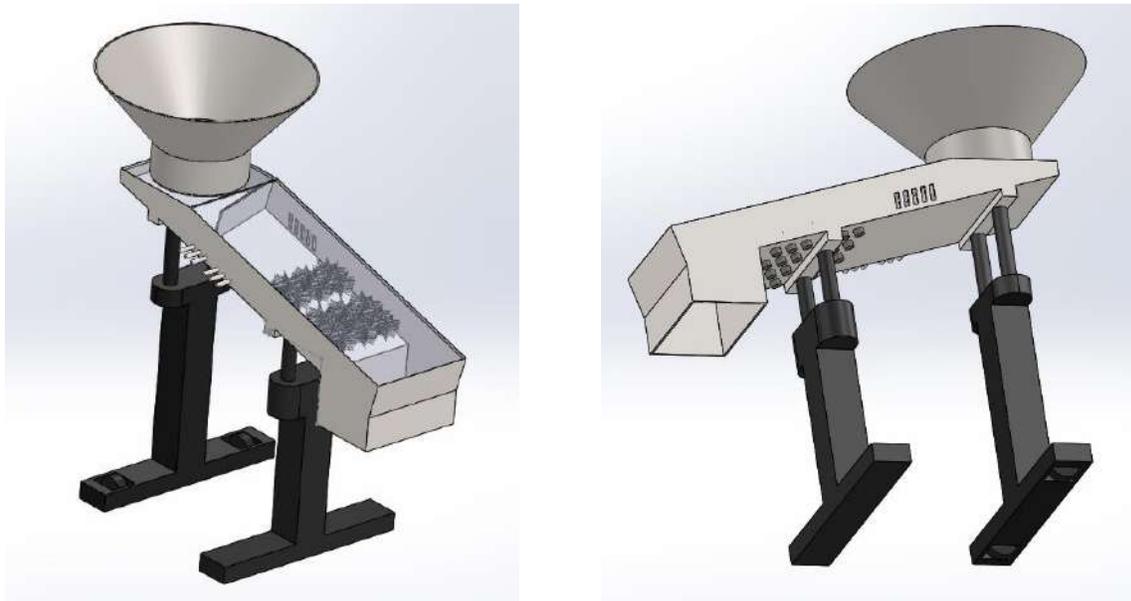


Figura 21. Vista de la primera versión del diseño conceptual.

La primera versión del diseño conceptual consiste en la máquina peladora que se adapta a la línea de producción que se tiene en la empresa Procesadora de Alimentos de Zacatecas. En este diseño la máquina dispone de una tolva que introduce a los ajos a 2 etapas. La primera etapa consiste en una rampa interna que direcciona a los ajos a las salidas de aire comprimido producidas por un compresor que dispone la planta. En la segunda etapa, después de haber pasado por el aire a compresión, el aire y cáscaras removidas en la primera etapa pasan por las escotillas del extremo derecho y los ajos por gravedad avanzan a los cepillos, al finalizar los ajos caen en un recipiente ya pelados. Sin embargo, se tuvieron observaciones en este diseño que se detallan a continuación.

Modificaciones Diseño 2:

- Altitud de ducto para tolva.
- Etapa adicional de cepillos giratorios.
- Base modificada (PTR cal 20).
- Ubicación para motor extractor.
- Conductos de aire.

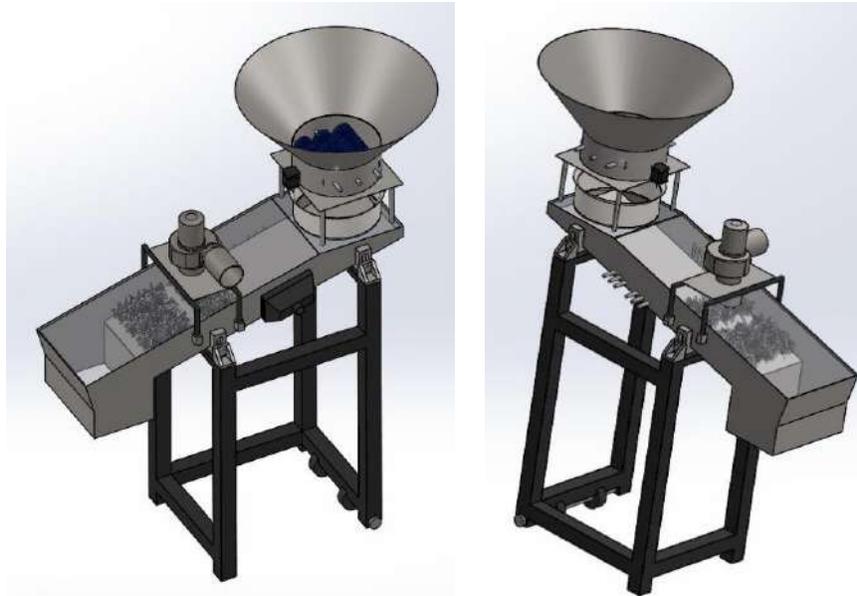


Figura 22. Diseño conceptual con modificaciones y mejoras.

En esta segunda versión, se pueden observar los componentes adheridos en el modelo. En la entrada se modifica la tolva para que los ajos caigan durante cierto periodo de tiempo y puedan tomar el golpe de caída a una distancia mayor después de haber pasado por el filtro de los cepillos integrados en la tolva. En la primera etapa se removió la rampa direccionadora, se insertó un empaque en las escotillas y se ubicó en la segunda etapa un extractor para las cáscaras removidas durante esta etapa gracias a la matriz de cepillos. De igual manera se cambió la base a PTR calibre 20.

Modificaciones Diseño 3:

- Base modificada (PTR cal 14).
- Llantas
- Tapones antiderrapantes.
- Manijas.



Figura 23. Diseño conceptual versión 3 con modificaciones y mejoras.

Diseño detallado



Figura 24. Diseñado detallado.

Diseño mecánico

Para el diseño mecánico se realizaron los cálculos de cargas y selección de los materiales, simulaciones y análisis de esfuerzos de los elementos mecánicos, así como síntesis de mecanismos.

Selección de materiales

Para la selección de los materiales, se investigaron en los manuales de procesos de producción de comida, como lo son *Food and Drugs* de los Estados Unidos de América y el manual de la Secretaría de Salud, quienes, por recomendación, solicitan usar dos aceros inoxidable de calibre 304 y 316 para todo proceso que tenga algún contacto con la materia alimenticia [10].

Acero inoxidable 304: Es comúnmente utilizado en el sector de la industria alimentaria debido a su resistencia a la corrosión, su facilidad para moldear y soldar, al igual que el acero 316. Estos aceros no expulsan partículas que puedan contaminar a los alimentos al usar químicos para su limpieza. A pesar de las similitudes que se tiene con las propiedades del acero inoxidable 316, el precio del 304 es más accesible, por lo que, se decidió utilizar el acero inoxidable 304.

Elementos mecánicos

- Tolva

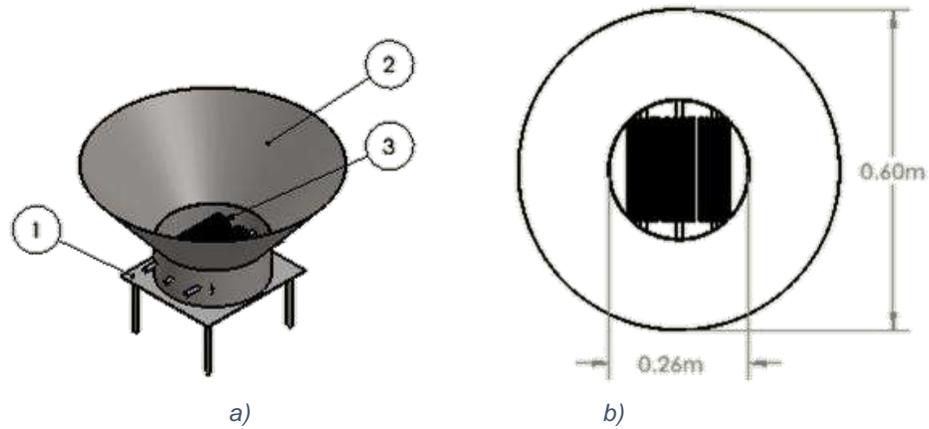


Figura 25. Diseño de la tolva. a) Componentes. b) Vista superior.

La tolva es la entrada de la materia prima. Se tienen 3 elementos que integran al ensamble de la entrada.

Tabla 4. Componentes de la tolva.

No. de componente	Nombre del componente
1	Tolva
2	Cepillos horizontales
3	Base de tolva.

La tolva actúa como primer filtro para la remoción de las cáscaras y crear un desfase de tiempo para la entrada del ajo. Al recibir cierta cantidad en kg de ajos, los cepillos giran en diferentes direcciones y revoluciones para provocar una entrada forzada, de esta manera, los ajos desprenden una cantidad mínima de cáscara.

- Cajón/rampa

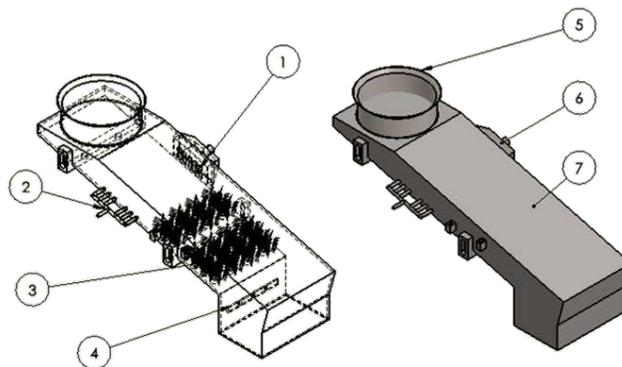


Figura 26. Rampa con sistemas para la remoción de la cáscara.

Tabla 5. Componentes de la rampa.

No. de componente	Nombre del componente
1	Escotillas superiores
2	Tuberías de entrada para del aire a compresión
3	Cepillos
4	Escotillas inferiores (extracción)
5	Estructura de ducto
6	Cople de extracción de escotillas superiores
7	Estructura de cajón rampa

Desde el ducto, hasta la salida de la rampa, los ajos avanzan por gravedad pasando por dos etapas. Se tiene integrada en la rampa escotillas y mangueras para dirigir las cáscaras a un recipiente donde son almacenadas hasta cierto número de ciclos dependiendo de la cantidad insertada por el operador en la interfaz. También, dispone de las entradas de aire a compresión que ayudan al flujo aire interno de la estructura.

Dentro de la metodología de operación de removedor de cáscaras para los ajos, se determinó, que los mejores procesos son los rodillos con cepillos y una etapa de remoción con aire comprimido, el aire comprimido se obtiene por un compresor Carroll. La tecnología que se definió para usarse en los cepillos es la fibra sintética de Nylon, son accesibles y económicos, poseen rigidez media para no lastimar los dientes de los ajos, y tienen resistencia a la corrosión.

- Compresor



Figura 27. Compresor CARROLL.

Se utiliza el compresor de aire CARROLL (es el compresor con el que cuenta la empresa P.A.) para generar aire a compresión dentro de la rampa. La salida del compresor está conectada a un acoplador que dirige el aire a compresión a los 3 ductos de la rampa. Sus características son:

- Motor monofásico de 1HP 110/220 V.
- Presión máxima 115 PSI | 0.8 MPa
- Caudal de salida de 184L/min.

- Sistema de extracción de cáscaras

Con base en los resultados de la sección de [Pruebas experimentales](#) para la parte de extracción donde se experimentó con una aspiradora comercial de 400 W y su efectividad para succionar las cáscaras de ajo y dejar caer los dientes de ajo. Se seleccionó la aspiradora comercial WD-2.5 K que cuenta con un motor de 1.75 H.P. (1305 W), es decir, una potencia 3 veces mayor que con la aspiradora con la que se realizaron las pruebas. Para prevenir y evitar atascos en el sistema de la aspiradora por las cáscaras de ajo, se acoplará un separador ciclónico para que las cáscaras no se almacenen en el depósito de la aspiradora, sino que lleguen a un recipiente aparte, con este sistema además de evitar el atasco, será más fácilmente vaciar el recipiente una vez que esté lleno de cáscaras.



Figura 28. a) Aspiradora WD-2.5 K b) Separador ciclónico

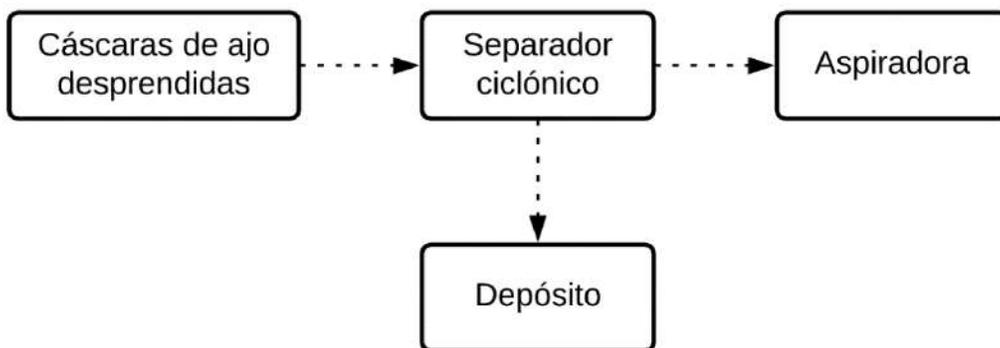


Figura 29. Diagrama sistema de aspirado de cáscaras (Elaboración propia).

En el apartado [Anexo IV. Hojas de datos y especificaciones de componentes seleccionados](#) se pueden consultar a detalle las características de la aspiradora.

- Gabinete

El gabinete aloja en su interior la interfaz, el controlador, los componentes de alimentación y acondicionamiento de señales. Se compró y se instaló el gabinete en base a las condiciones favorables del operador, además, es montable/desmontable mediante escuadras esquineras metálicas galvanizadas, cuenta con salidas para la alimentación y los puertos Entrada/Salida de Propósito General (GPIO) del controlador.

Para una ubicación óptima de la interfaz en la máquina, para la manipulación adecuada del operador, según el Manual de Ergonomía del Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV) se tiene que para un movimiento de flexión y extensión de cabeza y cuello un ángulo de -40° desde una posición recta del cuerpo como se puede apreciar en la siguiente Figura 30. Posturas de cabeza y cuello para interfaz. a) Aceptable b) No recomendable .

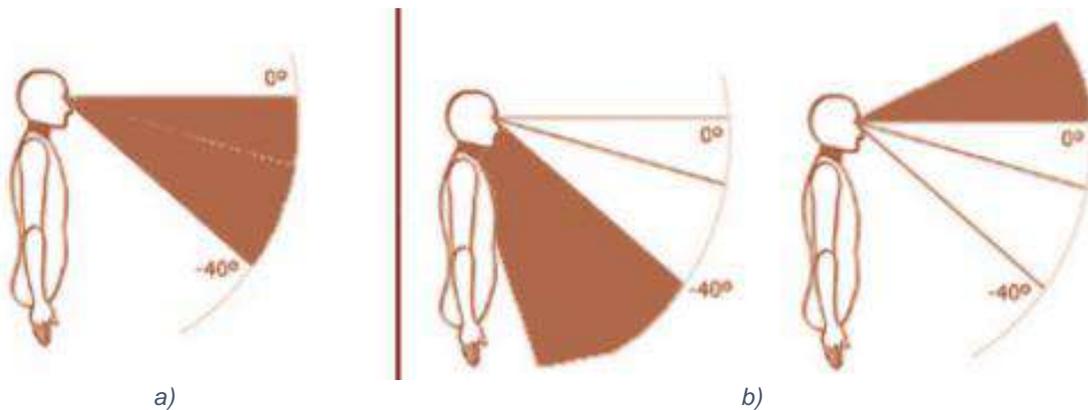


Figura 30. Posturas de cabeza y cuello para interfaz. a) Aceptable b) No recomendable .

Además del ángulo para manipular la interfaz de la máquina, también se requiere de un margen de trabajo, la distancia máxima de trabajo con extensión de brazos es de un radio de 60 cm y un mínimo de 40 cm .

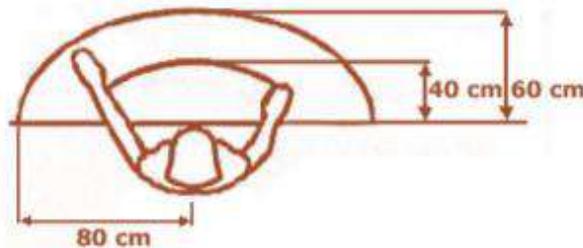


Figura 31. Zonas del alcance recomendadas .

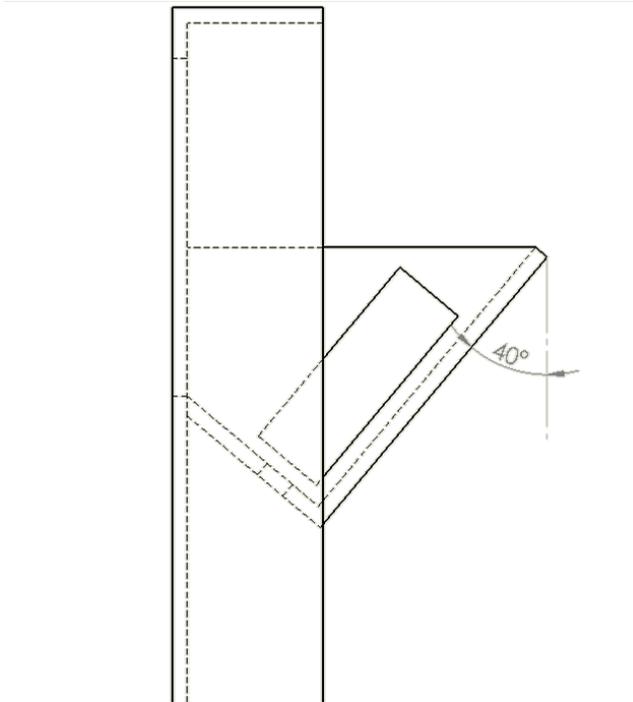


Figura 32. Vista lateral , se coloca la interfaz a 40°.

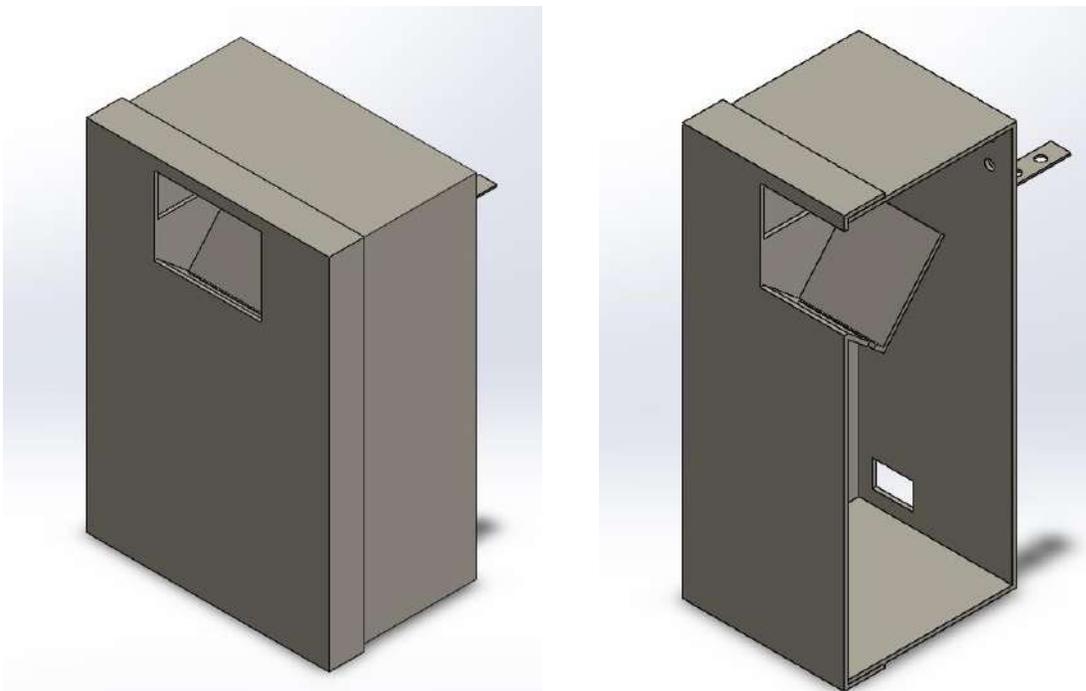


Figura 33. a) Gabinete (Izquierda) b) Viste de sección plano lateral (Derecha).

Se puede observar en la Figura 32 que existe un compartimiento angulado de la compuerta. La base de la interfaz se encuentra a 40°, de esta manera, la visualización ergonómica será más sencilla de implementar para el operador.

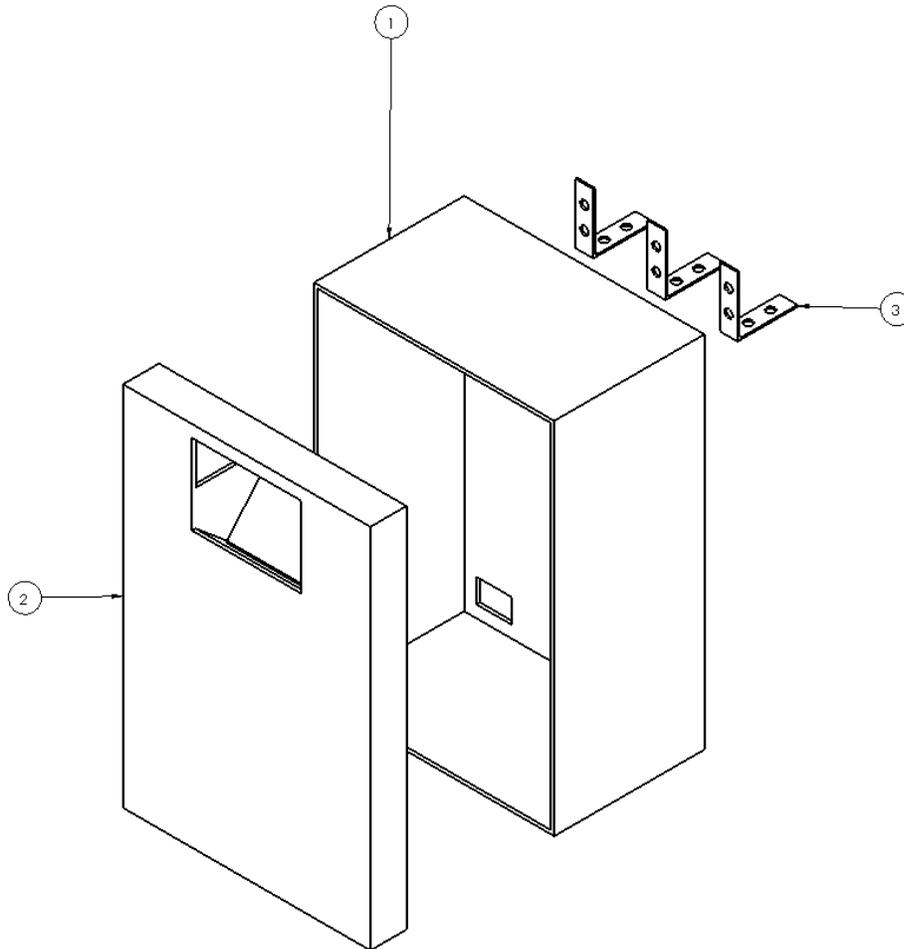


Figura 34. Vista explosionada del gabinete.

En este gabinete se tienen los siguientes componentes:

1. Caja del gabinete, que contiene una entrada y salida para el cableado eléctrico.
2. Puerta y base de la interfaz.
3. Escuadras para el desacople o ajuste.

- Base

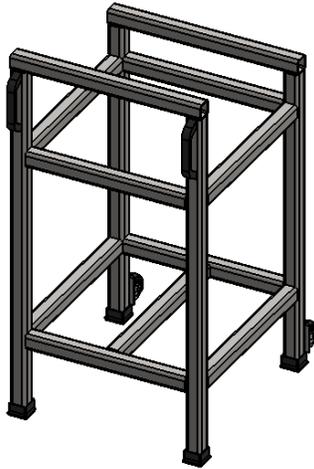


Figura 35. Base estructural soldada vista isométrica.

La base estructural se compone de un ensamble de 5 elementos.

- Manija.
- Llantas.
- Tapón cuadrado (regatón).
- PTR calibre 14 con exteriores de 40 mm x 40 mm.

De la Tabla 1 en el apartado [8 Diseño Ergonómico](#) del Marco Teórico, se indica la estatura promedio del mexicano y las dimensiones de sus extremidades según el *Estudio antropométrico de la población mexicana masculina laboralmente productiva* realizado por el Instituto Politécnico Nacional, por lo que, gracias a esta tabla se puede establecer un estudio ergonómico para la carga de la máquina al momento de desplazarla. A continuación, se presentan los ángulos correctos para las actividades descritos en el Manual de Ergonomía del Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV) .

De igual modo, una actividad de carga puede llegar a ser peligrosa si no se posiciona adecuadamente a la actividad por lo que se recomiendan posturas para evitar el daño al operador, este estudio se determina como un diseño ergonómico de posicionamiento.

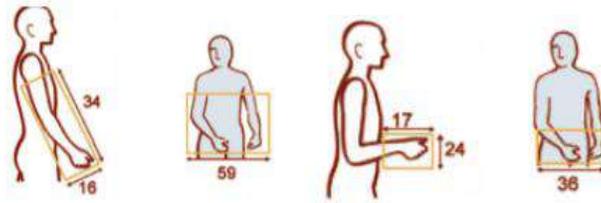


Figura 36. Posición de carga correcta.

