

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO
INTEGRAL DEL AGUA**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE
SEMILLAS DE CALABAZA PIPIANA (*Cucurbita argyrosperma* K.
Koch)**

TESIS DE GRADO

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL
AGUA**

PRESENTA:

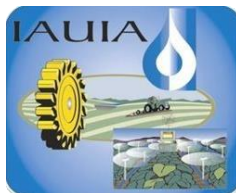
PLUTARCO SALAZAR MELGAR

BAJO LA SUPERVISIÓN DE:

CARLOS ALBERTO VILLASEÑOR PEREA, DR



APROBADA



CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, A 7 DE DICIEMBRE DE 2023

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE SEMILLAS
DE CALABAZA PIPIANA (*Cucurbita argyrosperma* K. Koch)

Tesis realizada por **PLUTARCO SALAZAR MELGAR** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTOR:



DR. CARLOS ALBERTO VILLASEÑOR PEREA

ASESOR:



DR. ARTURO MANCERA RICO

ASESOR:



DR. GILBERTO DE JESÚS LÓPEZ CANTENÍS

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
DEDICATORIAS.....	X
AGRADECIMIENTOS	XI
DATOS BIOGRÁFICOS	XII
RESUMEN GENERAL	XIII
GENERAL ABSTRACT	XIV
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo general.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.2 Hipótesis	3
1.3 Literatura citada	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Origen de la calabaza (Cucurbita Spp.)	6
2.2 Especies reportadas.....	6
2.3 Usos y producción nacional	6
2.4 Cucurbita argyrosperma.....	8
2.5 Origen y distribución geográfica	9
2.6 Propiedades físico-mecánicas de la calabaza	9
2.7 Tipos de máquinas extractoras de semillas de calabaza	11
2.8 Literatura citada	12

3	CONGRESO: OBTENCIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS EN CALABAZAS PIPIANAS (<i>Cucurbita Argyrosperma Huber</i>)	15
3.1	Resumen.....	15
3.2	Abstract.....	16
3.3	Introducción.....	16
3.4	Materiales y métodos	18
3.5	Resultados y discusión.....	19
3.6	Conclusiones.....	21
3.7	Literatura citada	21
4	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE SEMILLAS DE CALABAZA PIPIANA (<i>Cucurbita Argyrosperma K. Koch</i>).	23
4.1	Resumen.....	23
4.2	Abstract.....	24
4.3	Introducción.....	25
4.4	Materiales y métodos	26
4.4.1	Ubicación del proyecto	26
4.4.2	Diseño de la máquina extractora	26
4.4.3	Diseño conceptual	27
4.4.4	Diseño en 3D de diferentes sistemas mecánicos de la máquina.....	36
4.4.5	Sistema de rotura de las calabazas.....	37
4.4.6	Diseño del transportador helicoidal.....	38
4.4.7	Sistema de separación de semilla de la cáscara	40
4.4.8	Sistema de expulsión de semilla.....	43
4.4.9	Diseño de sistemas de accionamiento	44
4.5	Resultados y discusiones.....	50

4.5.1	Pruebas físico-mecánicas de calabaza pipiana (Cucurbita argyrosperma K.Koch)	50
4.5.2	Prototipo final en 3D de la máquina extractora de semillas	50
4.5.3	Estudio del análisis estático de la máquina	51
4.5.4	relación material costo para la apertura de la construcción	54
4.6	Conclusiones.....	55
4.7	Agradecimientos	55
4.8	Literatura citada	56
5	CONCLUSIONES GENERALES.....	61
6	Anexos	62

ÍNDICE DE CUADROS

Capítulo 2

Cuadro 1. Estados con mayor producción de calabazas en 2020 (SIAP) (Axayacatl, 2022).	6
Cuadro 2. Comparativa de rendimientos de semilla de calabaza fresca con la cantidad de carrilleras de calabaza pipián (Cucurbita argyrosperma) (Garza-García et al., 2020).	11
Cuadro 3. Patentes de máquinas extractoras de semillas de calabaza.	11

Capítulo 3

Cuadro 4. Requerimientos deseables y obligatorios del cliente.....	28
Cuadro 5. Matriz de comparación por pares.....	28
Cuadro 6. Traducción de los requerimientos del cliente en términos mensurables.	29

Capítulo 4

Cuadro 7. Búsqueda de principios de soluciones	31
Cuadro 8. Criterios de selección	33
Cuadro 9. Selección de combinaciones convenientes (variantes).	34
Cuadro 10. Valores máximos y mínimos de la calabaza.....	37
Cuadro 11. Estudio estadístico de las semillas	41
Cuadro 12. Estadística descriptiva de las semillas	42
Cuadro 13. Diámetros mínimos de poleas para bandas en metros (Virgil Moring Faires, 1987).	44
Cuadro 14. Potencia transmisible (kW) por milímetro de ancho de bandas (Virgil Moring Faires, 1987).	45
Cuadro 15. Factor de corrección M para el tipo de motor y características de arranque (Virgil Moring Faires, 1987).	46