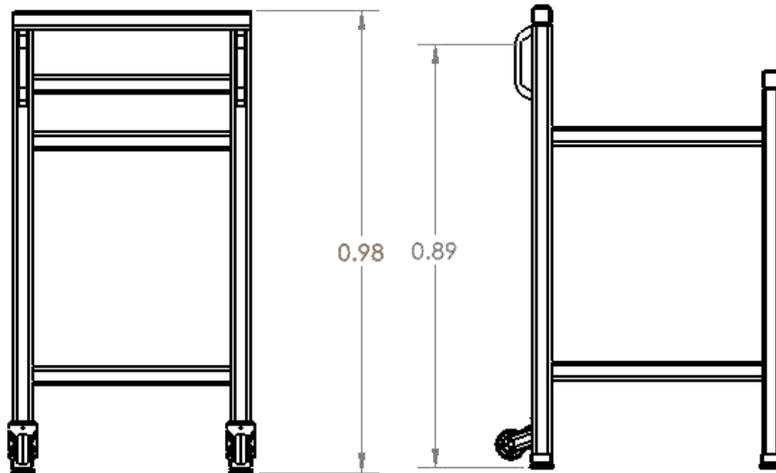


Figura 37. Base estructural soldada vista frontal y lateral.

Como se puede observar en la base estructural por piezas soldadas, se tiene una altura de 98 cm. Los estudios realizados y analizados del posicionamiento ergonómico para carga indican que la altura indicada para cargar desde una posición de entre el trasero y la cintura, es decir, la zona pélvica, debe tener un valor de distancia longitudinal de 76.81 cm a 85.37 cm. Estos valores fueron obtenidos de la Tabla 1 a partir del promedio realizado de las partes indicadas en el texto.

Cálculo de fuerzas para el análisis mecánico de la base

Se obtuvieron las masas de los elementos de la máquina con la herramienta del software con licencia SolidWorks *Propiedades Físicas* de la pieza.

$$m_{Total} = m_{cajón} + m_{tolva} + m_{actuadores} + m_{sensores} + m_{ajo} + m_{soportes} \quad (1)$$

Donde:

- m_{Total} Masa total de la máquina excluyendo la base.
- m_{tolva} Masa de la tolva por donde ingresan los dientes de ajos.
- $m_{cajón}$ Masa del cajón/rampa.

- $m_{actuadores}$ Masa de actuadores (motores).
- $m_{sensores}$ Masa de sensores.
- m_{ajo} Masa del ajo.
- $m_{soportes}$ Masa de los elementos de sujeción

$$F = m_{Total} * a \quad (2)$$

Donde:

- m_{Total} Masa total de la máquina excluyendo la base. 81.02 kg
- a Aceleración: gravedad $9.81 \frac{m}{seg^2}$

$$F = 81.02 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{seg^2} = \mathbf{784.8 \text{ N}} \quad (3)$$

Selección de las bandas

La selección de una banda para un sistema de transmisión de poleas está dada por un eje de 5/8" que corre a 1740 rpm conducida por una potencia de 1 HP. Se requiere que el eje de los cepillos con un diámetro de 0.45 in gire a 600 rpm con base en los resultados obtenidos y analizados de [Pruebas experimentales](#). Planteando la suposición que el motor trabaja de entre 8-20 horas diarias, se necesita un servicio continuo y un factor de seguridad (F.S.) de 1.3.

Entonces teniendo un F.S. de 1.3 y un valor de 1 HP. Se obtiene un HP de diseño por el factor de seguridad con un valor de 1.3 HP.

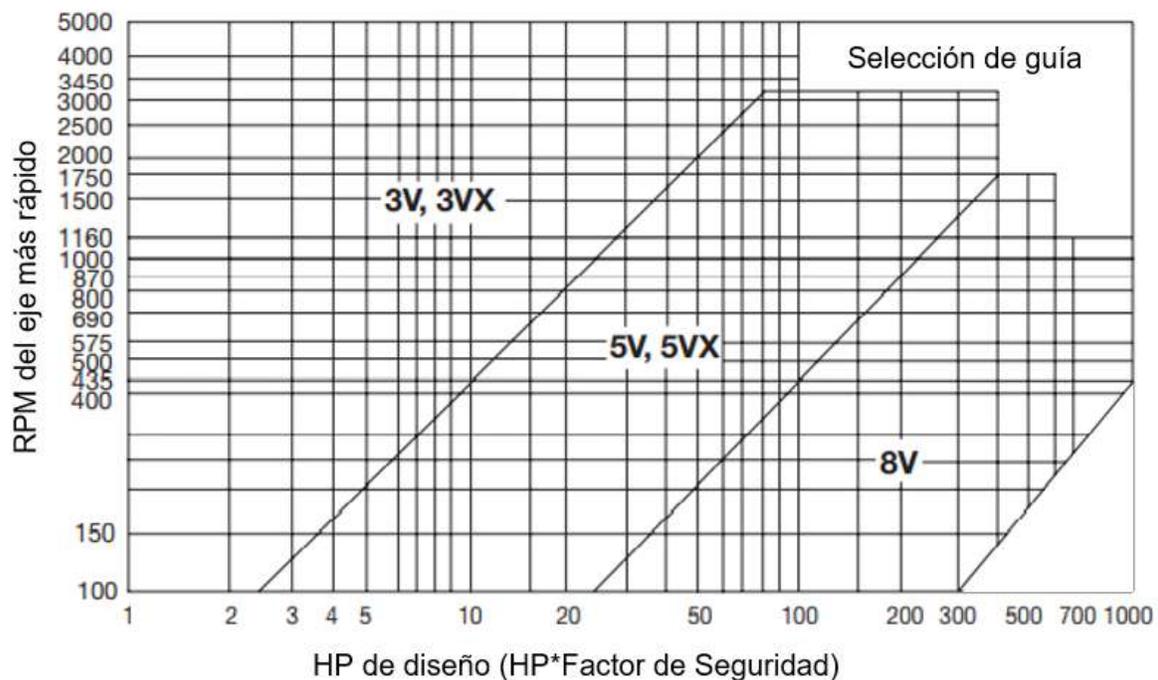


Figura 38. Selección de guía para correa con valores iniciales (rpm y HP).

Desde la guía de selección del catálogo de Dodge 2010, se puede apreciar que la guía más apropiada para el sistema de transmisión es una banda D-V 3V, 3VX.

Desde la conducción deseada se tiene que se requiere una reducción de rpm de 1740 a 600, por lo que se tiene una relación de transmisión que da como resultado:

$$\eta = \frac{1740}{600} = 2.9 : 1$$

Respecto a la relación de transmisión, se selecciona el tamaño de las poleas. Desde la tabla de selección 3VX del catálogo de Dodge se tiene que:

Tabla 6. Selección de diámetros por relación de velocidad .

Relación de velocidad	Stock de poleas		1750 RPM del motor		Factor de Corrección
	Diámetro		RPM conducido	HP/Correa 3VX	
	Polea guía	Polea conducida			
2.89	2.8 in	8 in	605	2.71	0.96

Por medio de la tabla se verifica el cambio de velocidad deseada, también se declaran los diámetros necesarios de las poleas y el HP de la correa. Con el factor de corrección, se define el HP de la correa corregida y de este modo se puede determinar el número de bandas.

$$HP \text{ corregida} = HP \text{ correa} * \text{Factor de corrección} = 2.71 \text{ HP} * 0.96 = 2.6 \text{HP} \quad (4)$$

Con el HP de diseño y el HP de la correa es capaz de soportar, se establece el número de correas necesarias para que la transmisión resista.

$$No. \text{ de correas} = \frac{HP \text{ diseño}}{HP \text{ correa}} = \frac{1.3}{2.6} = 0.5 \approx 1 \quad (5)$$

Solo se requiere una correa para resistir la transmisión. Posteriormente, se hace una selección de cierres cónicos (*taper-locks*) para la adecuación de dimensiones de poleas desde la tabla PT7-2 con un número de correas de 1 (1-groove).

Tabla 7. Selección de Taper-Locks .

Taper-locks con 1-correa (1 groove)			
Diámetro	Número de parte	Descripción	Tipo
2.8 in	112125	1/3V2.8–1108	B1
8 in	112008	1/3V8.0–2517	B1

Selección de tren de engranajes

La selección de una cadena para un sistema de transmisión de un tren de engranajes está dada por un eje de 5/8" que corre a 1740 rpm conducida por una potencia de 1 HP. Se quiere que el eje de los cepillos con un diámetro de 1/2" gire a 600 rpm. Suponiendo que el motor trabaja de entre 8-20 horas diarias, se necesita un servicio continuo, una distancia entre centros de 25.3 cm y un factor de seguridad (F.S.) de 1.3.

Ya se tiene la relación de transmisión que se necesita de los cálculos anteriores:

$$\eta = \frac{1740}{600} = 2.9 : 1$$

Se hace una selección del piñón y el engrane por medio del mismo catálogo de las selecciones anteriores.

Tabla 8. Selección de piñón por rpm de motor .

Rpm del motor	Selección de piñón	
	Paso	No. Dientes
1740 rpm	40	17

Se multiplica el número de dientes del piñón por la relación de velocidad para obtener las especificaciones del engrane.

$$\text{Dientes de engrane} = \text{No. dientes} * \text{relación de velocidad} = 17 * 2.9 = 49.3 \approx 50 \quad (6)$$

De la tabla PT14-31 del catálogo Dodge , se obtienen las dimensiones del piñón y el engrane.

$$D = 5.972 \text{ in (engrane).}$$

$$d = 2.041 \text{ in (piñón).}$$

Teniendo las dimensiones de componentes del tren, tan solo hace falta definir la longitud de la cadena:

$$L = 2(\text{distancia entre centros} = c) + (D + d) + \frac{(D + d)^2}{4(c)} = \mathbf{33.896337 \text{ in}} \quad (7)$$

Simulaciones

Análisis estático

Para el análisis estático, se creó un estudio en las barras superiores de la base para observar el comportamiento al momento de soportar el peso de la rampa y de sus componentes adheridos. Para este estudio, se utilizó SolidWorks con operaciones de extrusión de piezas, donde, se creó una estructura sólida que posteriormente se ahuecó por medio de operaciones de corte. Antes de empezar con el análisis se obtuvo un promedio del peso de los componentes que irían arriba de la base.

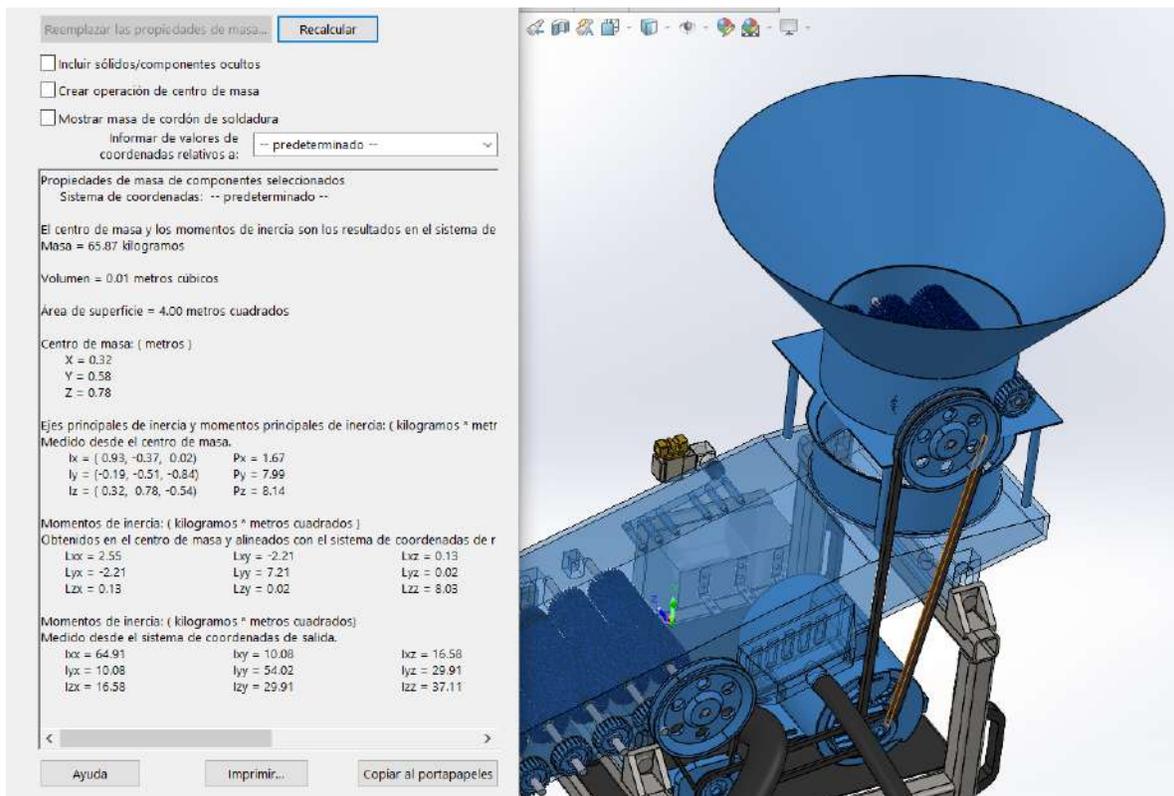


Figura 39. Cálculo de la masa que sostendrá la estructura.

Al tener en cuenta el peso promedio que se obtuvo en la pestaña “calcular”, en operación de propiedades físicas, se puede determinar la masa de los elementos al asignarles el material, en este caso, el acero inoxidable 304.

Estos resultados obtenidos del análisis, explican que la estructura con las cargas aplicadas a ésta, no falla. Se tiene un factor de seguridad mayor a 1 y el esfuerzo de Von Mises, esto indica que está relativamente muy por debajo de su máxima tensión y puede soportar la carga sin falla alguna.

Se creó una nueva estructura a partir de las operaciones de miembro estructural de SolidWorks utilizando nodos y grupos para la formación de marcos y piezas soldadas. En esta estructura, se utilizaron barras tubulares tipo cuadradas de un tamaño de 1 ½” y de la misma manera se le asignó el mismo material que el de la primera estructura y de la máquina.

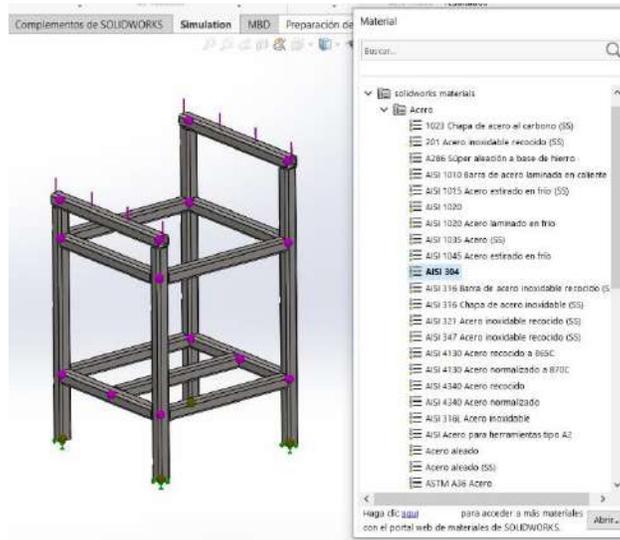


Figura 40. Selección de acero AISI inoxidable 304.

Una vez creada la estructura, se asignan las restricciones y cargas al estudio, puntos de geometría fija y cargas en las barras como se hizo en la primera simulación.

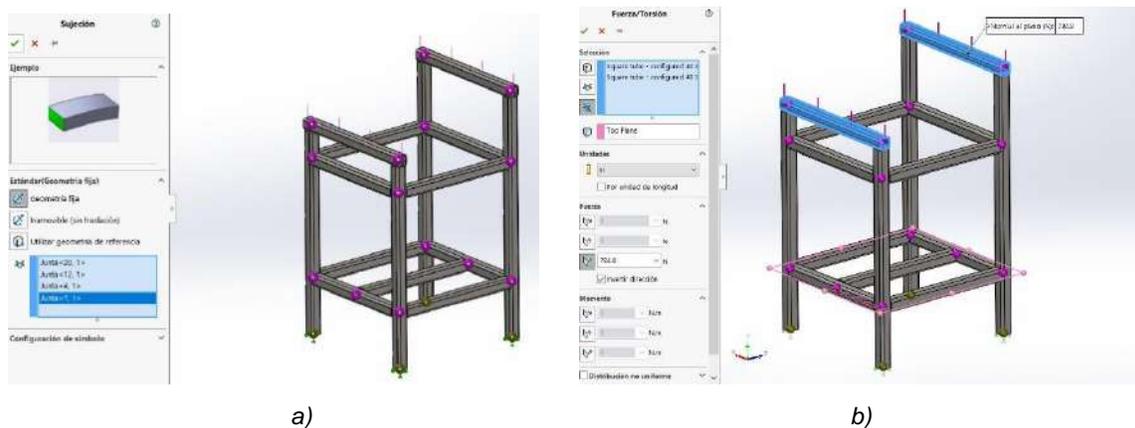


Figura 41. a) Puntos de geometría fija. b) Carga total de 784.8 N en barras superiores.

Al formar la discretización de la estructura soldada, se ejecuta el análisis con la misma selección de material y la fuerza que se obtuvo en la ecuación (3). Se obtiene lo siguiente:

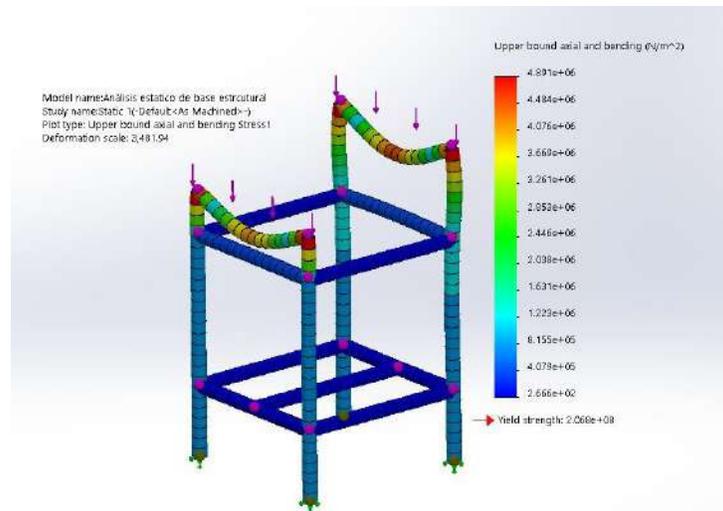


Figura 42. Límite superior axial y de flexión de estructura soldada.

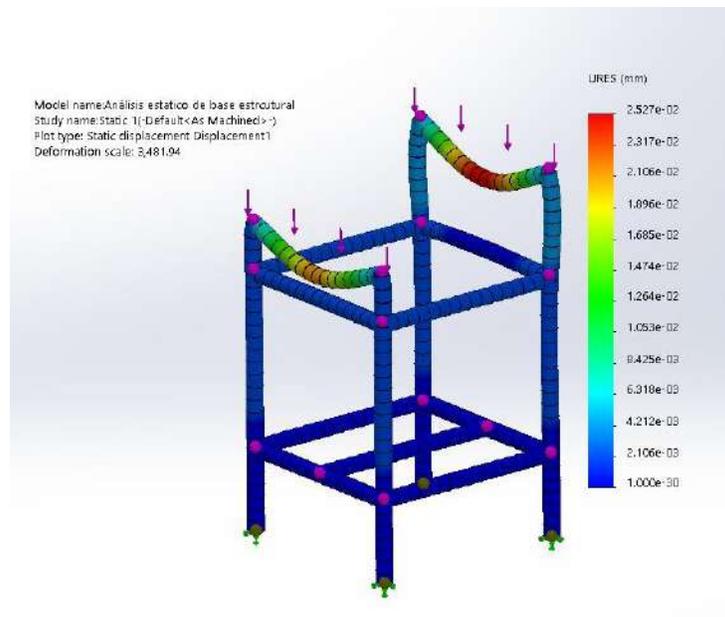


Figura 43. Resultado de desplazamiento de estructura soldada.

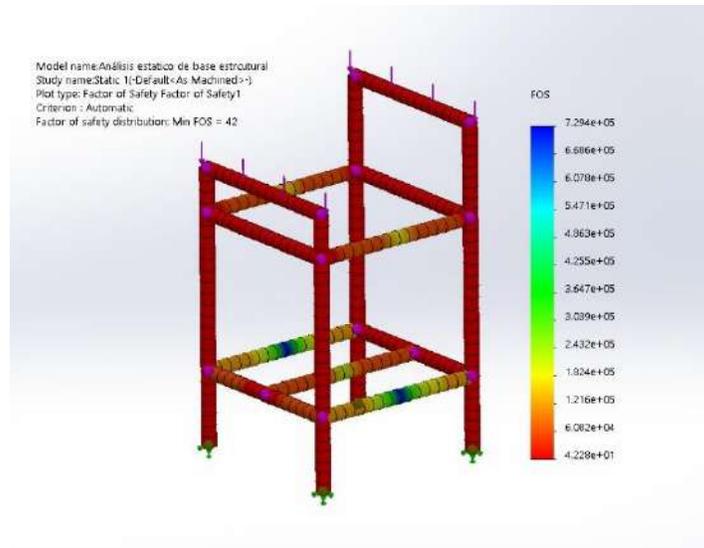


Figura 44. Factor de Seguridad en la estructura

Como comparación entre los dos análisis estáticos, se observa que no existe una gran diferencia, comparten casi los mismos valores en desplazamiento y factor de seguridad, sin embargo, el análisis más realista es el de una estructura soldada, donde se obtuvo un factor de seguridad mayor al del primer diseño. En la Tabla 9 se muestran los resultados de los análisis.

Tabla 9. Resultados de análisis estáticos de estructuras (Elaboración propia).

Diseño	Estructura soldada
Desplazamiento máximo	0.025 mm
Von Mises máximo	4.09 MPa
Factor de seguridad mínimo	42.28

Análisis de flujo

Se analizó el comportamiento y efecto del flujo interno del aire comprimido suministrado por el compresor dentro del cajón de la máquina y el efecto de la aspiradora mediante el complemento de *Flow Simulation* del software con licencia SolidWorks.

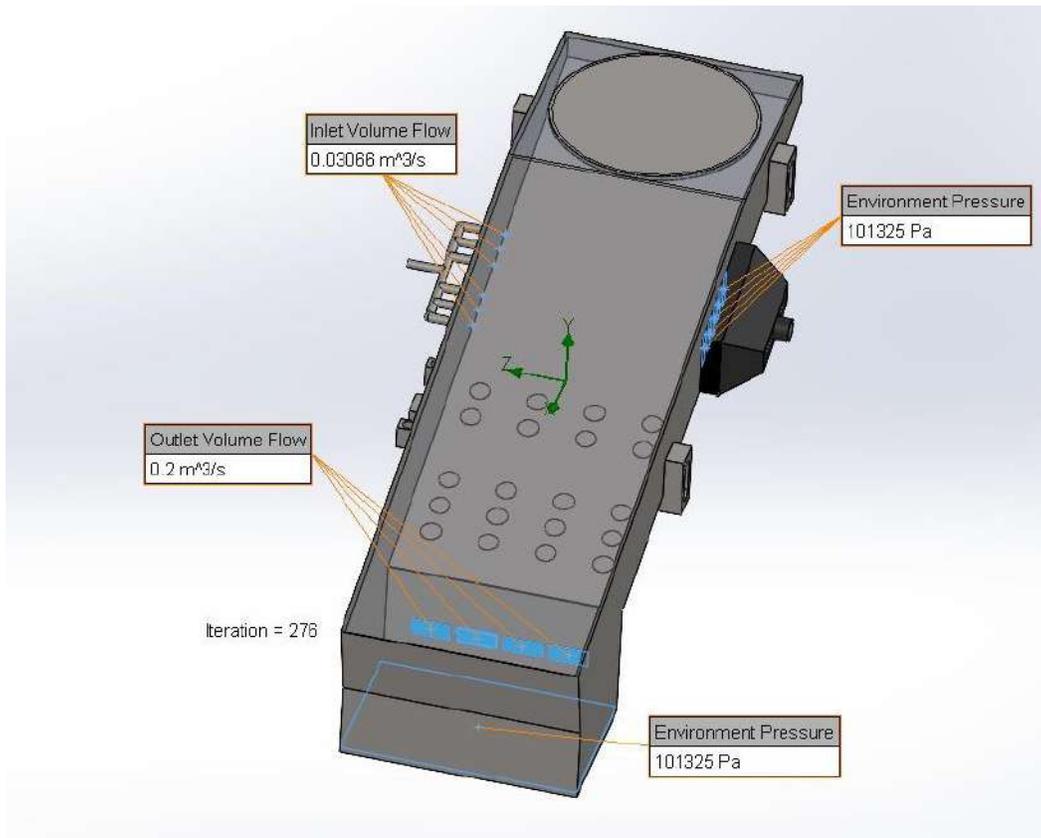


Figura 45. Condiciones de frontera de las entradas y salidas de flujo.

Se definieron las condiciones de frontera como se muestra en la Figura 45, primero se seleccionaron los conductos por donde ingresa el aire proporcionado por el compresor y se asignó como *Inlet Volume Flow* con un flujo volumétrico de entrada de $0.03066 \frac{m^3}{s}$ que se obtuvo del caudal nominal del compresor, después se seleccionaron las tapas de salida y se asignan como *Environment Pressure* ya que estas salidas se encuentran expuestas a una presión ambiental de 101325 Pa, posteriormente se asignó como *Outlet Volume Flow* el flujo volumétrico de salida en las compuertas donde se conectará la aspiradora para extraer las cáscaras removidas, con un valor de $0.2 \frac{m^3}{s}$ que se obtuvo del caudal nominal de la aspiradora.

Se ejecutó el estudio y se consiguieron los siguientes resultados:

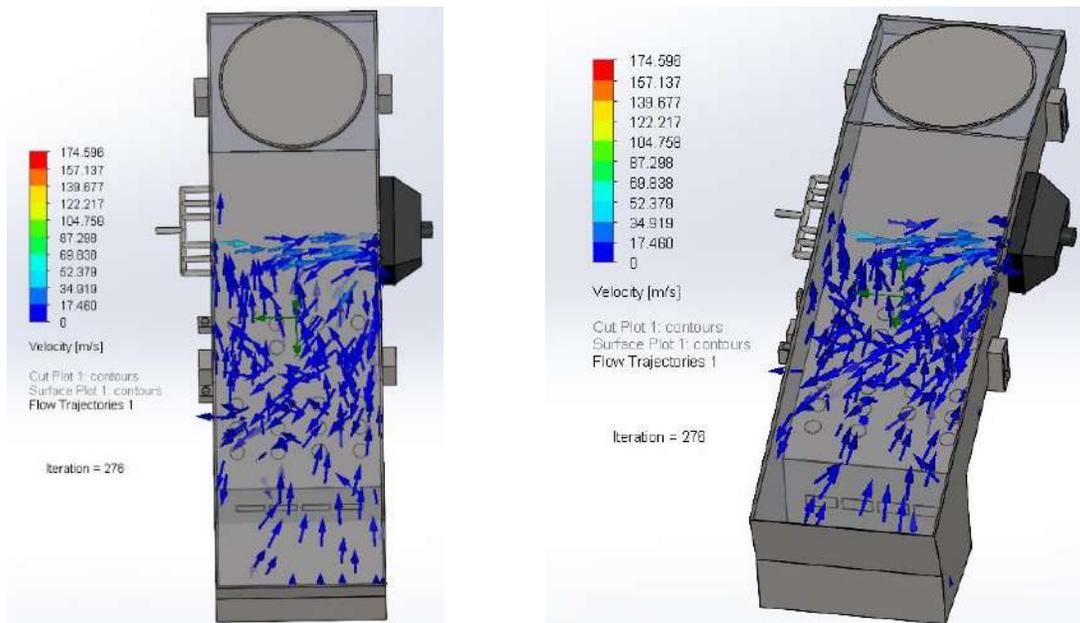


Figura 46. Resultado de velocidad del flujo.

En la Figura 46 se observa la distribución y dirección de la velocidad del aire en el cajón con valor promedio de $17.46 \frac{m}{s}$, alcanza valores máximos de 34.91 a $52.37 \frac{m}{s}$ en la salida de los conductos por donde sale el aire comprimido, lo que es adecuado ya que es el lugar donde los dientes de ajo ingresan y pasan por el proceso de limpieza y pelado inicial. También se observa cómo el aire se libera más por el conducto de ventilación que con el flujo volumétrico en las ventanillas de extracción, este resultado es apropiado ya que la función de éste es extraer las cáscaras removidas y no el aire del compresor.

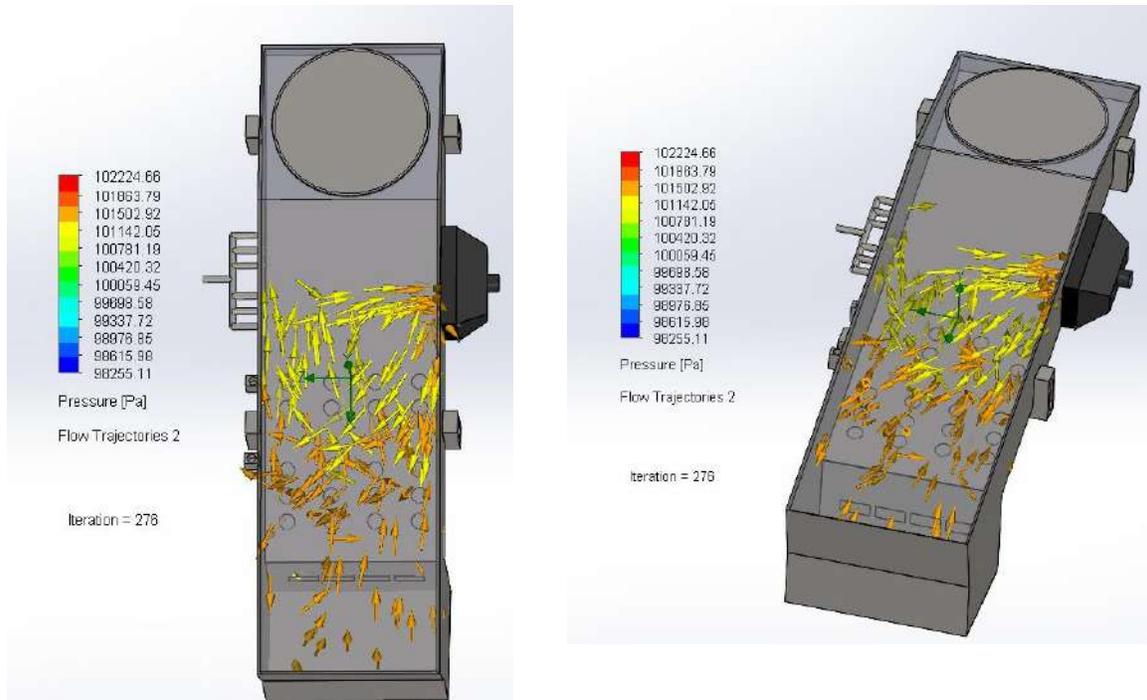


Figura 47. Resultado de presión.

En la Figura 47 se observa el resultado de la presión de la simulación del flujo de aire, al encontrarse en valores de 101,247 a 101,967 Pa, es un rango que entra dentro de la presión ambiental 101,325 Pa, por lo que se concluye que la presión no afecta negativamente en el funcionamiento de la máquina.

Diseño de control

El control que integrará la máquina es Todo/Nada, los actuadores únicamente se encenderán y apagarán con base en la lectura de los sensores, ya que el proceso es secuencial y está dividido por etapas como se explica en la Figura 20 del apartado de [Diseño conceptual](#), donde se realiza un proceso cuando el anterior es ejecutado. Se tienen las siguientes consideraciones para el diseño de control:

- Estado del motor de transmisión.
- Sensor caudalímetro para conocer si el aire expulsado del compresor llega a la etapa de pelado y limpieza por aire comprimido.
- Sensor de movimiento para saber si los ajos están siendo expulsados y medir los ciclos de producción.
- Electroválvula para abrir o cerrar el flujo del aire suministrado por el compresor.
- Aspiradora que hace el proceso de extracción de cáscaras removidas.
- Motor monofásico para la transmisión de los cepillos.
- Relés para activar y desactivar los actuadores alimentados con corriente alterna.
- Interfaz donde el usuario ingresará el nivel de producción.

Se realizó un diagrama de flujo para la integración de los elementos anteriores y definir el proceso de control:

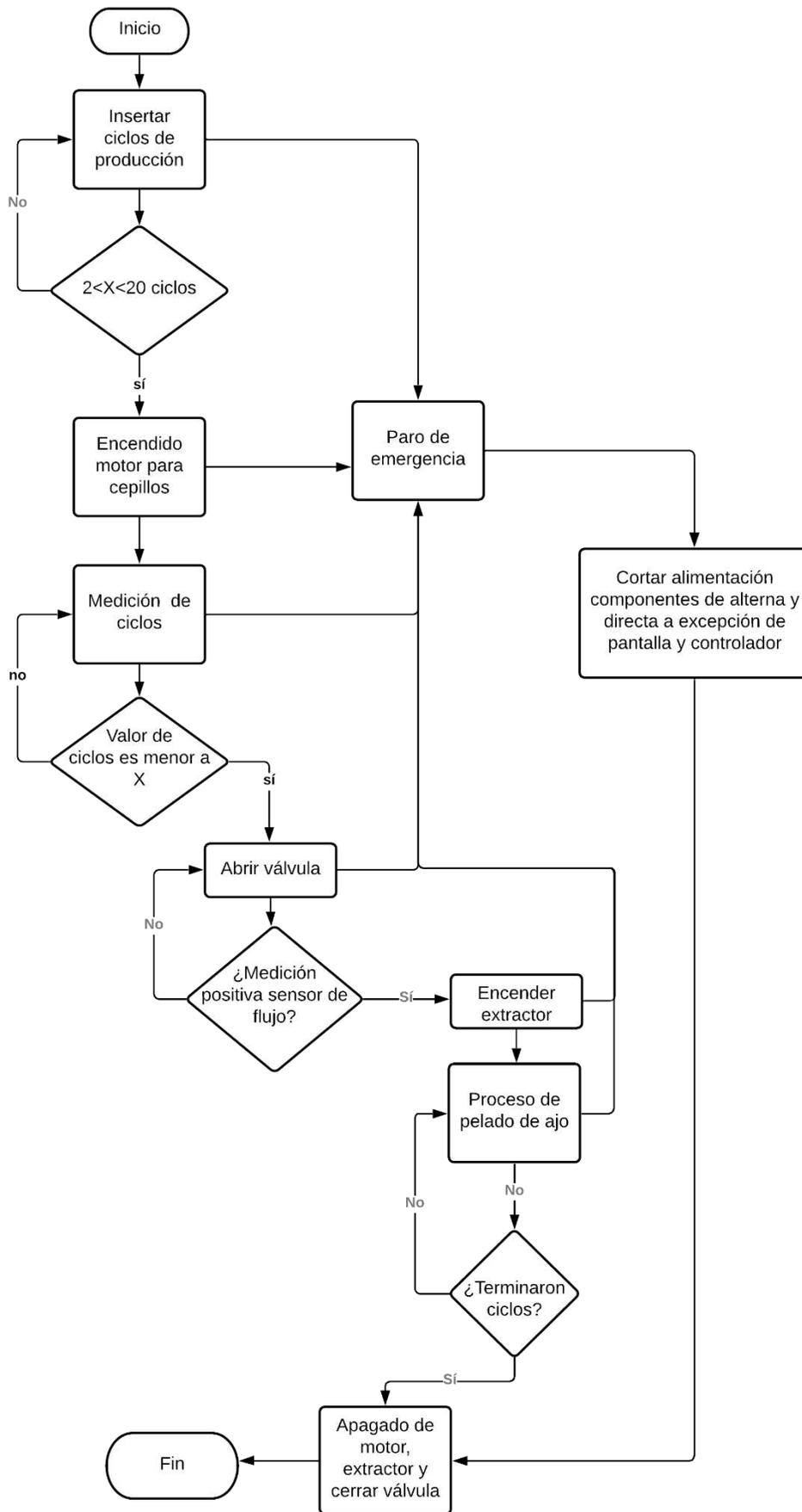


Figura 48. Diagrama de Flujo del modelado de control (Elaboración propia).

Selección de actuadores

- Selección de electroválvula que abre y cierra el flujo del aire del compresor.

Se seleccionó una válvula solenoide normalmente cerrada (N/C) que cumple con las características para funcionar adecuadamente con base en el compresor que suministrará el aire, con el tamaño de ¼ de pulgada en la conexión y que soporte la presión de 0.8 MPa máxima del compresor.



Figura 49. Válvula solenoide normalmente cerrada (N/C).

Características:

- Medio: Aire, agua, aceite, etc.
- Conexión: Rosca BSP.
- Tamaño: ¼ ”.
- Presión: 0 ~ 1.0MPa (**Mayor a 0.8 MPa**).
- Temperatura: -5 ~ 80 °C.
- Material: Latón.
- Voltaje: 110V AC,
- Corriente: 1 A.

En el apartado [Anexo IV. Hojas de datos y especificaciones de componentes seleccionados](#) se pueden consultar a detalle las características.

- Relé electromecánico.

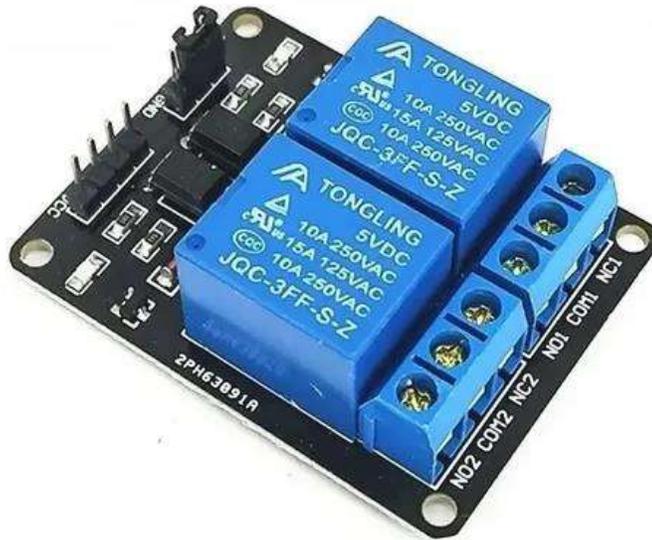


Figura 50. Módulo de relé con optoacoplador.

Para controlar los elementos alimentados de corriente alterna: válvula solenoide, aspiradora y motor monofásico; se seleccionó un módulo de relé electromecánico (EMR) con optoacoplador..

- Voltaje de Operación: 5V DC.
- El circuito de control debe proveer una corriente de 15 a 20 mA.
- Señal de Control: TTL (3.3V o 5V).
- N° de relés (canales): 2 CH.
- Capacidad máx: 10A/250VAC, 10A/30VDC, **15A/125 VAC.**
- Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms.
- Entradas optoacopladas.
- Indicadores LED de activación.

También se consideró un relé de estado sólido (SSR), aunque generalmente son más dinámicos en su rendimiento y en las características que ofrecen para componentes de alto consumo en comparación con los EMR, son más costosos y el EMR seleccionado ya cuenta con una etapa de protección y de potencia, además que los consumos de los actuadores de la máquina se encuentran dentro del máximo nominal que es de 15 A a 125 VAC.

Tabla 10. Consumos de corriente de componentes de corriente alterna (Elaboración propia).

Componente	Válvula solenoide	Motor monofásico 1 H.P.	Aspiradora
Consumo máximo de corriente [A]	1 A	6.8 A	10.87 A

Los cálculos para obtener las corrientes se expresan en el [Anexo V. Cálculo de corriente consumida por componentes de alterna.](#)

Como se aprecia en la Tabla 10 ningún componente supera los **15 A** soportados por el EMR.

En el apartado [Anexo IV. Hojas de datos y especificaciones de componentes seleccionados](#) se pueden consultar a detalle las características.

- Motor monofásico para cepillos.

Se decidió seleccionar un motor monofásico tomando como referencia los resultados de las pruebas experimentales realizadas y desglosadas en el apartado de [Pruebas experimentales](#). En las pruebas se concluyó que el factor más importante para la efectividad de remoción de las cáscaras de los dientes de ajo es la velocidad de giro, el motor debe tener una velocidad mínima de 650 rpm. Para el control de movimiento de los cepillos se pensó dirigir el par y los rpm de un motor monofásico a las matrices de cepillos por medio de una transmisión de poleas. Las características del motor seleccionado fueron las siguientes:



Figura 51. Motor monofásico WEG.

- Tensión 115/230 V.
- Corriente 14/ 6.8 A.
- Frecuencia: 60 Hz.
- Velocidad del rotor: 1,740 Rpm.
- Potencia: 1 HP.
- Clase de aislamiento: B.
- Dimensión del motor: Alto/Largo/ancho: 8.228 in X 12.283 in X 7.323 in.
- Flecha 2-3/8" x 5/8 "
- Cuña: 1-3/8" x 6/16"

En el apartado [Anexo IV. Hojas de datos y especificaciones de componentes seleccionados](#) se pueden consultar a detalle las características.

- Caudalímetro



Figura 52. Caudalímetro YF-B10.

El caudalímetro estará ubicado en una de las entradas de aire a compresión de la rampa, las entradas distribuidas son 6, si se divide el caudal de salida del compresor (184 L/min) se obtiene un resultado de 30.66 L/min. El dispositivo comprobará que el flujo sea estable y continuo. Las características son las siguientes:

- Modelo YF-B10.
- Resistencia máxima a la presión: 1.75 MPa
- Voltaje nominal: 5 VDC.
- Apertura de 1 in.
- Caudal: 2- 50 L/min.
- Corriente: 15mA.

En el apartado [Anexo IV. Hojas de datos y especificaciones de componentes seleccionados](#) se pueden consultar a detalle las características.

- Sensor de movimiento



Figura 53. Sensor de movimiento Pir Hc-sr501.

El sensor indicará que no exista obstrucción alguna en el proceso de pelado. Verificará la salida los ajos ya procesados ayudando a las operaciones de control de la máquina.

Características:

- Alimentación: 5V DC
- Corriente: 70 mA
- Distancia de detección: 4 metros
- Pulso simple o continuo
- Retardo Ajustable
- Dimensión: 24.5 mm X 32.6 mm X 24mm

En el apartado [Anexo IV. Hojas de datos y especificaciones de componentes seleccionados](#) se pueden consultar a detalle las características.

Diseño electrónico

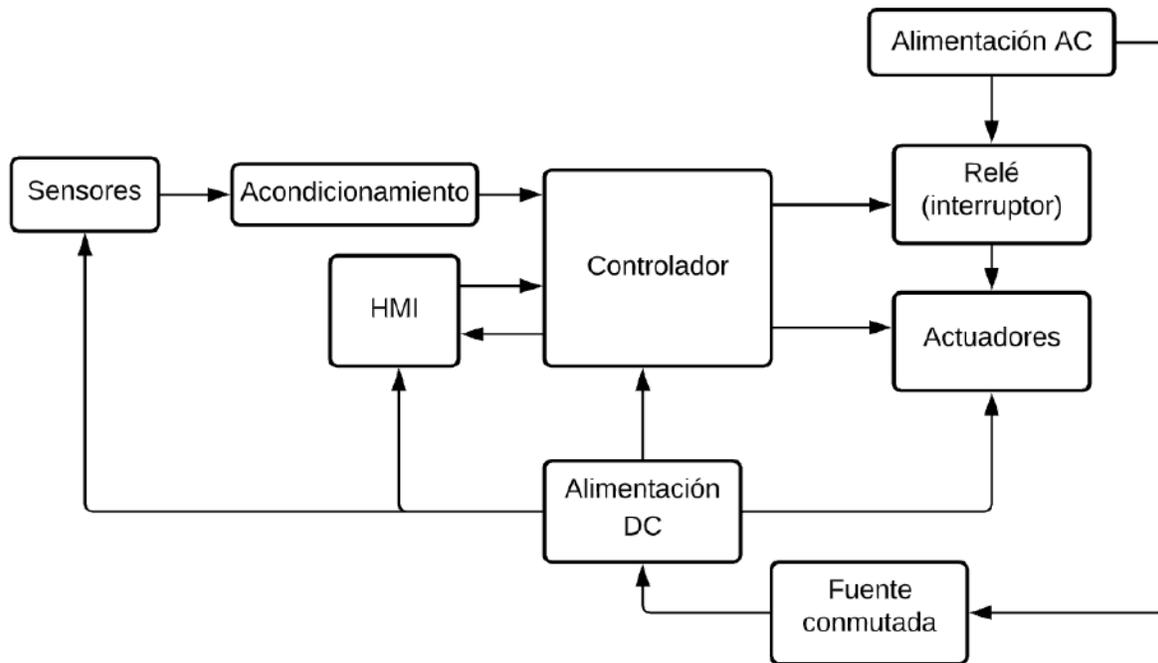


Figura 54. Diagrama de funcionamiento general (Elaboración propia).

En la Figura 54 se describe el funcionamiento integrado de la máquina: el controlador mediante el dato de entrada (tamaño de producción) que ingresa el usuario con la interfaz y con las señales acondicionadas que recibe de los sensores, enciende/apaga los relés para accionar los actuadores que se alimentan de corriente alterna o envía la señal de control al servomotor alimentado con corriente continua. El controlador, los sensores y la pantalla de la interfaz se alimentan con una fuente conmutada que transforma la energía eléctrica. Los sensores y actuadores se definen en el apartado de [Diseño de control](#).

Selección de controlador

Tabla 11. Tabla de pertenencia para la selección del controlador (Elaboración propia).

Factores	Peso Relativo (%)	Alternativas (opciones)		
		A	B	C
Costo	30%	8	10	9
Robustez	30%	10	7	8
Puertos	20%	8	10	10
Alimentación	20%	8	10	10
Puntuación total		8.6	9.1	9.1

Como se define en la Tabla 11 se usaron 4 criterios para la selección del controlador de las opciones presentadas en el [Anexo II. Controladores Comerciales](#), con una ponderación para los factores del 0-10, considerando 10 como mayor, y haciendo una suma con los pesos relativos (en porcentaje) para obtener la puntuación total con una calificación de 10 como máximo. Los factores con mayor peso relativo son el costo y robustez con 30%, con un 20% están los puertos y la alimentación.

El PLC a pesar de tener una mayor robustez al soportar perturbaciones externas como los efectos de vibración, presenta la desventaja de ser muy costoso y tener un número de puertos limitados, necesitando la adquisición de un módulo externo. Según los resultados del análisis de factores la Raspberry Pi y la placa Arduino resultaron ser opciones adecuadas con una puntuación de 9.1, para definir la selección final del controlador se analizó a detalle el enfoque y funcionamientos de ambas.

Valorando que la aplicación de la máquina está encaminada en señales de entrada y salida interactuando con el entorno mediante sensores y actuadores, se decidió emplear como controlador la **placa Arduino Mega**, ya que cuenta con salidas PWM y entradas analógicas que las Raspberry Pi no, aunque la Raspberry es más flexible y con mayor número de funciones para realizar proyectos de software, el diseño de la interfaz de realiza externamente en el software del fabricante Nextion Editor, además es

considerablemente más costosa y se deben proteger las entradas de señal GPIO ya que solo permite voltajes de 3.3 V y los sensores seleccionados y acondicionados entregan 5 V. Para efectos de perturbaciones, que es la desventaja que tiene la placa Arduino, el módulo donde estará instalado se diseñó para que fuera desmontable fácilmente en caso de cualquier inconveniente.

Selección de Interfaz

Con el Arduino seleccionado como controlador, se buscó una pantalla táctil compatible que proporcionará un control intuitivo y visualización gráfica del proceso de la máquina. Se seleccionó la pantalla LCD Nextion NX4827T043 de 4.3 pulgadas con las siguientes características:

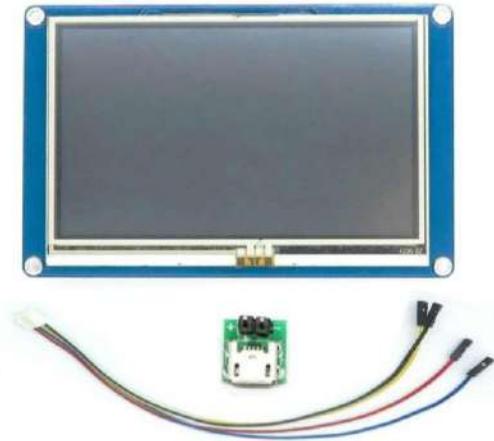


Figura 55. Pantalla táctil LCD Nextion NX4827T043.

- Alimentación: 5 VDC 250 mA.
- Resolución de 480 x 272
- Compatible con Raspberry Pi, **Arduino**, etc.
- 65k Colores.
- Pantalla LCD TFT con panel táctil resistivo integrado.
- Panel inteligente LCD Nextion 4.3 pulgadas.
- Fácil de conectar con interfaz serial de 4 hilos TTL.
- 16 M de memoria Flash para el código de usuario e imágenes.
- Actualización de firmware mediante tarjeta microSD.
- Área de visualización de 95.04 x 53.86 mm.
- Brillo de la pantalla ajustable.

En el apartado [Anexo IV. Hojas de datos y especificaciones de componentes seleccionados](#) se pueden consultar a detalle las características.

Diseño de la interfaz

Para el diseño de la interfaz se basó en la estructura del funcionamiento de la máquina desglosada en la Figura 48. Y en las siguientes consideraciones fundamentadas en las *Características del Estándar ANSI/ISA-101.01-2015: Interfaces Humano-Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos* y en la *Metodología de Diseño para HMI* de la Universidad Tecnológica De Bolívar que toma como referencia la norma ISO 13407 :

- Las funciones de la HMI deben ser intuitivas para el usuario.
- Los gráficos deben ser entendibles y facilitar la lectura.
- Colores neutrales como azul y gris para el fondo.
- Color verde para estados estables o de movimiento.
- Color rojo para estados de peligro o de finalización.
- Mostrar las variables de la máquina en tiempo real.
- Los indicadores deben ser claros, resaltados y distinguibles.
- La acción para iniciar la máquina debe tener mecanismo de confirmación para evitar activaciones inadvertidas.
- Botón para detener la máquina en todo momento.

Se realizó el diseño de la interfaz en el software de desarrollo GUI (*graphical user interface*) de interfaz humano-máquina (HMI) **Nextion Editor** (libre), que proporciona gratuitamente el fabricante de la pantalla seleccionada (Nextion NX4827T043).

Fuente de alimentación

Se seleccionó una fuente conmutada de alimentación de acuerdo con los parámetros de consumo y alimentación de los componentes de corriente continua.

Tabla 12. Tabla de alimentación DC de los componentes.

Componente	Voltaje de entrada	Consumo de corriente
Pantalla inteligente LCD Nextion 4.3 pulgadas	5 V	250 mA
Módulo HX711	5 V	10 mA
Sensor de movimiento Pir Hc-sr501	5 V	70 mA
Caudalímetro	5 V	15mA
Sensor de fuerza sen-10245	5 V	Despreciable.
Sensor de fuerza sen-10245	5 V	Despreciable.
Módulo de relé con octoacoplador	5 V	15mA-20mA
Módulo de relé con octoacoplador	5 V	15mA-20mA
Módulo de relé con octoacoplador	5 V	15mA-20mA
Módulo de relé con octoacoplador	5 V	15mA-20mA
Servomotor HS3225	4.8 V – 6.8 V	1900 mA
Servomotor HS3225	4.8 V – 6.8 V	1900 mA
Total		4225 mA

El voltaje necesario de salida en la fuente de alimentación es de 5 V y para la corriente, se tiene que la corriente total de la suma de todos los componentes es de 425 mA. Tomando en cuenta los valores obtenidos de la

Tabla 12 se seleccionó la fuente de alimentación que se muestra a continuación:



Figura 56. Fuente de alimentación 5V, 5A conmutada.

Tiene las siguientes características.

- Voltaje de entrada: 110 V – 220V 50/60Hz.
- Voltaje de salida: **5 V**.
- Corriente de salida: **5 A**.
- Potencia: 25 W.
- Peso neto: 220 g.
- Dimensiones: 8.5 x 6 x 3.4 cm.
- Material de la carcasa: carcasa de metal / aluminio.
- Temperatura de trabajo: 0 ~ 40 ° C.
- Temperatura de almacenamiento: -20 ~ 80 ° C.

La corriente de salida de 5 A es mayor a los 4.225 A totales que consumen los componentes alimentados con corriente continua.

Etapa de potencia

El módulo de relé seleccionado para conmutación de cargas de potencia y controlar los componentes de la máquina, cuenta con entradas de control aisladas mediante optoacopladores PS817C para garantizar la seguridad del circuito de mando y proteger al controlador, alimentando al relé externamente. Asegurando el aislamiento eléctrico entre los dos circuitos (mando y potencia) mientras se mantiene un nexo de unión que se pueda usar como un interruptor.

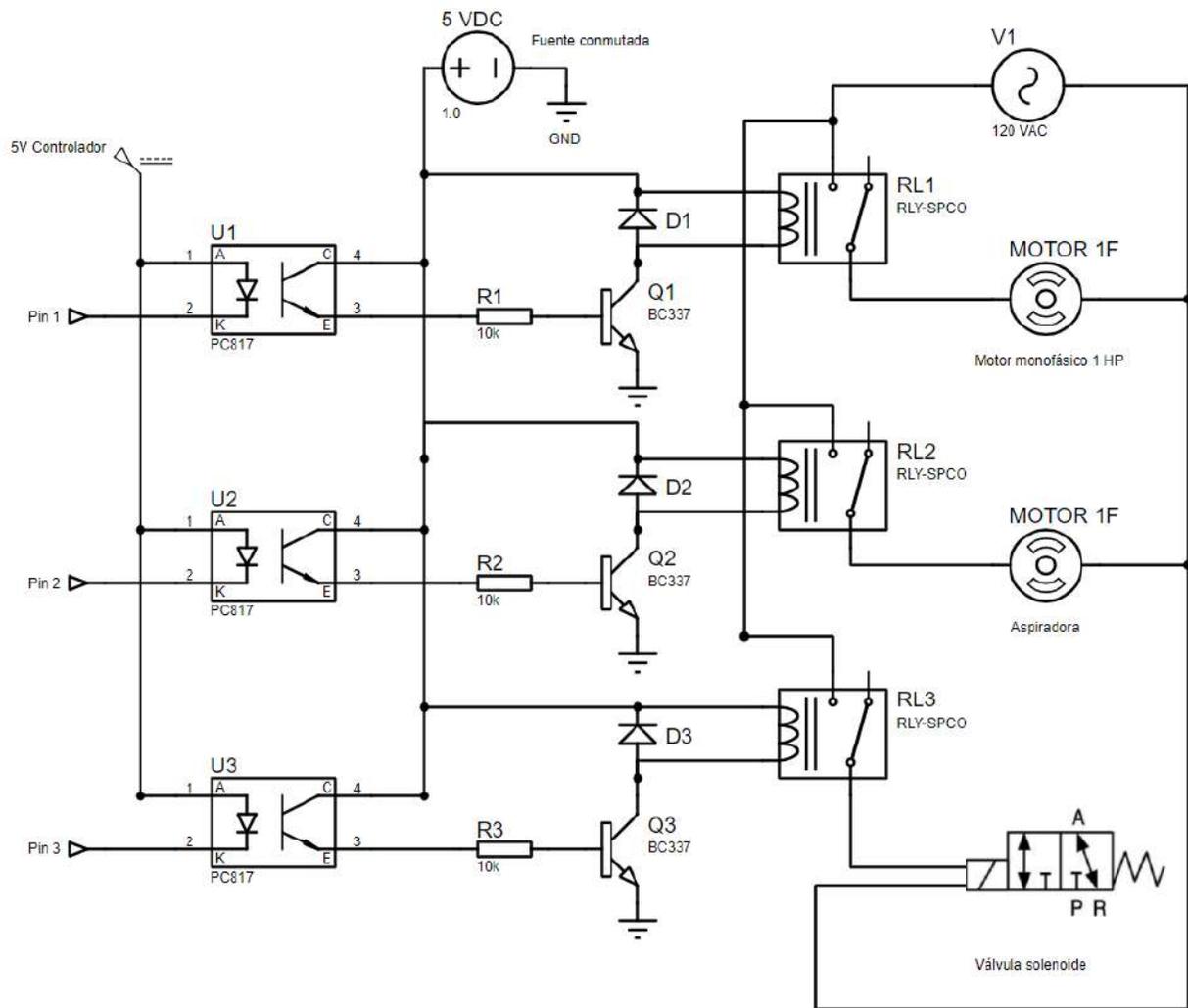


Figura 57. Circuito control con relés (Elaboración propia)

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Adquisición de los materiales

Con base en la selección de los elementos que integran la máquina especificados y detallados en diseño mecánico, diseño de control y diseño electrónico; se obtuvo una lista de compra con estos componentes que se adquirieron en diferentes plataformas de comercio en línea, tiendas departamentales y fabricantes. Sin embargo, los precios finales al momento de adquisición variaron por diversos factores como: precio de envío, inflación, disponibilidad, sobre pedidos, entre otros. El precio final de cada componente se desglosa en la Tabla 13.

Tabla 13. Lista de compra (Elaboración propia).

Nombre de los componentes	Cantidad	Precio total previsto en diseño (MXN)	Precio total al que se adquirió (MXN)	Proveedor
Placa de acero inoxidable 304 4X10'	1	\$ 3,500.00	\$ 4,200.00	Metal Suplies
Sensor de movimiento Pir Hc-sr501	1	\$ 40.00	\$ 38.00	AliExpress
Arduino Mega 2560	1	\$ 300.00	\$ 268.00	AliExpress
Pantalla táctil LCD Nextion NX4827T043	1	\$ 1,700.00	\$ 1,870.00	Geek Factory
Válvula solenoide normalmente cerrada (N/C)	1	\$ 250.00	\$ 342.00	AliExpress
Caudalímetro YF-B2	1	\$ 200.00	\$ 182.00	AliExpress
Módulo Relé 2CH 5VDC	2	\$ 100.00	\$ 89.00	AliExpress
Aspiradora Seco-Mojado 2.5 galones WD-2.5 K	1	\$ 700.00	\$700.00	Walmart
Separador ciclónico	1	\$ 400.00	\$ 441.00	AliExpress
Fuente de alimentación Conmutada 5V 5A 25W 110/220 VAC	1	\$ 150.00	\$ 273.00	AliExpress
Motor monofásico de 1	1	\$ 1,500.00	\$ 1,687.00	El Gran

HP				Tlapalero
Gabinete	1	\$ 500.00	\$ 600.00	The Home Deepot
Material destinado a estructura	1	\$2,000.00	\$2500.00	Taller herrería
Consumibles estructurales (tornillería, coples, electrodos, mangueras, etc.)	1	-	\$1466.00	The Home Deepot
Cepillo para baño Great Value	29	-	\$652.50	Bodega Aurrera
Consumibles electrónicos (cables, botones, switch's)	1	-	\$388.00	RP electronics
A-119 Correa en V clásica	1	\$140.00	\$190.00	Rebarezac
35b17 Sprocket Paso 35 De 17 Dientes Mamelón Tipo B	6	\$552.00	-	Rebarezac
Catarinas paso 40-15D	12	-	\$1200.00	Rebarezac
Polea Aluminio 3 in X Doble Ranura en A	2	\$570.00	\$300.00	Rebarezac
Polea Aluminio 8 in Ranura A.	1	\$452.00	\$360.00	Rebarezac
Sprocket Paso 35 De 50 Dientes	1	\$200.00	-	Rebarezac
Cadena de rodillos paso 35-1R medida de 3/8" de perno a perno (longitud 3.05 m)	1	\$210.00	-	Rebarezac
Cadena de rodillos paso 40-1R medida de 3/8" de perno a perno	2	-	\$660.00	Rebarezac
Lijas adhesivas de 3 m de largo.	1		\$200.00	The Home Deepot
Precio Total (MXN):		\$13,444.00	\$18,406.50	

Manufactura de los elementos mecánicos

Base

En la base de la máquina se hicieron modificaciones respecto a la selección del Perfil Tubular Rectangular (PTR) para fabricarla. Justificándose en los resultados de la simulación de esfuerzos, se tenía previsto emplear un PTR de 1 ½ " con un coeficiente de factor de seguridad mínimo de 42, al estar con un margen sobrado se redujo al PTR a 1 ¼ " con un factor de seguridad de 15.

Tabla 14. Comparación de esfuerzos para PTR (Elaboración propia).

Perfil Tubular Rectangular	Esfuerzo Von Mises máximo $[N/m^2]$	Factor de seguridad mínimo
1 ½ "	4.89×10^{-6}	42
1 ¼ "	1.4×10^{-7}	15

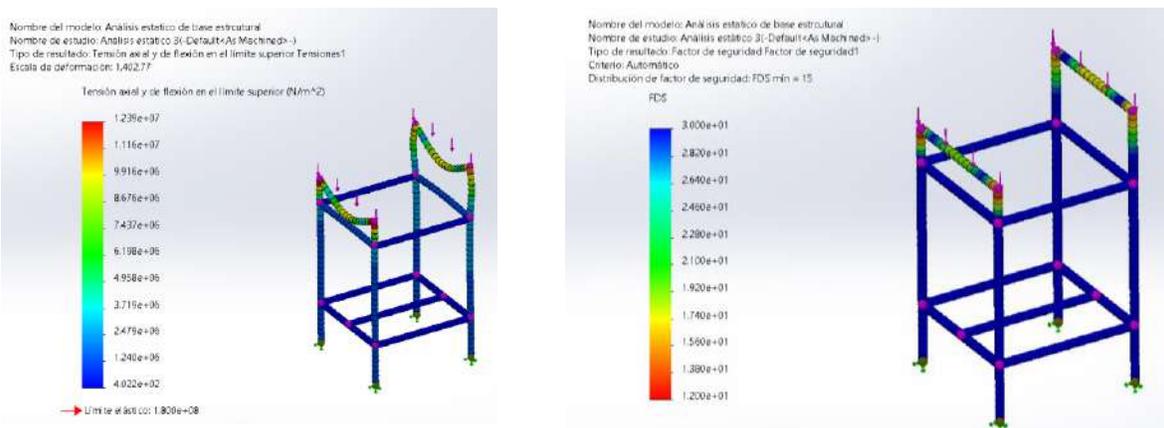
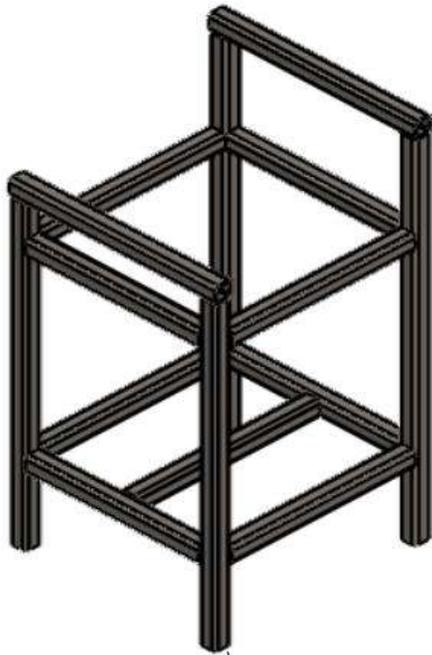


Figura 58. Simulación de esfuerzo a la tensión y factor de seguridad para la base con un PTR de 1 1/4"

En la Figura 59 se expone el resultado de la fabricación de la base comparando el modelo CAD a la construcción real. A diferencia del modelo del diseño, las llantas se sentaron en el suelo y no en la parte posterior de la base para facilitar la movilidad. Para asegurar la fijación se añadieron frenos en las llantas y regatones de hule en las patas frontales.



a)



b)



c)

Figura 59. Base. a) Modelo CAD. b) Proceso de fabricación. c) Resultado final.

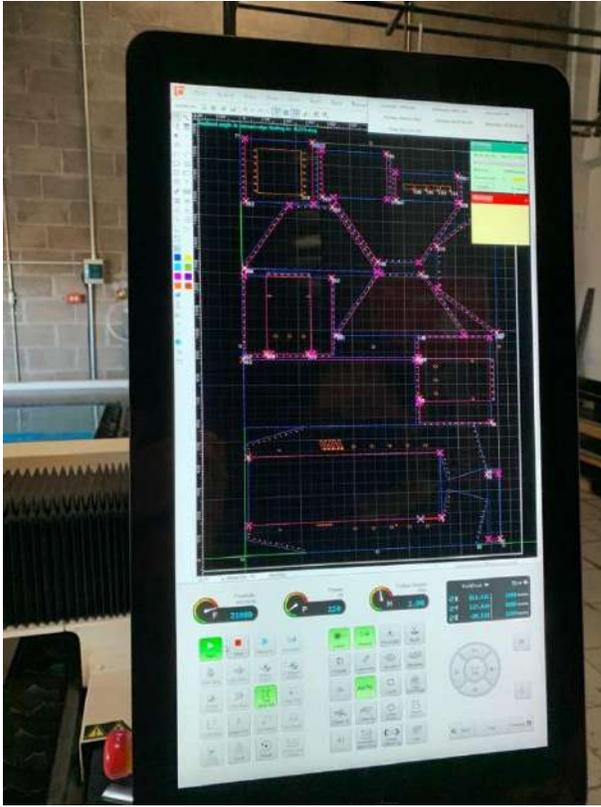
Cajón, tolva y ducto

Son los elementos por donde al ajo efectúa su trayecto para el procesado, como se explica en el apartado [Materiales en la industria de alimentos](#) se manufacturaron de acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio. Inicialmente se tenía contemplado hacer los cortes manualmente y las uniones mediante soldadura, sin embargo, el acero inoxidable, aunque es considerado de buena soldabilidad, está sujeto a una serie de problemas si no son tomadas en cuenta las precauciones pertinentes como dice el artículo *Esfuerzos residuales generados en la soldadura de placas de acero inoxidable aisi 304 mediante el proceso smaw* del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Se general impurezas y corrosión del material que impiden que sea apto para uso alimenticio .

Por lo que se elaboró un nuevo plan de manufactura, se diseñaron los elementos en chapa metálica para cortarse en láser, doblarse y hacer el ensamble mediante tornillería.



Figura 60. CAD de ensamble de cajón, tolva y ducto con piezas cortadas en láser y dobladas.



a)



b)

Figura 61. a) Acomodo de piezas desplegadas con diseño actualizado de chapa metálica. b) Corte láser.

Fabricación y ensamble de tolva con nuevo diseño de geometría cuadrada para facilitar la manufactura, unión mediante remaches de 3/16" x 1/4".



Figura 62. Ensamble de tolva.

Fabricación y ensamble del cajón, las piezas contienen pestañas con perforaciones para la unión con tornillería de 3/8”.

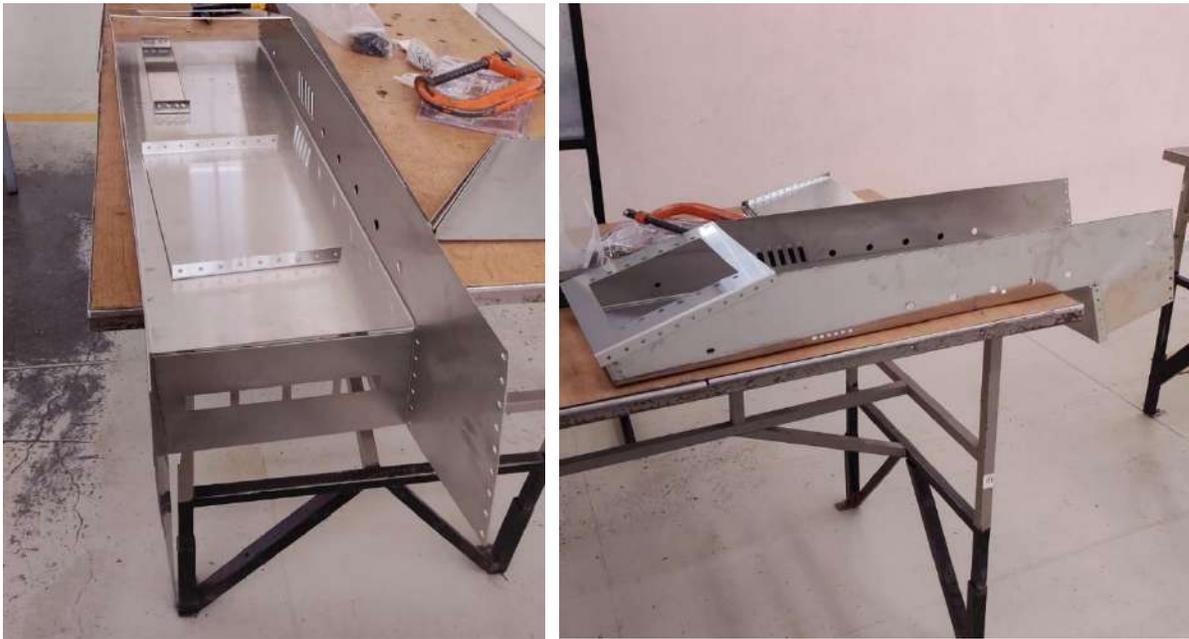


Figura 63. Cajón ensamblado.

Perforaciones para tornillería de 3/8” y 5/8”:



Figura 64. Taladros de 3/8” y 5/8”.

Ensamble de tolva con ducto y cajón:



Figura 65. Ensamble de cajón, tolva y ducto.

Cepillos

En la etapa de diseño se contempló adquirir los cepillos con la empresa Cepillos de México (CEPEMEX) que están en proceso de obtener la certificación ISO-9001 para estandarizar su sistema de gestión de calidad [35]. Sin embargo, por exceso de precio en el presupuesto ([Anexo VI. Cotización cepillos rotativos](#)), se decidió que el equipo los fabricaría para no elevar excesivamente el costo del proyecto.

Las cerdas de los cepillos son de nylon, tienen 6 cm de diámetro exterior, 2.5 cm de diámetro del alma que está hecha de plástico, tienen un eje interno de 1/4" de varilla roscada de acero recortada 14 cm para los cepillos chicos y 21 cm para los cepillos grandes. En los extremos se acopla un eje de 3/8" que conecta directamente con los sprockets de transmisión. Para resistir las altas revoluciones de 650 se conectaron reductores de bronce de 3/8" a 1/2" al cajón para funcionar como guía.



a)



b)

Continúa página siguiente



c)

Figura 66. a) Fabricación cepillos cortos. b) Posicionamiento cepillos primera etapa c) Posicionamiento cepillos segunda etapa.

Sistema de transmisión

El sistema de transmisión está conformado por un juego de poleas que se seleccionó gracias a la guía de selección del catálogo de Dodge 2010 , que se utilizó para verificar el tipo de banda y el diámetro de ambas poleas. Se consiguieron dos poleas $D=8''$ y $d=3''$ de aluminio para reducir la velocidad de 1750 rpm's a 600.

Reduciendo la velocidad del motor, se acoplaron catarinas de 15 dientes y paso 40 en los ejes de los cepillos. En cada eje hay 2 catarinas a excepción del primer eje y el último, estas dos catarinas son: la conductora y la conducida quienes transmiten eje por eje la fuerza y la misma velocidad del motor en ambas partes de la estructura mecánica (superior e inferior) como se puede apreciar en las siguientes imágenes.

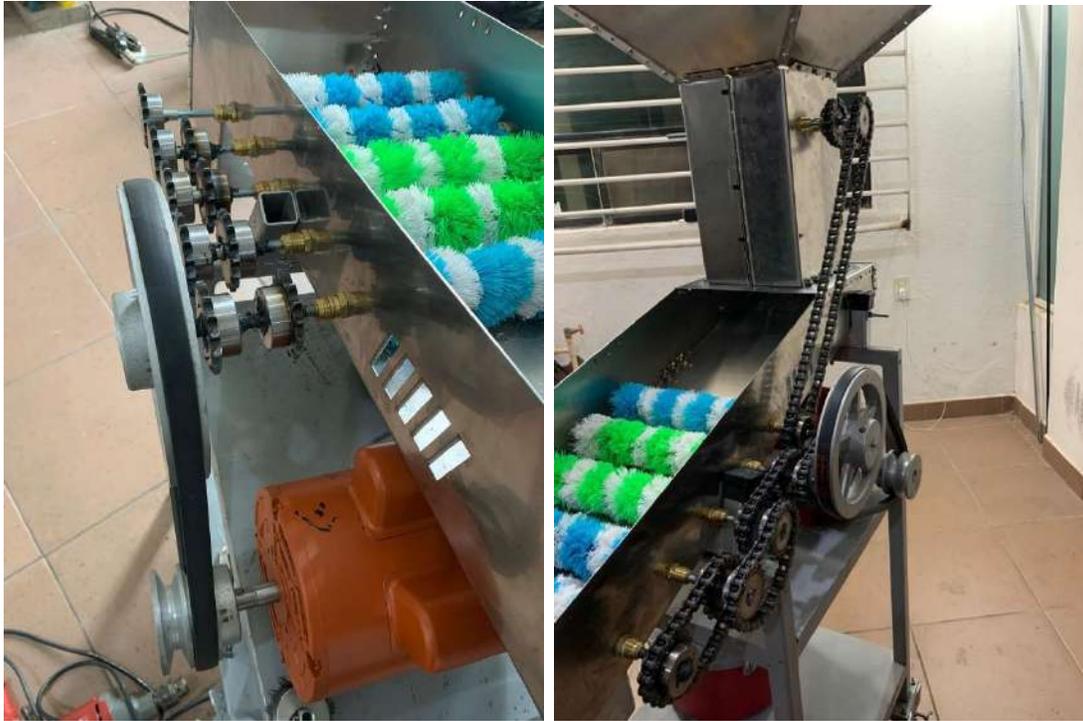


Figura 67. Montaje de tren de engranaje y tensado de banda.

La base del motor tiene oblongos de 5/16" x 2" para con ese margen de 2" tensar la banda.



Figura 68. Montaje y ajuste de cadenas.

Electrónica y de control

Cableado y conexiones de gabinete

El gabinete integra los componentes de electrónica y de control, así como el cableado de las conexiones. Se instaló a 40° para uso ergonómico del operador ([Diseño ergonómico](#)). Se fijó a la base con un ángulo que no es completamente rígido para evitar transmitir la vibración de la máquina funcionando como amortiguador.



a)



b)

Figura 69. a) Gabinete instalado a 40°. b) Vista frontal del gabinete.

En la Figura 70 se ilustran las conexiones eléctricas y electrónicas del gabinete de control. Se colocaron 4 switches de palanca previos a los relés (estos son activados por la señal de control) para que el operador tenga un control manual de energizar las líneas de los actuadores de corriente alterna de la máquina, esto como acción adicional de seguridad al botón de paro de emergencia.

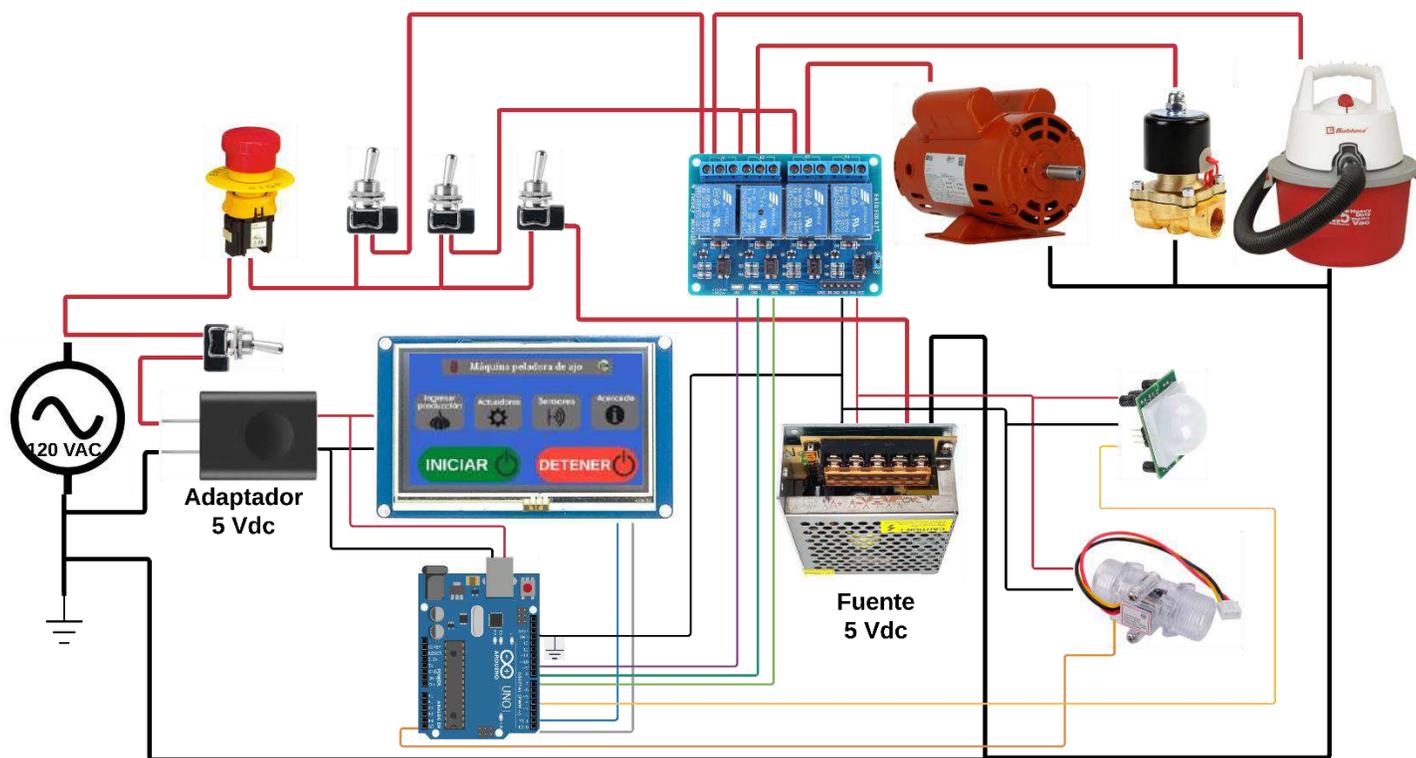


Figura 70. Diagrama de conexiones eléctricas y electrónicas del gabinete de control.



Figura 71. Cableado de conexiones eléctricas y electrónicas del gabinete de control.



Figura 72. Botón de paro de emergencia de 6000 W.

Se tiene un interruptor de parada automática de emergencia de 6000 W y 50 A a 120 Vac que corta la alimentación a los componentes de directa (energizados con la fuente conmutada) y alterna, la conexión de la pantalla y el controlador es previa a la línea del paro, por lo que cuando se presiona éstas se mantienen encendidas.

Acondicionamiento de señal

Para la implementación de la electrónica y el control de la máquina se hicieron ensayos con soporte de un código de prueba. Gracias a la interfaz y al código de prueba que contiene la lógica simulada del diagrama de flujo realizado para los procesos secuenciales de la peladora, se pusieron en funcionamiento los actuadores y el seguimiento a la calibración de los sensores.

Sensor PIR

El sensor PIR es empleado como un detector y a la vez actúa como un contador dentro del programa. Al comportarse como un contador, se le dio la funcionalidad de contar el número de veces por las que pasa ajo pelado y así medir el tiempo de procesado por los ajustes dados al sensor, midiendo los tiempos, se declaran los ciclos de trabajo de la máquina.

```
        val=digitalRead(pir);
if(val==HIGH){
    Serial.println("Hay movimiento");
    delay(1000);
    mov=mov+1;
    if(mov<bCiclos){
        Serial.print("Ciclo ");
        Serial.println(mov);
        delay(1000);
    }
    if(mov==bCiclos){
        Serial.print("Ciclo ");
        Serial.println(mov);
        delay(1000);
        termina();
    }
}

void termina(){
    Serial.println("Se terminaron todos los ciclos");
    delay(1000);
    digitalWrite(extractor,LOW);
    Serial.println("Se apaga extractor");
    delay(1000);
    digitalWrite(valvula,LOW);
    Serial.println("Se apaga valvula");
    delay(1000);
    digitalWrite(motor,LOW);
    Serial.println("Se apaga motor");
    delay(1000);
    mov=0;
}
```

Figura 73. Código del sensor PIR.

En la Figura 73 se desglosa el código del sensor PIR, al probar el sensor con el código prueba, se fijaron los ajustes predeterminados. La distancia se redujo al valor mínimo de su rango, para los tiempos de respuesta y activación se estableció un tiempo de 10 segundos. Los ciclos de trabajo están dados por un contador cíclico que depende de la respuesta y el registro del sensor dentro del código.

Sensor de Flujo

El sensor flujo envía al sistema del estado del aire a compresión que entra en las mangueras y que es guiado hasta la rampa de la estructura. El sensor de flujo se acoplo con adaptadores de tubería de cobre de ½ ”.



Figura 74. Sensor de flujo montado.

Se acondicionó el sensor de flujo para establecer criterios de funcionamiento para el extractor dentro del código. El sensor de flujo da apertura al encendido del extractor y al proceso de conteo del sensor PIR para los ciclos de trabajo.

```

if((SensorFlujo>500)) { //Empieza lectura analógica del sensor de flujo
    digitalWrite(extractor, HIGH); //Enciende extractor

    if(digitalRead(extractor==HIGH)){ //Verifica estado de extractor
        delay(1000);
    }
    val=digitalRead(pir); //comienza el conteo el sensor PIR
if(val==HIGH){
    Serial.println("Hay movimiento");
    delay(1000);
    mov=mov+1;
    if(mov<bCiclos){
        Serial.print("Ciclo ");
        Serial.println(mov);
        delay(1000);
    }
    if(mov==bCiclos){
        Serial.print("Ciclo ");
        Serial.println(mov);
        delay(1000);
        termina();
    }
}
}
}

```

Figura 75. Código del sensor de flujo.

Válvula solenoide

La válvula solenoide control el flujo aire de compresión a la estructura pasando primero por un conducto que se divide en 3 canales, en uno de los canales se encuentra el sensor de flujo acoplado.



Figura 76. Válvula solenoide conectada al compresor de aire.

Interfaz HMI

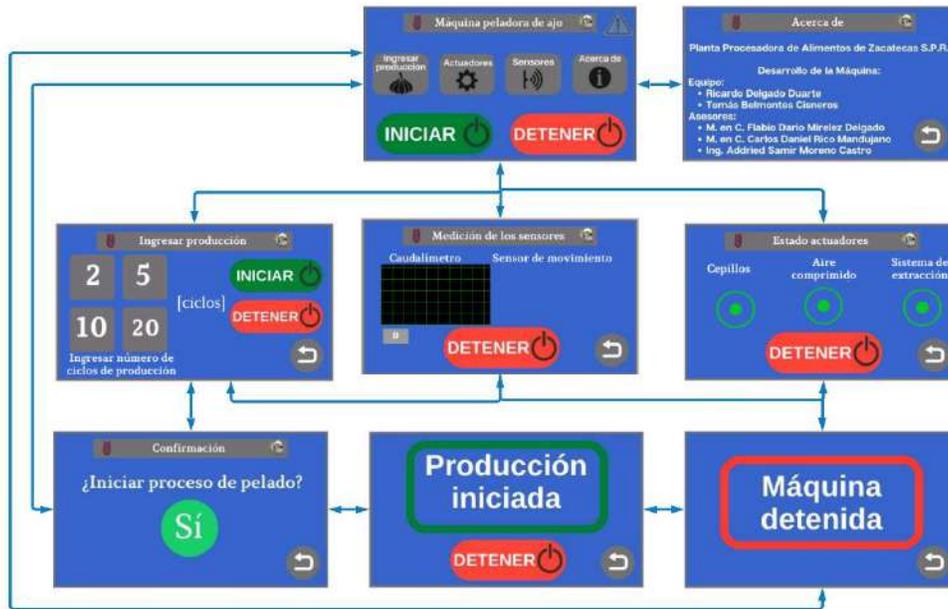


Figura 77. Estados principales interfaz.

En la Figura 77 se ven desarrollados los estados principales de la interfaz, donde se avanza cuando el usuario presiona la parte de la pantalla definida. Para la medición del sensor de flujo se tiene forma de onda (*waveform*) que muestra la información recibida del mismo, en los actuadores y en el sensor de movimiento se tienen indicadores que señalan el estado de éstos. Para iniciar la máquina se tiene un estado de confirmación. El botón de paro se diseñó de tamaño considerablemente grande en comparación a los demás elementos de la pantalla y basándose en el código de colores. Se usaron los colores neutros azul y gris para el fondo de la interfaz. En cada estado se cuenta con un botón de regreso que lleva al inicio de la interfaz. También se agregó un apartado que muestra la información de los participantes del desarrollo de la máquina.

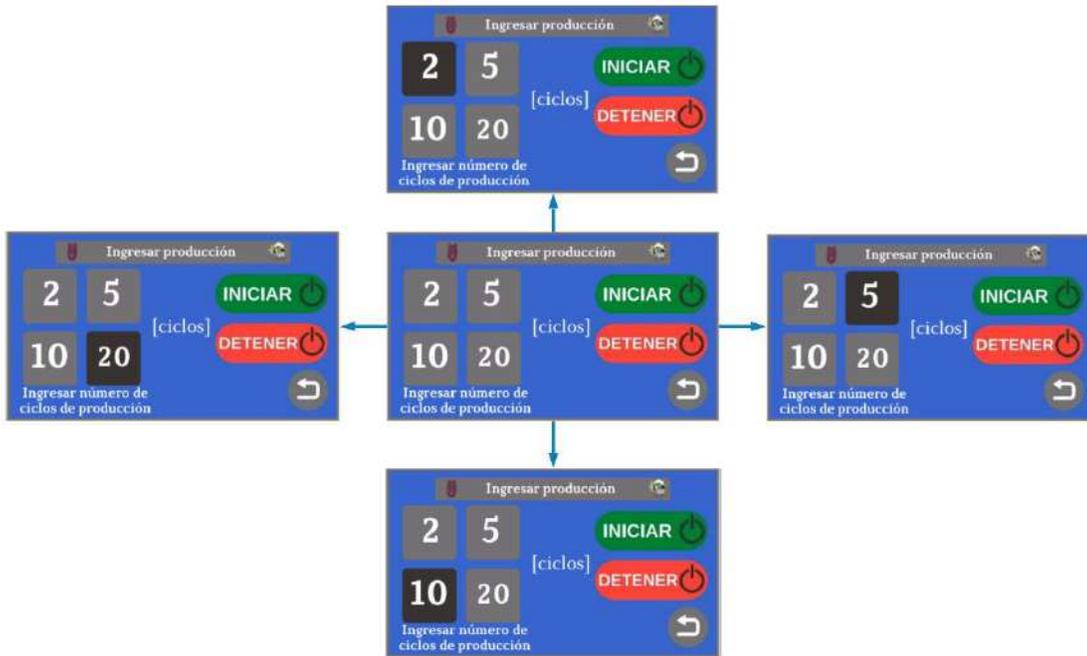


Figura 78. Estados de la interfaz para seleccionar producción.

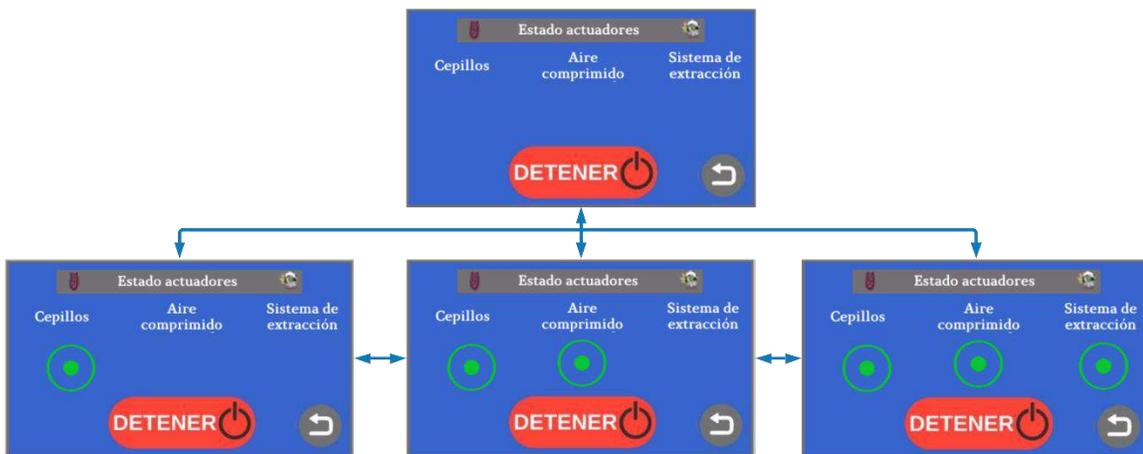


Figura 79. Fases de la interfaz de la evolución de los indicadores de actuadores.

Mantenimiento de la máquina.

Siguiendo las recomendaciones del manual de la Secretaría de Salud y seleccionar el acero inoxidable 304 para la fabricación de la estructura que trata con la materia prima refleja una ventaja para el mantenimiento de la máquina. Generalmente los aceros inoxidables son fáciles de limpiar. Y para alcanzar la máxima resistencia para la corrosión se recomienda por el manual de Mantenimiento del Acero Inoxidable realizar limpiezas rutinarias en la estructura, al ser rutinarias, se recomienda solo utilizar un limpiador poco abrasivo, agua caliente, un trapo o cepillo de fibra (nylon suave o cerda natural), es decir, que con los mismos cepillos con los cuales se hace el pelado, se pueden utilizar para el mantenimiento y limpieza de la máquina [40].



Figura 80. Limpieza y mantenimiento de la máquina.

Se encienden los cepillos cuando se vierte agua caliente con el limpiador cada vez que se termine de usar la máquina, de este modo, se aprovechan los cepillos para la limpieza, además, se puede utilizar el sistema de aire para retirar materias extrañas, basura y para el secado dentro de la estructura. Al limpiar la parte externa se debe tener cuidado de no mojar los componentes electrónicos, se recomienda no utilizar mucha agua para la limpieza externa de la máquina.

VI. ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Ensamble final



Figura 81. Ensamble final.



Figura 82. CAD diseño detallado original.

Transmisión

La Figura 83 representa el sistema de transmisión en funcionamiento. El ajuste de las cadenas para los primeros 3 ejes desde la polea de aluminio de 8" tienen un ajuste ideal, las dos últimas cadenas del sistema de transmisión inferior presentan una leve holgura pues los dientes de las catarinas hacen juego con la cadena de paso 40.

Durante las pruebas, el ajuste de las cadenas para los ejes 4 y 5 se mantuvo tenso, como resultado el eje presentó pandeo al dar marcha y se forzó la transmisión, posterior a eso, empezaron anotarse varios problemas de desajuste e interferencia, por lo que se decidió dejarles la holgura.

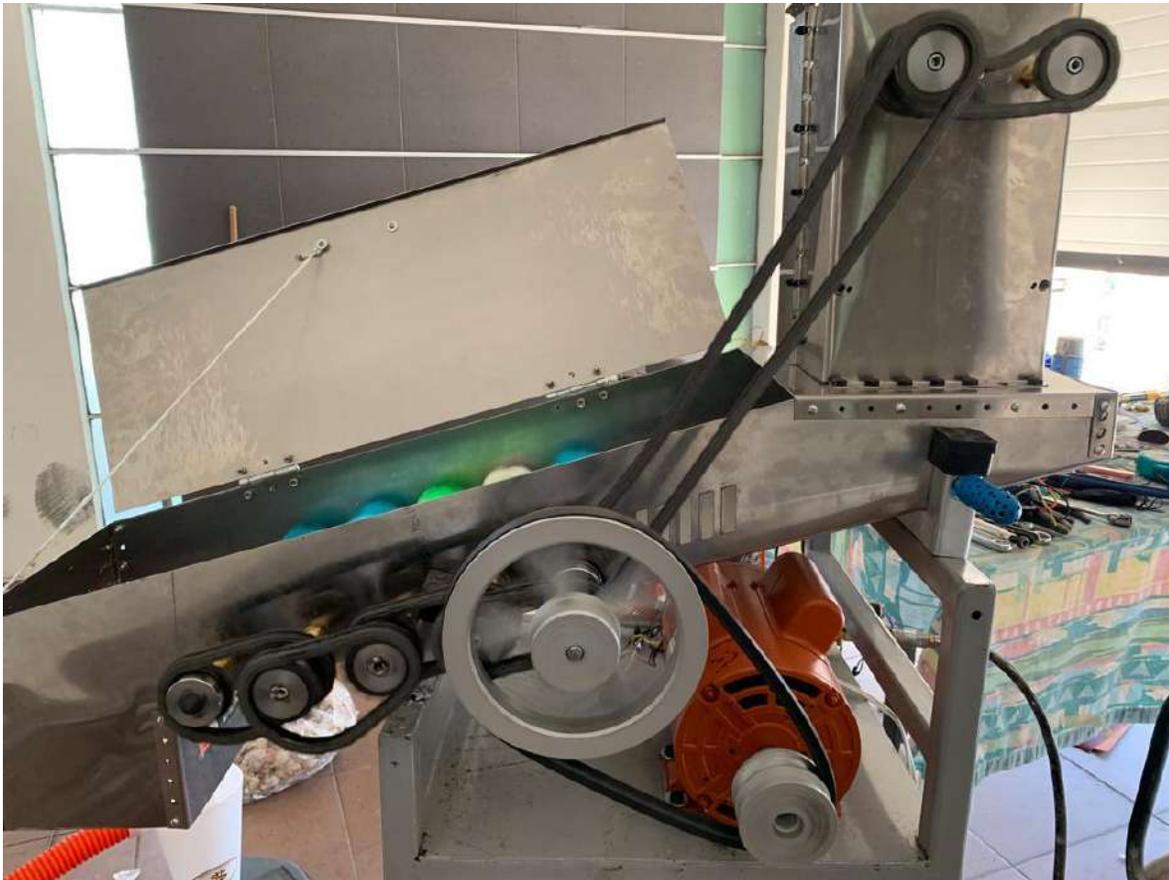


Figura 83. Sistema de transmisión en funcionamiento.

Sistema de aire comprimido y aspirado

En el sistema de alimentación de aire para la estructura, solo se realizó un único cambio del diseño CAD, se montaron solo 3 entradas de aire, además, se manejó un compresor de menor tamaño para las pruebas, pero con la misma presión que las utilizadas en las simulaciones en SolidWorks. El sensor envía la medición cuando el aire está en alto y el sistema no presenta fugas de aire, el separador ciclónico mantiene la materia aspirada en el recipiente externo, evitando que pasen directamente a la aspiradora.



Figura 84. Sistema de aire comprimido y aspirado.

Interacción con la HMI



Figura 85. Interacción con la interfaz.

Proceso de pelado



Figura 86. Proceso de pelado.

Pruebas de pelado

Para verificar la eficiencia de pelado de la máquina y calcular la producción por hora, se ejecutaron pruebas con diferentes cantidades de ajo, donde se midieron tiempos y se clasificaron los ajos expulsados en:

- Dañados (a)
- Pelados (b)
- Con cáscara (c y d)

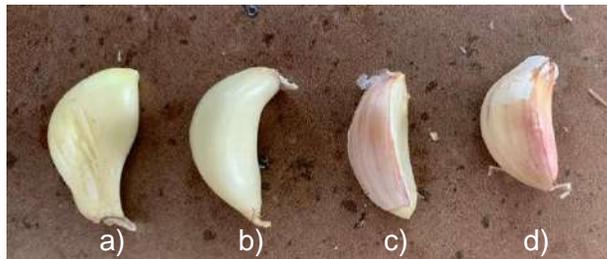


Figura 87. Clasificación de ajos. a)Dañado. b)Pelado. c)Capa mínima cáscara. d)Con cáscara

Se hicieron pruebas donde en la base de la rampa se colocaron tiras adhesivas de fácil instalación debajo de los cepillos para evitar el deslizamiento de los dientes de ajo con la lámina, con los granos de la lija se fuerza la oposición de los dientes con los cepillos haciendo un pelado más efectivo.



Figura 88. Rampa con tiras de lijas adhesivas.

Tabla 15. Resultados de pruebas de pelado para 200 gr

Vuelta	Sin lija			Con lija		
	Porcentaje de dientes pelados (%)	Porcentaje de dientes lastimados (%)	Tiempo (s)	Porcentaje de dientes pelados (%)	Porcentaje de dientes lastimados (%)	Tiempo (s)
1	27.08%	0%	11	37%	4%	10
2	2.08%	0%	8	25%	1%	6
3	20.83%	0%	10	19%	3%	8
4	12.5%	2.08%	9	-	-	-
5	4.16%	0%	5	-	-	-
Total	66.65%	2.08%	43 s	81%	8%	24 s

Tabla 16. Resultados de pruebas de pelado para 250 gr

Vuelta	Sin lija			Con lija		
	Porcentaje de dientes pelados (%)	Porcentaje de dientes lastimados (%)	Tiempo (s)	Porcentaje de dientes pelados (%)	Porcentaje de dientes lastimados (%)	Tiempo (s)
1	12.63%	0%	12	45%	4%	13
2	10.52%	0%	10	19%	2%	9
3	7.36%	3.15%%	11	14%	0%	8
4	10.52%	2.08%	9	-	-	-
5	13.68%	1.05%	7	-	-	-
Total	57.71%	4.21%	47 s	78%	6%	30 s

Con las pruebas anteriores se determinó que la opción de que la lámina se quedará sin lija no es viable por su baja eficiencia de pelado, además se concluyó que el tiempo consumido por pasada se mantiene constante, por lo que para las siguientes pruebas se hicieron con una cantidad de ajo mayor (500 gr) con **una** única pasada y **con** lija.

Tabla 17. Resultados de pruebas de pelado para 500 gr

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Promedio
Porcentaje de dientes pelados (%)	47.53%	39.26%	42.53%	38.6%	49.77%	43.53%
Porcentaje de dientes lastimados (%)	4.9%	3.66%	4.55%	3.4%	6.21%	4.54%
Tiempo (s)	23 s	25 s	24 s	21 s	25 s	23.6 s



Figura 89. Prueba de 500 gr a una sola pasada. a) Dientes expulsados. b)Dientes clasificados(no pelados, pelados y dañados).



Figura 90. Producto final de la máquina peladora de ajos automatizada.

Se realizó un gráfico de dispersión y línea de tendencia con ecuación de los resultados de las pruebas realizadas para la masa de ajo ingresada a la máquina y el tiempo empleado en finalizar el lote. Para calcular la producción de kg/hr.

Tabla 18. Resultados de las pruebas realizadas para masa y tiempo.

Tiempo(s)	Peso(gr)
11	150
10	150
12	250
13	250
23	500
25	500
24	500
21	500
25	500

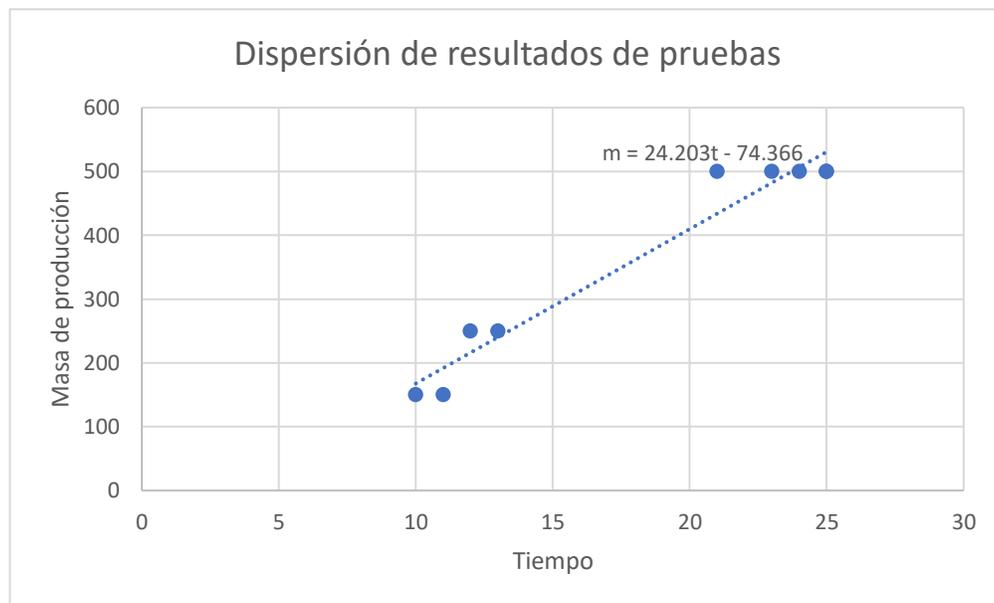


Figura 91. Dispersión y línea de tendencia con ecuación de los resultados de las pruebas realizadas

Ecuación de línea de tendencia para calcular masa:

$$m = 24.203 * t - 74.366 \text{ [gr]} \quad (7)$$

Despejando se obtiene la ecuación de tendencia para calcular el tiempo

$$t = \frac{m - 74.366}{24.203} \text{ [s]} \quad (8)$$

De la Tabla 17 se obtuvo una eficiencia de pelado promedio de **43.53%**, para 50 kg pelados se necesitan $\frac{50 \text{ kg}}{0.4353} = 114.86 \text{ kg}$ de materia prima.

Se sustituye en la ecuación (8):

$$t = \frac{114,860 \text{ gr} - 74.366}{24.203} = 4742 \text{ segundos}$$

Se convierte a horas

$$t = 4742 \text{ s} * \left(\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} \right) = 1.31 \text{ hr} \text{ ó } \mathbf{1 \text{ hr con } 18.6 \text{ min}}$$

La producción por hora se calcula de la ecuación (7)

$$m = 24.203 * 3600 \text{ seg} - 74.366 = 87,056 \text{ gr} = \mathbf{87.056 \text{ kg/hr}}$$

Con la eficiencia de 43.53%

$$\text{Producción pelada} = 87.056 * 0.4353 = \mathbf{37.89 \text{ kg/hr}}$$

VII TRABAJO A FUTURO

- Guarda de seguridad para sistema de transmisión.
- Compuerta dosificadora.
- Sistema adicional de aire a compresión suministrado desde la parte trasera para empujar con mayor facilidad los ajos.
- Ventana de acrílico para tapa.
- Sustituir ejes y cepillos.
- Mensajes de alarma en la interfaz.

VIII CONCLUSIONES

Se logró diseñar y construir un prototipo de una máquina peladora de ajos automatizada funcional que es capaz de remover la cáscara de los dientes de ajo.

Para la realización de la máquina se siguió una metodología de diseño mecatrónico, iniciando con la parte mecánica donde se realizaron cálculos de fuerzas, simulaciones de análisis estático para validar el diseño, se fabricó la base de la estructura y se manufacturaron los componentes mecánicos que ésta soporta, se implementó el sistema de transmisión de los cepillos giratorios integrado por poleas, banda, cadenas y tren de engranaje para procesar el ajo.

Para que el proceso de remoción de la cáscara de dientes de ajos se desarrollará de manera automática, se diseñó e implementó un sistema de control todo/nada integrado por actuadores y sensores que permiten efectuar un proceso secuencial y controlado dividido por etapas.

En diseño electrónico se implementó la etapa para amplificar y acondicionar la señal de los sensores para que pudiera ser leída por el controlador, éste fue elegido con un análisis donde se compararon factores clave como costo y aplicación de los requerimientos de la máquina, finalmente se seleccionó un Arduino ya que el proceso se enfoca en la interacción y control de señales de entrada y salida. El controlador está protegido con la etapa de potencia que aísla el circuito con optoacopladores.

Se seleccionó y diseñó la interfaz humano-máquina que permite al usuario ingresar la cantidad de ciclos de trabajo para la producción, visualizar el estado de los actuadores y medición de los sensores, así como detener el funcionamiento de la máquina en cualquier momento.

En el gabinete se montaron adicionalmente actuadores mecánicos (switch de palanca) para proteger al equipo, conexiones y operador en caso de una emergencia. Los componentes de corriente alternan están conectados a un respectivo switch antes de las conexiones del relé de optoacoplador, de mismo modo, la pantalla y la fuente de alimentación conmutada, además se ubicó un paro de emergencia en el lateral derecho del gabinete.

Durante el transcurso de planeación y manufactura, surgieron inconvenientes para el diseño inicial del prototipo, del cual, soldar el acero inoxidable 304 para la creación de la

estructura llegó a ser uno, la soldadura perturba la pureza del material si no se sabe tratar con cuidado. Se optó por rediseñar la estructura con dobleces y pestañas para un ensamblaje por tornillería, de esa manera, se garantiza mayor seguridad en la manufactura de la estructura principal.

Posterior al rediseño, se negó la compra de los cepillos hechos a la medida de grado industrial, el precio elevaba excesivamente lo presupuestado disparando el costo de la máquina, como solución al problema, se manufacturaron cepillos propios con las medidas establecidas inicialmente para la máquina

De próximo a la manufactura de los cepillos, comenzó una cadena de dificultades, el eje de los cepillos no podía ser de $\frac{1}{2}$ "sin provocar un daño a las cerdas de los cepillos, entonces, se buscó un nuevo eje y por medio de reductores se acoplaron los nuevos ejes de los cepillos a la estructura, ahora solo faltaba la búsqueda de reductores para el acoplamiento ideal de los engranes a los ejes. Se utilizaron taquetes expansores con un diámetro interno igual al de los ejes y uno externo igual al diámetro interno de las catarinas. Debido al cambio de ejes y lograr una mayor estabilidad a estos, se modificó el sistema de transmisión para evitar pandeos en los ejes causados por el peso de los componentes de transmisión.

Como aprendizaje se concluye que del diseño a la implementación y construcción se encuentran dificultades y variantes, pero se encontraron las soluciones aplicando lo aprendido en la trayectoria académica de mecánica, electrónica, control y programación, cumpliendo con los objetivos y obteniendo como producto una máquina peladora de ajos automatizada con una eficiencia de pelado de 43.53% y producción de 37.86 kg/hr que se pondrá en marcha y ayudará a pequeños y medianos productores a procesar los dientes de ajo y darles un valor agregado.

IX FUENTES DE CONSULTA

Referencias

- [1] Secampo, «Gobierno del Estado de Zacatecas,» 29 junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.zacatecas.gob.mx/conserva-zacatecas-primeros-lugares-en-produccion-de-hortalizas/#:~:text=El%20cultivo%20del%20ajo%20se,a%20601%20millones%20de%20pesos..> [Último acceso: 23 enero 2021].
- [2] SAGARPA, Estudio multidimensional para la identificación de la demanda de pasta de ajo y ajo picado para los mercados del Medio Oriente, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación , 2015.
- [3] FIRCO, «Fideicomiso de Riesgo Compartido,» Gobierno de México, 06 noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/firco/es/articulos/el-ajo-un-producto-sazonador-y-medicinal?idiom=es>. [Último acceso: 23 enero 2021].
- [4] M. Adaptación de Cultivares de Ajo Morado y Blanco (*Allium sativum* L.) en Guerrero, L. Moreno, Guanajuato, México.: Universidad de Guanajuato, 2005.
- [5] J. Burba, PRODUCCIÓN DE AJO, Mendoza, Argentina. : Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria , 2003.
- [6] M. M. y. D. Samuel, Development and performance evaluation of a garlic peeler, Bengaluru, India: Indian Institute of Horticultural Research, 2012.
- [7] H. R. Z. S. S. M. N. y. A. e.-h. K Y Yen, Design and Analysis of Garlic Peeler Machine, Perlis, Malaysia., 2020.
- [8] E. Ajero, «El Ajero - Cooperativa Extremeña de Ajos de Aceuchal S.C. España,» 19 enero 2018. [En línea]. Available: <http://www.coajosaceuchal.es/es/ajos-pelados-proceso-y-ventajas-de-su-consumo/>. [Último acceso: 01 febrero 2021].
- [9] U. D. O. H. A. H. SERVICES, Food Code, U.S.A., 2017.
- [10] S. d. Salud, Manual de Buenas Prácticas de higiene y sanidad, D.F. , México.: Secretaría de Salud, 1999.
- [11] R. Hernandez, Introducción a los sistemas de control., México: Pearson, 2010.
- [12] K. Ogata, Ingeniería de Control Moderna, España: Pearson, 2010.
- [13] M. J. L. Francisco Rodríguez Rubio, Control adaptativo y robusto., Sevilla, 1996.
- [14] M. B., «Sistema de adquisición de datos.,» 2017. [En línea]. Available: <http://materias.df.uba.ar/mta2019c1/files/2014/08/Adquisicion-de-datos-Aguero.pdf>. [Último acceso: 02 02 2021].

- [15] «Engineer Ambitiously,» [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n17:daq/fmid/652/>. [Último acceso: 02 02 2021].
- [16] J. Balcells, *Autómatas Programables*, España: Marcombo, 1997.
- [17] L. P. REYNADA, *Microprocesadores*, Tlalnepantla, México: Red Tercer Milenio, 2012.
- [18] G. S. A. J. M. C. Leonel G. Corona, *Sensores y actuadores. Aplicaciones con Arduino.*, México D.F.: Grupo Editorial Patria., 2014.
- [19] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos*, México: Pearson, 2006.
- [20] I. G. Lissia Barrios, *Interfaces Hombres - Máquina*, Asunción, Paraguay, 2014.
- [21] M. Ahumada, *Diseño y simulación por software de fuentes conmutadas*, Valparaíso, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2003.
- [22] F. Apolo, *Identificación y análisis de los factores ergonómicos relacionados con el rendimiento laboral*, Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2013.
- [23] G. Hernández, *Uso de medidas antropométricas para el diseño de estaciones de trabajo enfocado a operadoras de las industrias de la ZMG, Guadalajara*, México: CIATEQ, 2015.
- [24] A. Rangel, *Estudio antropométrico de la población mexicana masculina laboralmente productiva*, Estado de México: ESIME Instituto Politécnico Nacional MÉXICO, 2015.
- [25] J. Hernández, *Máquina Mezcladora Automatizada*, Zacatecas: UPIIZ IPN, 2016.
- [26] J. M. y. J. M. J. Félix, *Prototipo deshidratador de alimentos automatizado*, Zacatecas: UPIIZ IPN, 2016.
- [27] D. U. y. M. Guerrero, *Diseño y construcción de una máquina semi-automatizada para el proceso de extracción de semilla de calabaza*, Zacatecas: UPIIZ IPN, 2016.
- [28] S. G. S. M. Co, «Sanli Grain Sorting Machinery,» [En línea]. Available: en.sanli.net. [Último acceso: 15 Febrero 2021].
- [29] ALIMTECH, «Cotización PELADORAS DE AJO FX-128-S/ ry100,» 2021.
- [30] S. J. M. Co, «Shandong Jiahe Machinery,» [En línea]. Available: <http://www.dzjiahe.com>. [Último acceso: 15 Febrero 2021].
- [31] F. H. Z. García, *Diseño de una máquina peladora de ajo*, Zamorano, Honduras, 2009.
- [32] A. S. B. M. J. L. FIGUEROA ZAMBRANO, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PELADORA, DESHIDRATADORA Y PULVERIZADORA DE AJO EN SAN JUAN DE PASTO.*, Nariño, San Juan de Pasto, Colombia., 2020.
- [33] G. E. M. Campaña, *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA PELADORA DE AJO PARA*

EL PEQUEÑO AGRICULTOR DEL ECUADOR., Quito, 2013.

- [34] M. J. Ag., DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A GARLIC "Allium sativum" PEELING PROTOTYPE, Cairo, Egipto. , 2017.
- [35] C. P. y. P. A., Manual de Ergonomía para Máquinas del Sector de Transformados de Madera, Instituto de Biomecánica de Valencia : Valencia, España, 2019.
- [36] Dodge, PT COMPONENTS ENGINEERING CATALOG, Greenville, Estados Unidos: Dodge - Baldor, 2010.
- [37] S. Moya, Características del Estándar ANSI/ISA-101.01-2015: Interfaces Humano-Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos, Ciudad de México: Revista InTech México Automatización, 2019.
- [38] J. Rodríguez, Buenas prácticas para el diseño de HMI de alto rendimiento, 2012: Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia.
- [39] I. M. y. C. Maldonado, ESFUERZOS RESIDUALES GENERADOS EN LA SOLDADURA DE PLACAS DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 MEDIANTE EL PROCESO SMAW, Morelia, Micoachán, México: Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, 2006.
- [40] A. Monzon, «Monpex Mantenimiento Acero Inoxidable,» 13 mayo 2017. [En línea]. Available: <https://monpex.com/wp-content/uploads/Monpex-MantenimientoAceroInoxidable.pdf>.
- [41] U. Peñuelas, METODOLOGÍA PARA DISEÑO MECATRÓNICO, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.
- [42] C. d. México, «CEPEMEX,» [En línea]. Available: <http://cepemex.com/>. [Último acceso: 01 05 2021].

X. ANEXOS

Anexo I. Diagramas de Gantt

Diagrama de Gantt Trabajo Terminal I

MES	Febrero	Marzo					Abril			Mayo					Junio		
SEMANA	4	1	2	3	4	5	3	4	5	2	3	4	5	1	2	3	
Documentación.	Planificado																
Planteamiento del problema.	Planificado	Ejecutado															
Análisis y selección del sistema mecánico.		Ejecutado	Planificado	Planificado	Planificado	Planificado											
Diseño CAD de los elementos mecánicos.			Ejecutado	Planificado	Planificado	Planificado				Ejecutado	Ejecutado	Ejecutado					
Cálculo de cargas y selección de los materiales de los elementos mecánicos.			Ejecutado	Planificado	Planificado	Planificado				Ejecutado	Ejecutado	Ejecutado					
Simulación y análisis de esfuerzos de los elementos mecánicos.				Planificado	Planificado	Planificado			Ejecutado								
Diseño de control.					Planificado	Planificado	Planificado	Planificado	Ejecutado	Ejecutado							
Selección de controlador electrónico.							Planificado	Planificado	Planificado		Ejecutado						
Selección de sensores.							Planificado	Planificado	Planificado	Ejecutado	Ejecutado						
Selección de actuadores.							Planificado	Planificado	Planificado	Ejecutado	Ejecutado						
Diseño electrónico.								Planificado	Planificado	Planificado	Ejecutado	Ejecutado					
Selección de la interfaz.								Planificado	Planificado	Planificado	Ejecutado	Ejecutado					
Simulación del sistema.										Planificado							
Ajustes y modificaciones.							Ejecutado	Ejecutado	Ejecutado	Ejecutado	Ejecutado	Ejecutado					
Análisis de resultados finales.													Planificado	Planificado	Planificado	Planificado	
Revisión y trabajo con los asesores.	Planificado																
					Ejecutado												

 Planificado.

 Ejecutado.

Diagrama de Gantt Trabajo Terminal II

MES	Agosto					Septiembre					Octubre				Noviembre			
SEMANA	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4		
Documentación.	Planificado.					Planificado.					Ejecutado.				Ejecutado.			
Adquisición para los materiales de la estructura mecánica.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Manufactura de los elementos mecánicos.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Adquisición de los elementos electrónicos.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Adquisición de sensores y actuadores.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Acondicionamiento de sensores.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Prueba de actuadores.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Ensamble mecánico.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Implementación de sensores y actuadores.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Configuración del sistema de control.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Diseño y creación de la interfaz de usuario.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Acoplamiento del sistema.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Pruebas en conjunto del sistema.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Ajustes y modificaciones.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Análisis de resultados finales.	Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.		Planificado.		Ejecutado.				Ejecutado.					
Revisión y trabajo con los asesores.	Planificado.					Planificado.					Ejecutado.				Ejecutado.			

- Planificado.
- Ejecutado.

Anexo II. Carta compromiso de financiamiento

Zacatecas, 05/02/2021

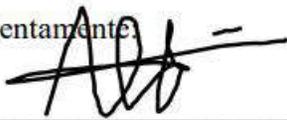
Ricardo Delgado Duarte,

Por medio del presente documento, yo **Aldo Heladio Verver y Vargas Duarte**, en representación de la empresa **Procesadora de Alimentos de Zacatecas** como socio mayoritario, en Zacatecas, me comprometo al apoyo económico correspondiente al concepto del **proyecto** “Prototipo de Máquina Peladora de ajos automatizada” que se llevarán a cabo por los estudiantes de ingeniería mecatrónica, Tomás Belmontes Cisneros y Ricardo Delgado Duarte del Instituto Politécnico Nacional.

Con esto dejo constancia que, para la fecha mencionada, primero de julio del 2021, habré cubierto el pago sobre dicho concepto, para el desarrollo y cumplimiento del proyecto para la fecha establecida, diciembre 2021.

Sin más a que hacer referencia por los momentos, me despido cordialmente de usted luego de exponer los motivos principales en el presente documento.

Atentamente,



Aldo Heladio Verver y Vargas Duarte

Anexo III. Controladores Comerciales

Opción	Nombre	Características
A	Plc Siemens Logo V8 	Controlador lógico programable, resistente a la vibración y al impacto. <ul style="list-style-type: none"> • Costo: \$4,000.00 mxn. • Módulo lógico con pantalla. • Alimentación: 12/24V DC/Relé. • 8ED (Entradas digitales) de las cuales 4 pueden funcionar como EA (entradas analógicas). • 4 SD (Salidas digitales) de réle. • Memoria: 400 bloques. • Expansión por módulos. • Ethernet. • Servidor WEB. • Registro de datos.
B	Arduino Mega 2560 	Placa basada en un microcontrolador ATMEL. <ul style="list-style-type: none"> • Costo: \$400.00 mxn • Microcontrolador: ATmega2560 • Voltaje de operación: 5V • Voltaje de entrada : 7V a 12V (recomendado) • Rango de voltaje tolerado: 6V a 20V • Pines Digitales I/O: 54 (de los cuales 14 son PWM) • Entradas Analógicas: 16 entradas • Corriente Directa por Pin: 20mA • Corriente Directa por Pin de 3.3v: 50mA • Memoria Flash: 256 KB; SRAM: 8 KB; EEPROM: 4 KB

C	<p>Raspberry Pi 3</p>  A photograph of a Raspberry Pi 3 Model B single-board computer. The board is green and populated with various components including a central processor, RAM, and various ports like USB, HDMI, and Ethernet.	<p>Placa de un ordenador simple de bajo coste.</p> <ul style="list-style-type: none">• Costo: \$1,400.00 mxn• CPU: Procesador de cuatro núcleos a 1,5 GHz con brazo Cortex-A72• 2 GB LPDDR4-3200 SDRAM.• WiFi doble banda 802.11ac, 2.4GHz y 5GHz.• Bluetooth 5 LE (Bajo consumo).• Gigabit Ethernet.• 40 pines GPIO.• 2 puertos micro HDMI soporta 4Kp60.• 2 puertos USB 3.0 y 2 puertos USB 2.0.• Conector de alimentación 5VDC USB-C.
---	--	---

Anexo IV. Hojas de datos y especificaciones de componentes seleccionados

Aspiradora Seco-Mojado 2.5 galones WD-2.5 K



CARACTERÍSTICAS:

- ▶ Motor de 1.75 Peak H.P.
- ▶ Tanque con capacidad de 2.5 galones
- ▶ Aspira sólidos y líquidos
- ▶ Sistema de expulsión de aire
- ▶ Filtro plisado desmontable
- ▶ Porta accesorios
- ▶ Sistema anti-derrames
- ▶ Guarda cable
- ▶ Manguera flexible de 1 ¼"
- ▶ Accesorio tapicero
- ▶ Accesorio esquinero
- ▶ Color negro con verde

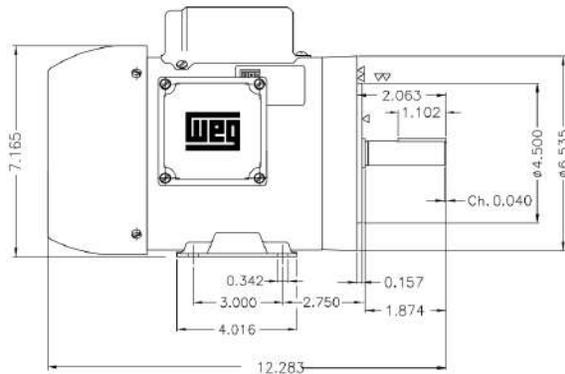
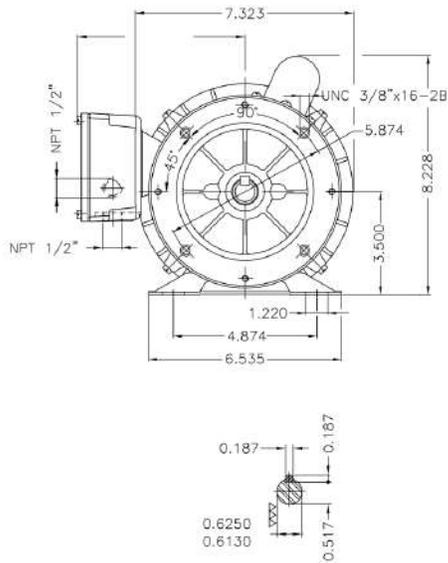
Dimensiones con empaque:

- ▶ Alto: 38.1 cm
- ▶ Ancho: 32.5 cm
- ▶ Profundo: 33.5 cm
- ▶ Peso: 2.9 kg

Dimensiones sin empaque:

- ▶ Alto: 35.0 cm
- ▶ Ancho: 30.0 cm
- ▶ Profundo: 25.0 cm
- ▶ Peso: 2.1 kg

Motor monofásico WEG 1 H.P.



HOJA DE DATOS					
Motor Monofásico de Inducción - Rotor de Jaula					
Cliente	: Tomás Belmontes Cisneros				
Línea del producto	: General Monofásico		Código del producto :	13005665	
			Catalog # :	00118ES1BOD56C	
Carcasa	: D56C		Tiempo de rotor bloqueado	: 10s (frío) 6s (caliente)	
Potencia	: 1 HP (0.75 kW)		Elevación de temperatura	: 80 K	
Polos	: 4		Régimen de servicio	: Cont.(S1)	
Frecuencia	: 60 Hz		Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C	
Tensión nominal	: 115/208-230 V		Altitud	: 1000 m	
Corriente nominal	: 14.0/6.80-7.00 A		Grado de protección	: IP55	
Corriente de arranque	: 91.0/44.2-45.5 A		Método de refrigeración	: IC411 - TEFC	
Ip/In	: 6.5x(Cód. M)		Forma constructiva	: F-1	
Corriente en vacío	: 11.5/0.000-5.75 A		Sentido de giro ¹	: Ambos	
Rotación nominal	: 1750 rpm		Nivel de ruido ²	: 55.0 dB(A)	
Resbalamiento	: 2.78 %		Método de Arranque	: Partida directa	
Torque nominal	: 0.415 kgfm		Masa aproximada ³	: 15.3 kg	
Torque de arranque	: 320 %				
Torque máximo	: 270 %				
Clase de aislamiento	: B				
Factor de servicio	: 1.15				
Potencia	25%	50%	75%	100%	Fuerzas en la fundación
Rendimiento (%)	0.000	60.0	67.0	70.3	Tracción máxima : 28 kgf
Cos Φ	0.00	0.45	0.56	0.65	Compresión máxima : 43 kgf
Tipo de cojinete	:	<u>Delantero</u>		<u>Trasero</u>	
Sello	:	6204 ZZ		6202 ZZ	
Intervalo de lubricación	:	V'Ring		V'Ring	
Cantidad de lubricante	:	0 h		0 h	
Tipo de lubricante	:	0 g		0 g	
		Mobil Polyrex EM			

Arduino MEGA 2560



[OVERVIEW](#)

[TECH SPECS](#)

[DOCUMENTATION](#)

[FAQ](#)

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Sensor de movimiento Pir Hc-sr501.

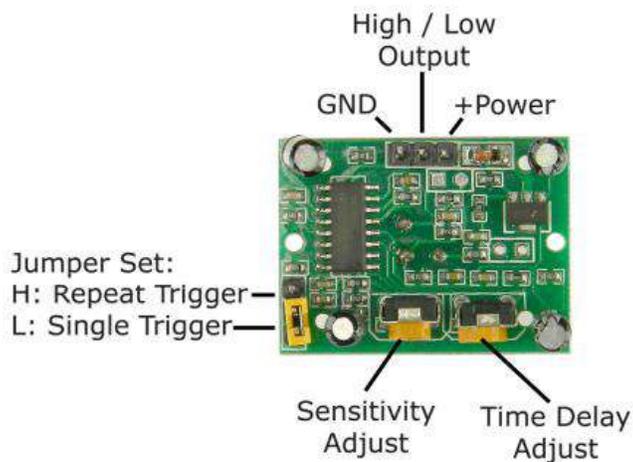
- 1 working voltage range :DC 4.5-20V
- 2 Quiescent Current :50uA
- 3 high output level 3.3 V / Low 0V
4. Trigger L trigger can not be repeated / H repeated trigger
5. circuit board dimensions :32 * 24 mm
6. maximum 110 ° angle sensor
7. 7 m maximum sensing distance

Product Type	HC--SR501 Body Sensor Module
Operating Voltage Range	5-20VDC
Quiescent Current	<50uA
Level output	High 3.3 V /Low 0V
Trigger	L can not be repeated trigger/H can be repeated trigger(Default repeated trigger)
Delay time	5-300S(adjustable) Range (approximately .3Sec -5Min)
Block time	2.5S(default)Can be made a range(0.xx to tens of seconds
Board Dimensions	32mm*24mm
Angle Sensor	<110 ° cone angle
Operation Temp.	-15-+70 degrees
Lens size sensor	Diameter:23mm(Default)

Application scope

- Security products
- Body induction toys
- Body induction lamps
- Industrial automation control etc

Pyroelectric infrared switch is a passive infrared switch which consists of BISS0001 ,pyroelectric infrared sensors and a few external components. It can open all kinds of equipments, including incandescent lamp, fluorescent lamp, intercom, automatic, electric fan, dryer and automatic washing machine, etc. It is widely used in enterprises, hotels, stores, and corridor and other sensitive area for automatic lamp, lighting and alarm system.



Caudalímetro YF-B2



Water Flow Sensor YF-B2

SKU 114991172

Technical details

Dimensions	6mm x0mm x0mm
Weight	G.W 99g
Battery	Exclude
Mini. Working Voltage	DC 4.5V
Max. Working Current	15mA (DC 5V)
Working Voltage	DC 5V~15V
Flow Rate Range	1~25L/min
Frequency	$F=(11*Q)Q=L/MIN\pm 3\%$
Load Capacity	$\leq 10mA$ (DC 5V)
Operating Temperature	0 ~ 80°C
Liquid Temperature	$\leq 120^{\circ}C$
Operating Humidity	35%~90%RH

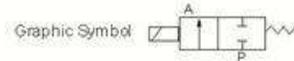
Válvula solenoide normalmente cerrada (N/C)

2W(Large Aperture)Series Two-position Two-Way Direct Drive Type Solenoid Valve



Ordering Code

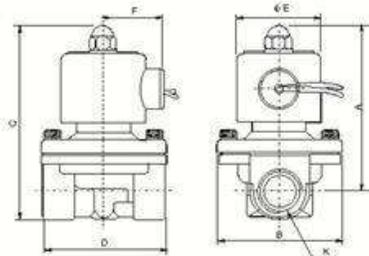
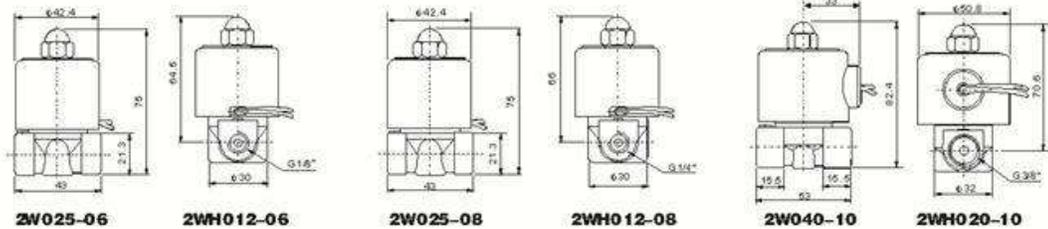
2W	160	15	AC110V	V
Specification Code 2W:Two-position two-way solenoid valve direct drive type	Aperture of Flow Rate 160:16mm 200:20mm 250:25mm 350:35mm 400:40mm 500:50mm	Port Size 10:G3/8" 15:G1/2" 20:G3/4" 25:G1" 35:G1 1/4" 40:G1 1/2" 50:G2"	Standard Voltage DC12V DC24V AC24V 50Hz/60Hz AC36V 50Hz/60Hz AC110V 50Hz/60Hz AC220V 50Hz/60Hz AC380V 50Hz/60Hz	Oil Seal Code Bank NBR V:VITON(for high temperature)



Specification

Model	2W160-10	2W160-15	2W200-20	2W250-25	2W350-35	2W400-40	2W500-50
Working Medium	Air,Water,Oil,gas						
Motion Pattern	Direct Drive Type						
Type	Normal Close Type						
Aperture of Flow Rate(mm)	16		20		28	40	50
CV Value	4.8		7.6		24	29	48
Port Size	G3/8"	G1/2"	G3/4"	G1"	G1 1/4"	G1 1/2"	G2"
Operation Fluid Viscosity	20 CST (Below)						
Working-pressure	Air:0~0.7MPa		Water:0~0.5MPa		Oil:0~0.5MPa		
Max. Pressure Resistance	1.0MPa						
Operating Temperature Range	-5~+80°C						
Voltage Range	± 10%						
Material of Body	Brass(Material of stainless steel need special explain)						
Material of Oil Seal	NBR or VITON						

Overall Dimensions

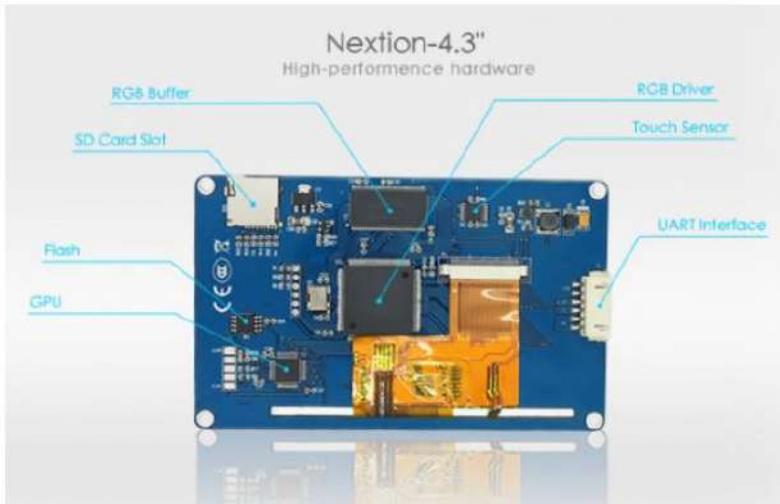


2W(Large Aperture)

Dimension Sheet

Symbol/Model	A	B	C	D	E	F	K
2W160-10	101.5	57	117	69	50	38	G3/8"
2W160-15	101.5	57	117	69	50	38	G1/2"
2W200-20	107	57	123.5	73	50	38	G3/4"
2W250-25	111.5	73.5	134.5	98	50	38	G1"
2W350-35	142	95	172	123	70.5	58	G1 1/4"
2W400-40	142	95	172	123	70.5	58	G1 1/2"
2W500-50	172	123	209	188	70.5	58	G2"

Pantalla táctil LCD Nextion NX4827T043



Specifications

	Data	Description
Color	64K 65536 colors	16 bit 565, 5R-6G-5B
Layout size	120(L)×74(W)×5(H)	NX4827T043_011N
	120(L)×74(W)×6.2(H)	NX4827T043_011R
Active Area (A.A.)	105.50mm(L)×67.20mm(W)	
Visual Area (V.A.)	95.04mm(L)×53.86mm(W)	
Resolution	480×272 pixel	Also can be set as 272×480
Touch type	Resistive	
Touches	> 1 million	
Backlight	LED	
Backlight lifetime (Average)	>30,000 Hours	
Brightness	250nit (NX4827T043_011N)	0% to 100%, the interval of adjustment is 1%
	230 nit (NX4827T043_011R)	0% to 100%, the interval of adjustment is 1%
Weight	79.3g (NX4827T043_011N)	
	93.8g (NX4827T043_011R)	

Electronic Characteristics

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Operating Voltage		4.75	5	7	V
Operating Current	VCC=+5V, Brightness is 100%	-	250	-	mA
	SLEEP Mode	-	15	-	mA
Power supply recommend : 5V, 500mA, DC					

Relé SRD-05VDC-SL-C

PCB JQC-T73

- 10A switching capability
- Small footprint
- Sealed type available
- Class B/F available
- Conform to RoHS,ELV directive
- Size : 19.2X15.4X15.4mm

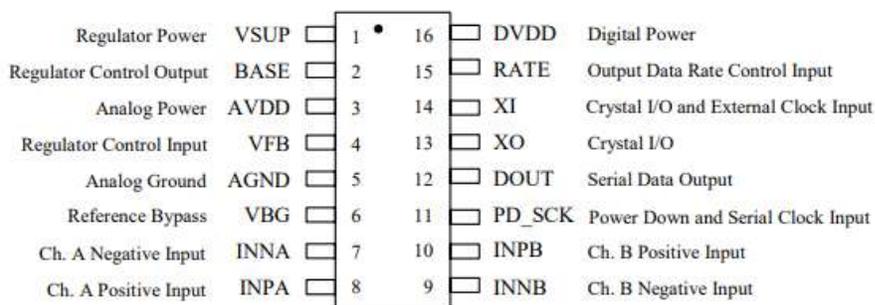


CONTACT DATA

Contact Form	1H/1Z
Contact Material	Silver Alloy
Load	Resistive load(COSφ= 1)
Contact Ratings	10A 250vac 15A 125vac 10A 28vdc
Minimum load	100mA 5VDC
Max Switching Voltage	250VAC/30VDC
Max Switching Current	15A
Max Switching Power	2770VA/240W
Contact Resistance	100mΩMax at 6VDC 1A
Life Expectancy	Electrical : 100,000 Operations(at30Operations/minute)
	Mechanical : 10,000,000 Operations(at300Operations/minute)

Módulo HX711

Pin Description



SOP-16L Package

Pin #	Name	Function	Description
1	VSUP	Power	Regulator supply: 2.7 ~ 5.5V
2	BASE	Analog Output	Regulator control output (NC when not used)
3	AVDD	Power	Analog supply: 2.6 ~ 5.5V
4	VFB	Analog Input	Regulator control input (connect to AGND when not used)
5	AGND	Ground	Analog Ground
6	VBG	Analog Output	Reference bypass output
7	INA-	Analog Input	Channel A negative input
8	INA+	Analog Input	Channel A positive input
9	INB-	Analog Input	Channel B negative input
10	INB+	Analog Input	Channel B positive input
11	PD_SCK	Digital Input	Power down control (high active) and serial clock input
12	DOUT	Digital Output	Serial data output
13	XO	Digital I/O	Crystal I/O (NC when not used)
14	XI	Digital Input	Crystal I/O or external clock input, 0: use on-chip oscillator
15	RATE	Digital Input	Output data rate control, 0: 10Hz; 1: 80Hz
16	DVDD	Power	Digital supply: 2.6 ~ 5.5V

Anexo V. Cálculo de corriente consumida por componentes de alterna

$$I = \frac{P}{V} \quad (7)$$

Donde:

- I Corriente [A]
- P Potencia [W]
- V Voltaje [V]

Conversión:

$$W = H.P.* 745.7 \quad (8)$$

- W Potencia en watts [W]
- P Potencia en caballos de fuerza [H.P.]

Válvula solenoide

$$I = 1 \text{ A, hoja de datos}$$

Motor monofásico 1 H.P.

$$P = 1 \text{ H.P.} * 745.7 = 745.7 \text{ W}$$

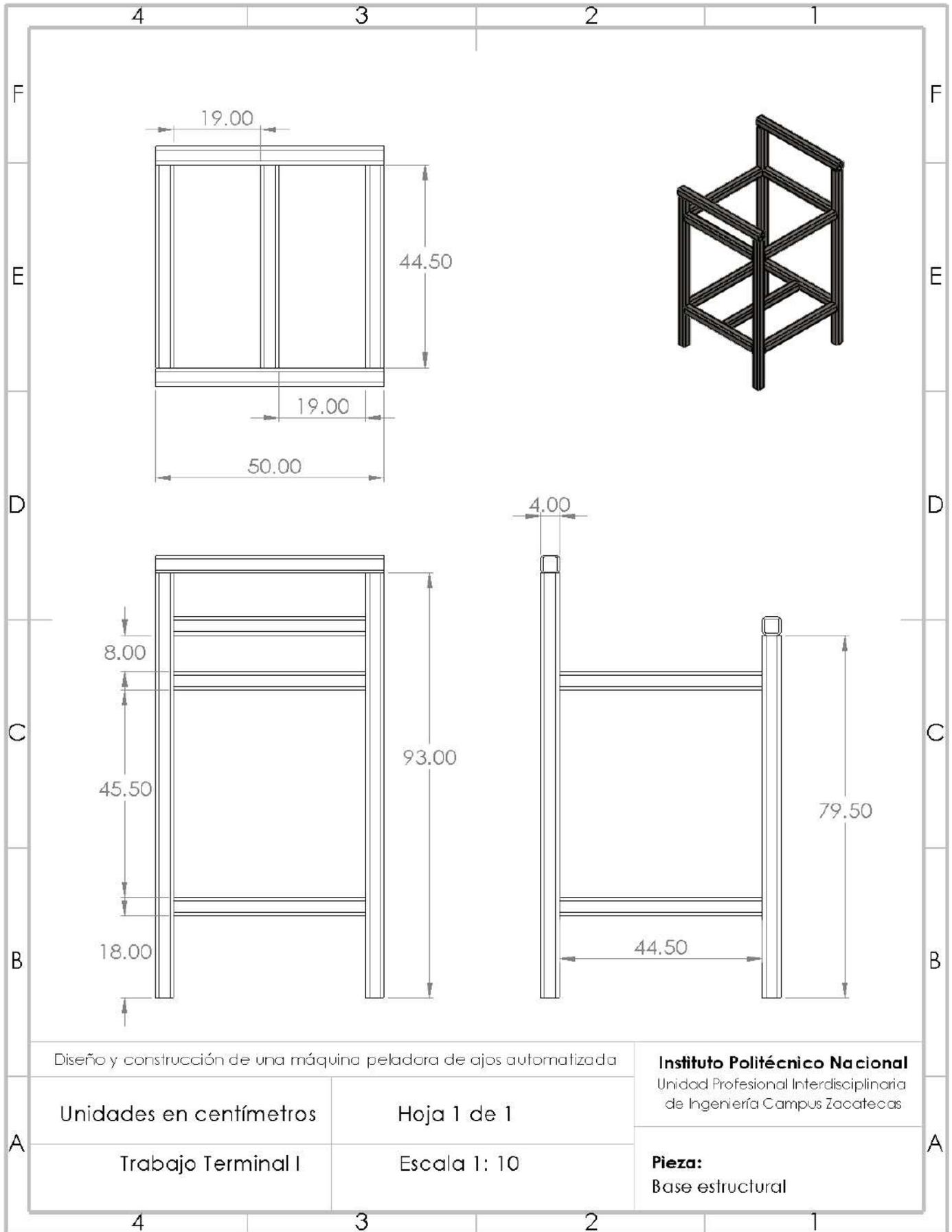
$$I = \frac{745.7 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 6.214 \text{ A}$$

Aspiradora

$$P = 1.75 \text{ H.P.} * 745.7 = 1304.975 \text{ W}$$

$$I = \frac{1304.975 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 10.874 \text{ A}$$

Anexo VI. Planos de construcción



Diseño y construcción de una máquina peladora de ajos automatizada

Instituto Politécnico Nacional

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas

Unidades en centímetros

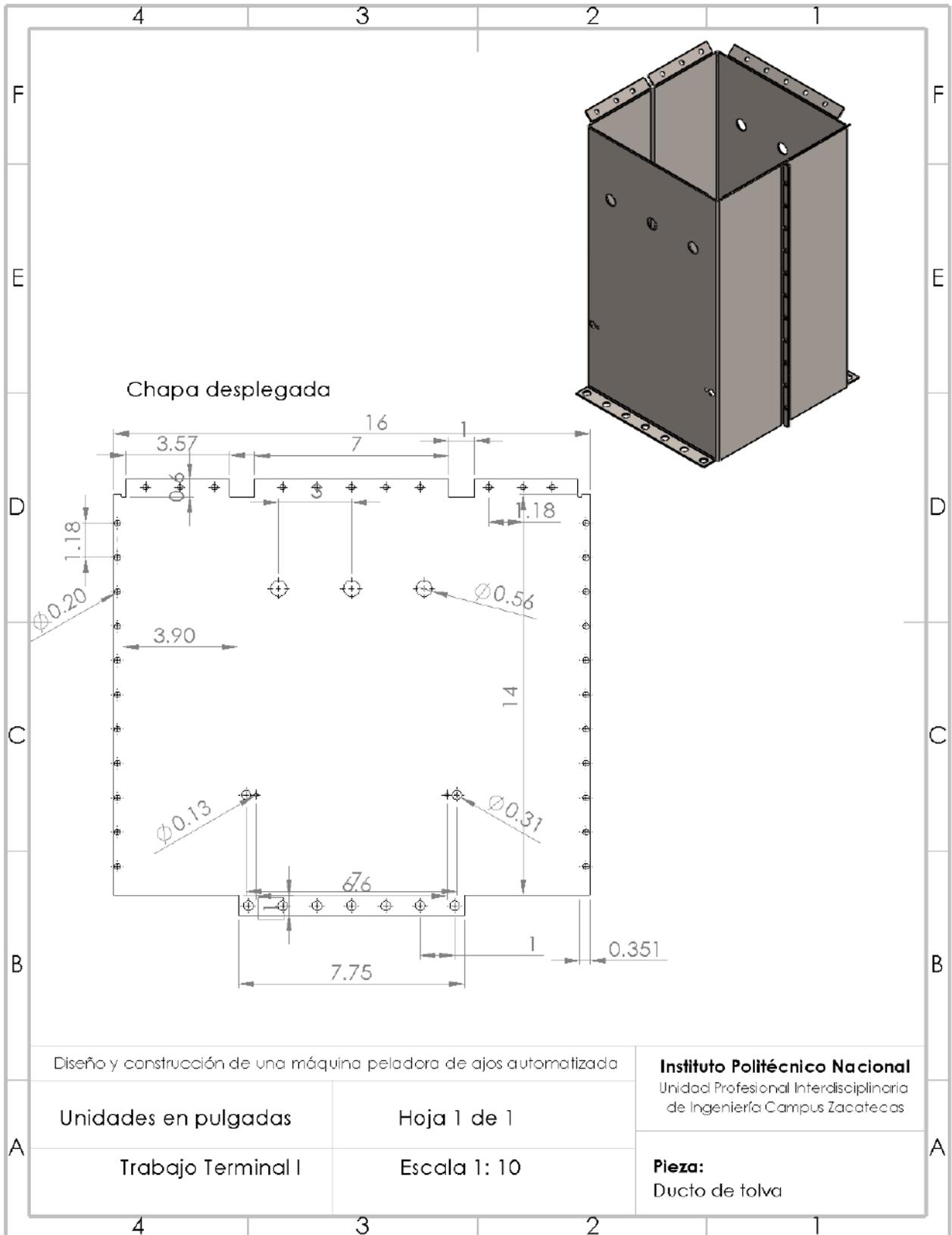
Hoja 1 de 1

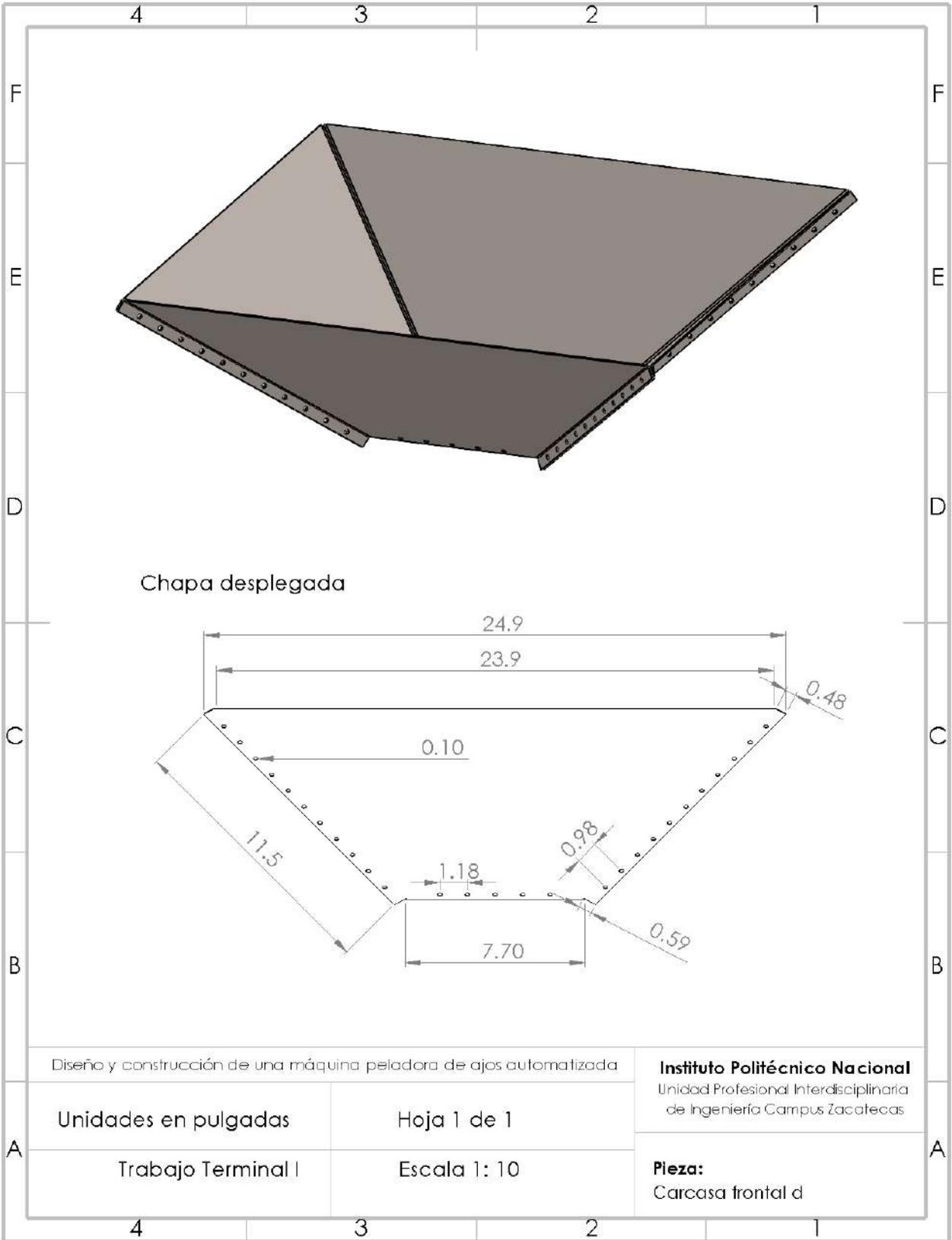
Trabajo Terminal I

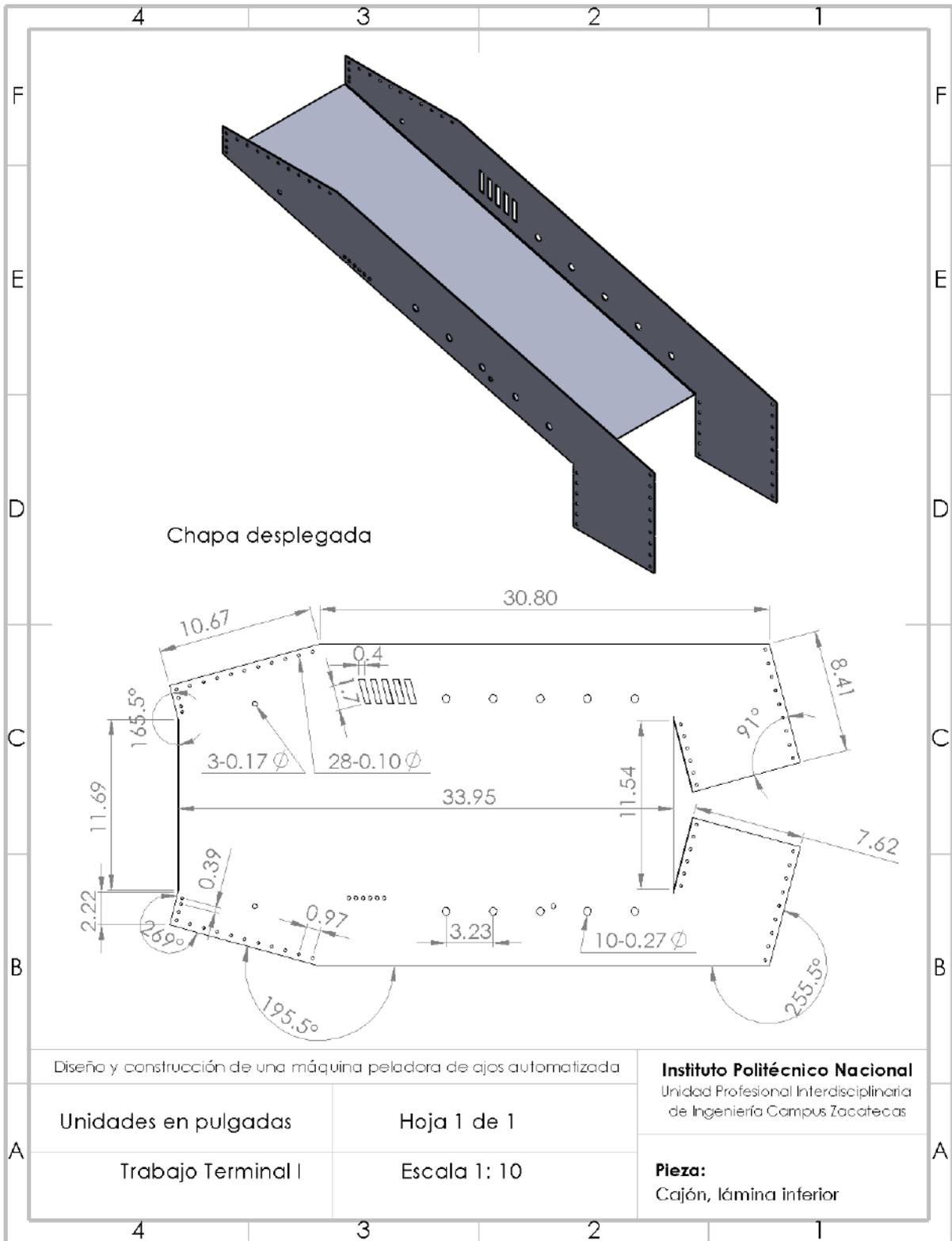
Escala 1: 10

Pieza:

Base estructural







Diseño y construcción de una máquina peladora de ajos automatizada

Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria
 de Ingeniería Campus Zacatecas

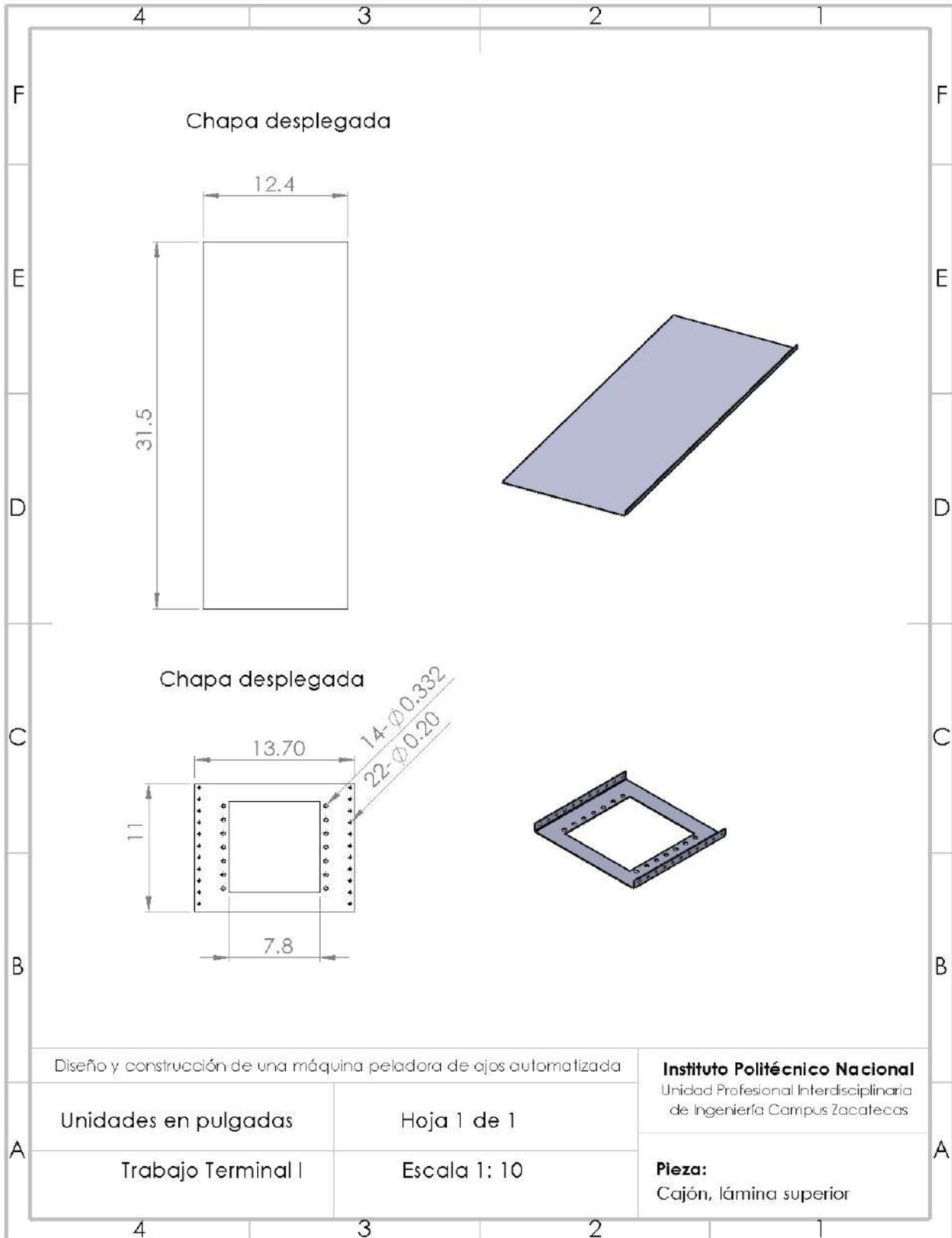
Unidades en pulgadas

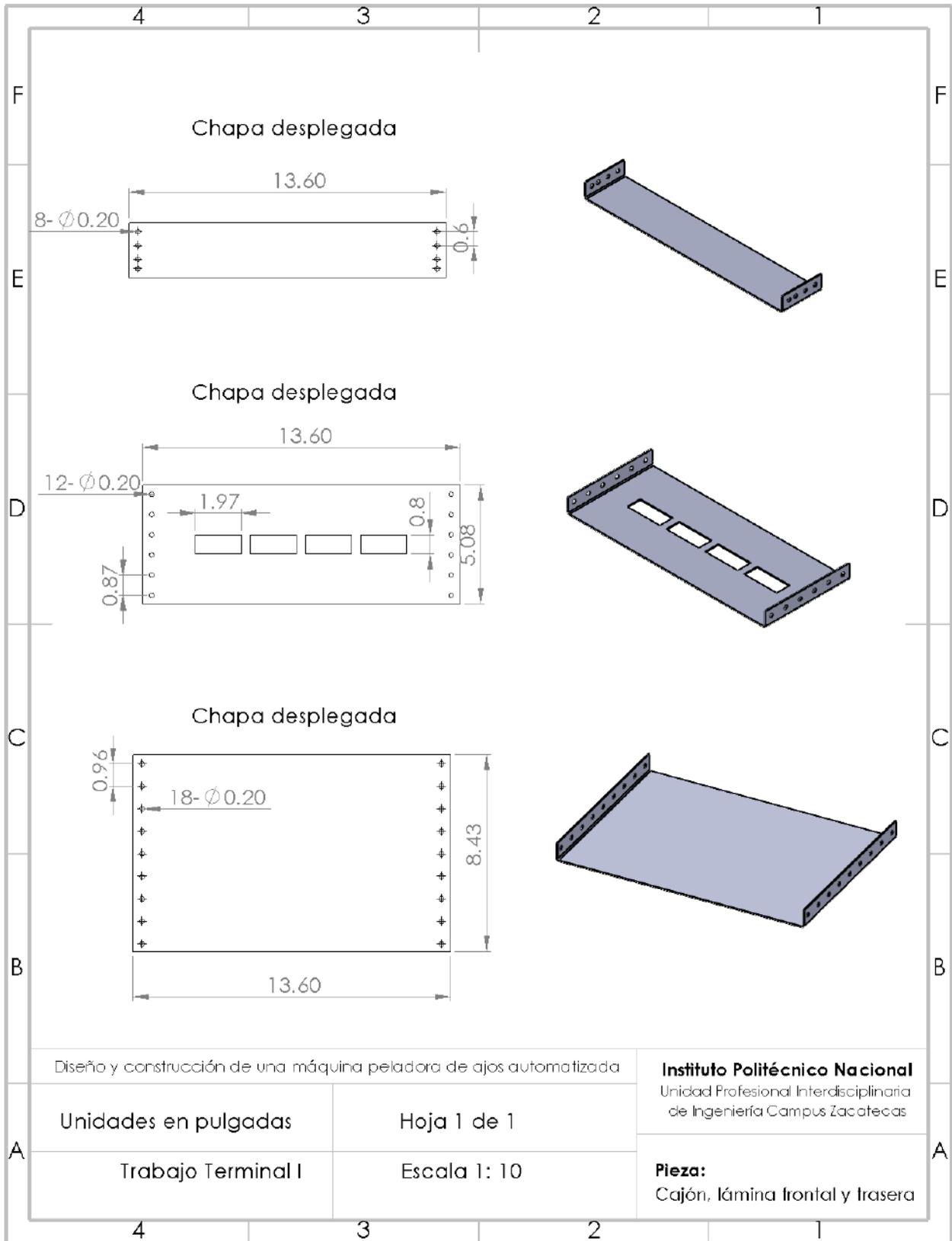
Hoja 1 de 1

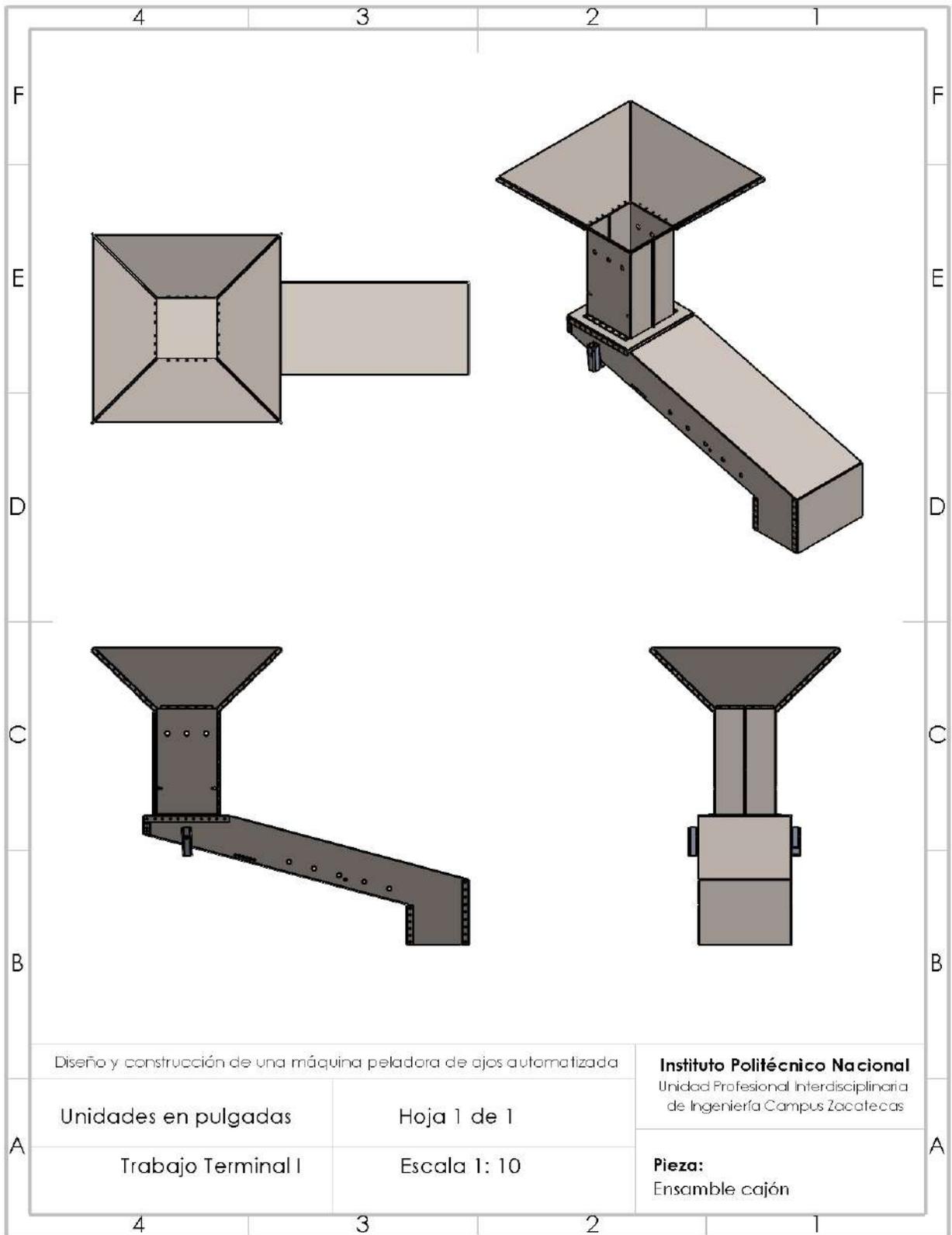
Trabajo Terminal I

Escala 1: 10

Pieza:
 Cajón, lámina inferior







Anexo VI. Cotización cepillos rotativos



Cepillos de México

Fabricando Soluciones

C. CIRUELOS MZ 3 LT 20 COL. CD CUAUHTEMOC SECC. NOPALERA I Y II C.P. 55064
 ECATEPEC DE MORELOS ESTADO MEXICO TEL: 55 13 83 68 00
 Web: www.cepemex.com E-MAIL: ventas@cepemex.com

COTIZACION No. 949

CLIENTE: ING TOMAS BELMONTES CISNEROS
 DIRECCION: ZACATECAS

REFERENCIA: ING TOMAS BELMONTES CISNEROS
 EMBARQUE: ENVIO POR PAQUETERIA PAGADA POR EL CLIENTE

CONDICIONES: 60% DE ANTICIPO RESTO CONTRA ENTREGA 15 DIAS DE ENTREGA A LA RECEPCION DEL ANTICIPO
 7 de octubre de 2021

CANT	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	IMPORTE
3	PZA	RODILLO FABRICADO EN BASE DE POLIPROPILENO DE 20 mm DE DIAMETRO x 195 mm DE LONGITUD CON FLECHA DE 12.7 mm DE DIAMETRO x 285 mm DE LONGITUD CON CERDAS DE NYLON AZUL CALIBRE 15 A UNA ALTURA DE 20 mm	\$1,545.00	\$4,635.00
5	PZA	RODILLO FABRICADO EN BASE DE POLIPROPILENO DE 20 mm DE DIAMETRO x 290 mm DE LONGITUD CON FLECHA DE 12.7 mm DE DIAMETRO x 380 mm DE LONGITUD CON CERDAS DE NYLON AZUL CALIBRE 15 A UNA ALTURA DE 20 mm	\$2,297.69	\$11,488.45
				
		IMAGEN ILUSTRATIVA		
			SUBTOTAL	\$16,123.45
			IVA	\$2,579.75
			TOTAL	\$18,703.20

Anexo VII Diseño CAD de los elementos mecánicos

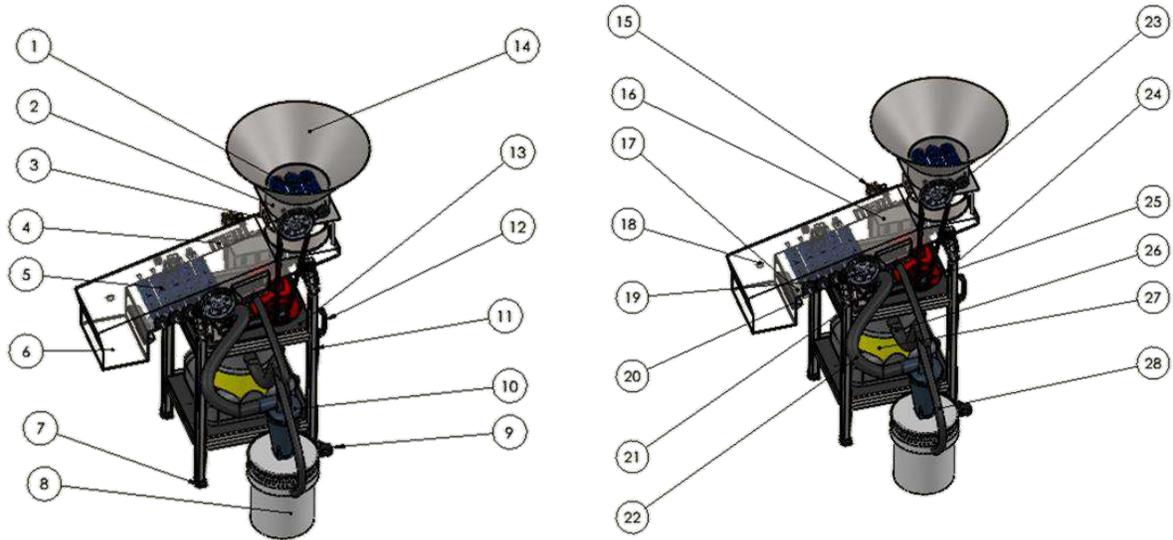


Figura 92. Vista explosionada de la máquina.

Tabla 19. Lista de componentes (Elaboración propia).

No. de pieza	Nombre de la pieza	No. de pieza	Nombre de la pieza
1	Cepillos superiores	15	Sensor de flujo
2	Ducto de tolva	16	Gabinete electrónico
3	Base de ducto de tolva	17	Conector auxiliar de extracción
4	Entradas de aire a compresión	18	Sensor de movimiento
5	Cepillos Inferiores	19	Tren de engranaje 1
6	Rampa	20	Transmisión de cadenas 1
7	Regatón	21	Transmisión de cadenas 2
8	Depósito de cáscaras	22	Manguera de extracción final
9	Llantas	23	Tren de engranaje 2
10	Separador ciclónico	24	Motor siemens
11	Base estructural	25	Transmisión de poleas
12	Gabinete	26	Manguera de aspiradora
13	Aspiradora	27	Aspiradora
14	Tolva	28	Manguera de escotilla

Anexo VIII Pruebas experimentales

- Cepillos giratorios para remover la cáscara



Figura 93. Acoplamiento para prueba de pelado.

Para realizar la prueba de pelado con cepillos giratorios se acopló al taladro comercial LDX120 de 20 V máximo que tiene un torque nominal máximo de $13 N \cdot m$ y velocidad de 0-650 rpm, un cepillo de nylon.



Figura 94. Proceso de prueba experimental con cepillo giratorio.

En la Figura 94 se observa la colocación dientes de ajo con cáscara y se hizo girar el cepillo de nylon mediante el taladro como se explica en la Figura 94. Se varió la velocidad del motor paulatinamente y se observó que acercándose a la velocidad máxima se tiene una mayor facilidad y efectividad para remover las cáscaras



Figura 95. Resultados de la prueba de cepillo.

En la Figura 95 se aprecia que los ajos quedaron sin cáscara y sin daño después del cepillado, se experimentaron con 4 ajos de los cuales 3 quedaron completamente pelados y 1 quedó parcialmente con cáscara. Es importante mencionar que únicamente se usó un cepillo para la prueba, en el diseño se propone un sistema de líneas de cepillos para asegurar la remoción completa de cáscara en todos los dientes de ajos.

- Sistema de extracción de cáscara

Se empleó la aspiradora comercial HV-120 KG3 de la marca Koblenz que tiene una potencia de motor de 400 watts (W), para visualizar la efectividad de succión para las cáscaras desprendidas.



Figura 96. Aspiradora HV-120 KG3.



Figura 97. Prueba experimental de extracción de cáscaras. a)Montaje b)Diente de ajo c) Cáscara.

Como se visualiza en la Figura 97, se colocó la boca de la aspiradora en el borde y se dejaron caer dientes de ajo y cáscaras por efecto de gravedad, los dientes de ajo caen libremente, y toda la cáscara es aspirada.

Anexo IX Código de control e interfaz:

```
#include <Nextion.h>

//#include "NexText.h"

#define SensorFlujo analogRead(A1)

//#include <NexVariable.h>

#include <NexNumber.h>

//const int led1=8;

//const int led1=LED_BUILTIN;

const int motor=7;

const int motorL=6;

const int valvula = 8;

const int extractor = 9;

int CurrentPage = 0; // Create a variable to store which page is currently loaded

int aux;

int mov;

int val;

int val2;

int pir=4;

int auxExtractor;

int auxValvula;

uint32_t SensorFlujoAc=SensorFlujo/4; //Sensor flujo acondicionado

int bCiclos;

bool banderaAct = false;

uint32_t ocho=80; //encendido

uint32_t nueve=9; //apagado

// Incluimos la librería para poder controlar el servo

#include <Servo.h>
```

//Componentes

//NexButton bOn = NexButton(7, 2, "b0");

//botones de inicio PESO

NexButton bOn = NexButton(7, 2, "b0"); //ciclos infinitos

NexButton bOn1 = NexButton(12, 2, "b0"); //2 ciclos

NexButton bOn2 = NexButton(13, 2, "b0"); //5 ciclos

NexButton bOn3 = NexButton(14, 2, "b0"); //10 ciclos

NexButton bOn4 = NexButton(15, 2, "b0"); //20 ciclos

//NexDSButton bOn4 = NexDSButton(15, 4, "bt0"); //4 kg

//paros

NexButton bOff = NexButton(1, 3, "b1");

NexButton bOff2 = NexButton(0, 7, "b5");

NexButton bOff3 = NexButton(3, 3, "b2");

NexButton bOff4 = NexButton(4, 3, "b1");

NexButton bOff5 = NexButton(5, 3, "b1");

//Indicadores

NexNumber IndCepillos1 = NexNumber(4, 5, "cepillos1");

NexNumber IndAire = NexNumber(4, 6, "aire");

NexNumber IndExtractor = NexNumber(4, 7, "extractor");

//boton actuadores

NexButton ActOn = NexButton(0, 3, "b1");

NexButton ActOff = NexButton(4, 2, "b0");

```

//Sensores Waveform and numeros
//NexWaveform onda1 = NexWaveform(5, 4, "sensor01");
NexWaveform onda2 = NexWaveform(5, 4, "sensor02");

//NexNumber sensor1 = NexNumber(5, 9, "n0");
NexNumber sensor2 = NexNumber(5, 5, "n1");
NexNumber sensor3 = NexNumber(5, 6, "mov");
NexNumber sensor4 = NexNumber(5, 7, "mov2");

//paginas
// we can register that a new page was loaded.
NexPage page0 = NexPage(0, 0, "page0"); // Page added as a touch event
NexPage page1 = NexPage(1, 0, "page1"); // Page added as a touch event
NexPage page2 = NexPage(2, 0, "page2"); // Page added as a touch event
NexPage page3 = NexPage(3, 0, "page3"); // Page added as a touch event
NexPage page4 = NexPage(4, 0, "page4"); // Page added as a touch event
NexPage page5 = NexPage(5, 0, "page5"); // Page added as a touch event
NexPage page6 = NexPage(6, 0, "page6"); // Page added as a touch event
NexPage page7 = NexPage(7, 0, "page7"); // Page added as a touch event
NexPage page8 = NexPage(8, 0, "page8"); // Page added as a touch event
NexPage page9 = NexPage(9, 0, "page9"); // Page added as a touch event
NexPage page10 = NexPage(10, 0, "page10"); // Page added as a touch event
NexPage page11 = NexPage(11, 0, "page11"); // Page added as a touch event
NexPage page12 = NexPage(12, 0, "page12"); // Page added as a touch event
NexPage page13 = NexPage(13, 0, "page13"); // Page added as a touch event
NexPage page14 = NexPage(14, 0, "page14"); // Page added as a touch event
NexPage page15 = NexPage(14, 0, "page15"); // Page added as a touch event

```

```
char buffer[100] = {0};
```

```
NexTouch *nex_listen_list[] = {
```

```
&bOn,
```

```
&bOn1,
```

```
&bOn2,
```

```
&bOn3,
```

```
&bOn4,
```

```
&bOff,
```

```
&bOff2,
```

```
&bOff3,
```

```
&bOff4,
```

```
&bOff5,
```

```
//Actuadores
```

```
&ActOn,
```

```
&ActOff,
```

```
//paginas
```

```
&page0,
```

```
&page1,
```

```
&page2,
```

```
&page3,
```

```
&page4,
```

```
&page5,
```

```
&page6,
```

&page7,
&page8,
&page9,
&page10,
&page11,
&page12,
&page13,
&page14,
&page15,

NULL

};

```
void bOnPopCallback(void *ptr) {  
    digitalWrite(motor, HIGH);  
    bCiclos=1000;  
}
```

```
void bOn1PopCallback(void *ptr) {  
    digitalWrite(motor, HIGH);  
    bCiclos=2;  
}
```

```
void bOn2PopCallback(void *ptr) {  
    digitalWrite(motor, HIGH);  
    bCiclos=5;  
}
```

```
void bOn3PopCallback(void *ptr) {  
    digitalWrite(motor, HIGH);  
    bCiclos=10;  
}
```

```
void bOn4PopCallback(void *ptr) {
```

```
    digitalWrite(motor, HIGH);
```

```
    bCiclos=20;
```

```
}
```

```
void bOffPopCallback(void *ptr) {
```

```
    digitalWrite(motor, LOW);
```

```
    //bandera=0;
```

```
    digitalWrite(extractor, LOW);
```

```
    digitalWrite(valvula, LOW);
```

```
}
```

```
void bOff2PopCallback(void *ptr) {
```

```
    digitalWrite(motor, LOW);
```

```
    //bandera=0
```

```
    digitalWrite(extractor, LOW);
```

```
    digitalWrite(valvula, LOW);
```

```
}
```

```
void bOff3PopCallback(void *ptr) {
```

```
    digitalWrite(motor, LOW);
```

```
    //bandera=0
```

```
    digitalWrite(extractor, LOW);
```

```
    digitalWrite(valvula, LOW);
```

```
}
```

```
void bOff4PopCallback(void *ptr) {
```

```
    digitalWrite(motor, LOW);
```

```
    //bandera=0;
```

```

    digitalWrite(extractor, LOW);
digitalWrite(valvula, LOW);
}

void bOff5PopCallback(void *ptr) {
    digitalWrite(motor, LOW);
    //bandera=0;
    digitalWrite(extractor, LOW);
digitalWrite(valvula, LOW);
}

void ActOnPopCallback(void *ptr) {
banderaAct=true;
CurrentPage=4;

}

void ActOffPopCallback(void *ptr) {
banderaAct=false;
//loop();
}

// Page change event:
void page0PushCallback(void *ptr) // If page 0 is loaded on the display, the following is going to execute:
{
    CurrentPage = 0; // Set variable as 0 so from now on arduino knows page 2 is loaded on the display
} // End of press event

// Page change event:
void page1PushCallback(void *ptr)
{
    CurrentPage = 1;
}

```

```
}
```

```
// Page change event:
```

```
void page2PushCallback(void *ptr)
```

```
{
```

```
    CurrentPage = 2;
```

```
}
```

```
// Page change event:
```

```
void page3PushCallback(void *ptr)
```

```
{
```

```
    CurrentPage = 3;
```

```
}
```

```
// Page change event:
```

```
void page4PushCallback(void *ptr)
```

```
{
```

```
    CurrentPage = 4;
```

```
}
```

```
// Page change event:
```

```
void page5PushCallback(void *ptr)
```

```
{
```

```
    CurrentPage = 5;
```

```
}
```

```
// Page change event:
```

```
void page6PushCallback(void *ptr)
```

```
{
```

```
    CurrentPage = 6;
```

```
}
```

```
// Page change event:  
void page7PushCallback(void *ptr)  
{  
    CurrentPage = 7;  
}
```

```
// Page change event:  
void page8PushCallback(void *ptr)  
{  
    CurrentPage = 8;  
}
```

```
// Page change event:  
void page9PushCallback(void *ptr)  
{  
    CurrentPage = 9;  
}
```

```
// Page change event:  
void page10PushCallback(void *ptr)  
{  
    CurrentPage = 10;  
}
```

```
// Page change event:  
void page11PushCallback(void *ptr)  
{  
    CurrentPage = 11;  
} // End of press event
```

```
// Page change event:  
void page12PushCallback(void *ptr)
```

```

{
  CurrentPage = 12;
}

// Page change event:
void page13PushCallback(void *ptr)
{
  CurrentPage = 13;
}

// Page change event:
void page14PushCallback(void *ptr)
{
  CurrentPage = 14;
}

// Page change event:
void page15PushCallback(void *ptr)
{
  CurrentPage = 15;
}

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600); //-----
  delay(500);
  Serial.print("baud=115200");
  Serial.write(0xff); // We always have to send this three lines after each command sent to nextion.
  Serial.write(0xff);
  Serial.write(0xff);

  Serial.end(); // End the serial communication of baud=9600
}

```

```
Serial.begin(115200);
```

```
pinMode(motor, OUTPUT);
```

```
pinMode(motorL, INPUT);
```

```
pinMode(valvula, OUTPUT);
```

```
pinMode(pir, INPUT);
```

```
pinMode(extractor, OUTPUT);
```

```
digitalWrite(motor, LOW);
```

```
digitalWrite(motorL, LOW);
```

```
digitalWrite(valvula, LOW);
```

```
digitalWrite(extractor, LOW);
```

```
digitalWrite(pir, LOW);
```

```
nexInIt();
```

```
bOff.attachPush(bOffPopCallback, &bOff);
```

```
bOff2.attachPush(bOff2PopCallback, &bOff2);
```

```
bOff3.attachPush(bOff3PopCallback, &bOff3);
```

```
bOff4.attachPush(bOff4PopCallback, &bOff4);
```

```
bOff5.attachPush(bOff5PopCallback, &bOff5);
```

```
bOn.attachPush(bOnPopCallback, &bOn);
```

```
bOn1.attachPush(bOn1PopCallback, &bOn1);
```

```
bOn2.attachPush(bOn2PopCallback, &bOn2);
```

```
bOn3.attachPush(bOn3PopCallback, &bOn3);
```

```
bOn4.attachPush(bOn4PopCallback, &bOn4);
```

```
ActOn.attachPush(ActOnPopCallback, &ActOn);
```

```
ActOff.attachPush(ActOffPopCallback, &ActOff);
```

```

//paginas
page0.attachPush(page0PushCallback);
page1.attachPush(page1PushCallback);
page2.attachPush(page2PushCallback);
page3.attachPush(page3PushCallback);
page4.attachPush(page4PushCallback);
page5.attachPush(page5PushCallback);
page6.attachPush(page6PushCallback);
page7.attachPush(page7PushCallback);
page8.attachPush(page8PushCallback);
page9.attachPush(page9PushCallback);
page10.attachPush(page10PushCallback);
page11.attachPush(page11PushCallback);
page12.attachPush(page12PushCallback);
page13.attachPush(page13PushCallback);
page14.attachPush(page14PushCallback);
page15.attachPush(page15PushCallback);
}

void loop() {
  //Serial.print(digitalRead(led1));
  delay(30);
  // put your main code here, to run repeatedly:
  nexLoop(nex_listen_list);

  //-----
  auxExtractor=digitalRead(extractor);
  auxValvula=digitalRead(valvula);

  //Pagina indicadores
  if(CurrentPage == 4) {

```

```

//indicador motor cepillos
if(aux==HIGH){
  IndCepillos1.setValue(ocho);

//indicador actuador valvula
  if(auxValvula==HIGH){ //if((SensorPeso>500)) {
    IndAire.setValue(ocho); //Indicador

//indicador actuador extractor
    if(auxExtractor==HIGH){ //if((SensorFlujo>500)) {
      IndExtractor.setValue(ocho); //Indicador
    }
    else
      {
        IndExtractor.setValue(nueve); //Indicador
      }
  }
}
else
{
  IndAire.setValue(nueve); //Indicador
  IndExtractor.setValue(nueve); //Indicador
}
}

else
{
  IndCepillos1.setValue(nueve);
  IndAire.setValue(nueve); //Indicador
  IndExtractor.setValue(nueve); //Indicador
}
}

```

```

}
//Pagina Sensores
if(CurrentPage == 5) {

    if(val==HIGH){
        sensor3.setValue(ocho);

    }
    else{
        sensor3.setValue(nueve);
    }
    if (SensorFlujo>500){
        if(val==HIGH){
            sensor4.setValue(nueve);
        }
        else{
            sensor4.setValue(ocho);
        }
    }
    onda2.addValue(0,SensorFlujo/8); //(canal,valor info[0-255]) hasta 4 canales
    sensor2.setValue(SensorFlujo/8); //valor
}
aux=digitalRead(motor);
if(aux==HIGH){
    digitalWrite(valvula, HIGH);
    //IndAire.setValue( &ocho); //Indicador
    if((SensorFlujo>500)) { //Empieza lectura analógica del sensor de flujo
        digitalWrite(extractor, HIGH); //Enciende extractor
        if(digitalRead(extractor==HIGH)){ //Verifica estado de extractor
            delay(1000);
        }
        val=digitalRead(pir); //comienza el conteo el sensor PIR
    }
}

```

```

    if(val==HIGH){
        Serial.println("Hay movimiento");
        delay(1000);
        mov=mov+1;
        if(mov<bCiclos){
            Serial.print("Ciclo ");
            Serial.println(mov);
            delay(1000);
        }
        if(mov==bCiclos){
            Serial.print("Ciclo ");
            Serial.println(mov);
            delay(1000);
            termina();
        }
    }

    else
    {
        digitalWrite(extractor, LOW);
    }
}

else
{
    digitalWrite(valvula, LOW);
    digitalWrite(extractor, LOW);
}
//-----
}

void termina(){

```

```
Serial.println("Se terminaron todos los ciclos");  
delay(1000);  
digitalWrite(extractor,LOW);  
Serial.println("Se apaga extractor");  
delay(1000);  
digitalWrite(valvula,LOW);  
Serial.println("Se apaga valvula");  
delay(1000);  
digitalWrite(motor,LOW);  
Serial.println("Se apaga motor");  
delay(1000);  
mov=0;  
}
```