Cuadro 16. Factor de corrección P por diámetro de la polea pequeña (Virgil Moring Faires, 1987)..... 46

Cuadro 17. Factor de corrección F para condiciones especiales de operación (Virgil Moring Faires, 1987)..... 46

Cuadro 18. Longitudes normalizadas de correas (Virgil Moring Faires, 1987).. 48

Cuadro 19. Relación materiales-precio..... 54

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 1. Gráfica de estados con mayor producción de calabazas (Axayacatl, 2022).....	7
Figura 2. Cantidad de carrilleras de pepas o semillas en las líneas de calabaza pipián (Cucurbita argyrosperma). (Garza-García et al., 2020).....	10

Capítulo 3

Figura 3. a) Máquina universal de ensayo, INSTRON 3382; b) Numeración y pesaje del producto, Báscula V11P30	18
Figura 4. a) Posición horizontal entre las mordazas; b) Posición vertical entre las mordazas	19
Figura 5. Diagrama esfuerzo - deformación del producto	20

Capítulo 4

Figura 6. Árbol de funciones y medios para la máquina extractora	26
Figura 7. Función global de la máquina extractora de semillas	31
Figura 8. Análisis funcional de la máquina extractora de semillas	31
Figura 9. Combinación de principios de solución.....	33
Figura 10. Árbol de objetivos de la máquina extractora de semillas	35
Figura 11. Evaluación de variantes de concepto contra criterios técnicos y económicos.....	36
Figura 12. Parámetros de la calabaza	37
Figura 13. Vista detallada del sistema de rotura	38
Figura 14. (a) aspa y (b) variables de un transportador helicoidal	40
Figura 15. Transportador helicoidal primario.....	40

Figura 16. Dimensiones obtenidas de la semilla: Ancho, Largo y Espesor	41
Figura 17. Vista detallada del sistema de separación de semilla de la cáscara de calabaza	42
Figura 18. Transportador helicoidal secundario	43
Figura 19. vista transversal detallada del sistema de expulsión de semilla	43
Figura 20. Longitud de banda abierta (Virgil Moring Faires, 1987)	47
Figura 21. Sistema de transmisión (Virgil Moring Faires, 1987).....	48
Figura 22. (a) Vista lateral de la máquina; (b) Vista isométrica de la máquina .	50
Figura 23. Análisis estático del chasis con neumáticos y patas delanteras	51
Figura 24. Análisis definitivo de la estructura. (a) tensión de von Mises; (b) desplazamiento.....	52
Figura 25. Análisis definitivo de la estructura. (a) deformaciones unitarias, (b) factor de seguridad.).....	52
Figura 26. Estudio de análisis del eje principal	53

DEDICATORIAS

La presente tesis se la dedico a mi familia por sus consejos y apoyo incondicional.

A mis difuntos padres, a la memoria eterna de mi madre Rebeca Melgar Deras[†], siempre presente en mi corazón, tus enseñanzas, amor y apoyo inquebrantable me han guiado a lo largo de este camino académico. Gracias por ser mi guía, mi motivación y mi luz en la oscuridad...

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico para efectuar mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua (IAUIA), por concederme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

A mis asesores, Dr. Carlos Alberto Villaseñor Perea, Dr. Arturo Mancera rico, Dr. Gilberto de Jesús López Canteñs y Dr. Pedro Cruz Meza por su valioso tiempo en la revisión y aprobación del proyecto aportando conocimiento, sabiduría y experiencia.

Al Ing. Abraham Cortés Hernández y Dra. María del Rosario Venegas por brindarme el acceso a las instalaciones del Departamento de Ingeniería Mecánica y laboratorio de materiales biológicos respectivamente, para la ejecución de este proyecto.

Al M. C. Bonifacio Gaona Ponce, Ing. Raziel Domínguez Flores, por sus conocimientos y experiencias respecto a la electricidad. Al sr. Juan Antonio Hernández por su apoyo en la adquisición de materiales y en la construcción del prototipo. Al Dr. José Francisco Marín Camacho, Ing. Humberto Sebastián García, M. I. Bonifacio Quezada Gonzaga, Ing. Luis Fernando Macías Moreno, amigos y compañeros de posgrado quienes han sido una fuente de constante respaldo y motivación en el transcurso de este viaje académico.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre	Plutarco Salazar Melgar
Fecha de nacimiento	07 de marzo de 1995
Lugar de nacimiento	Putla Villa de Gro. Oaxaca
No. cartilla militar	D-3361181
CURP	SAMP950307HOCLLL04
Profesión	Ingeniero Mecánico Agrícola
Cédula profesional	12805106

Desarrollo académico

Bachillerato	Instituto de Estudios de Bachillerato del estado de Oaxaca (2013)
Licenciatura	Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo (2019).

RESUMEN GENERAL

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE SEMILLAS DE CALABAZA (*Cucurbita argyrosperma* K. Koch)

El diseño de máquinas es de suma importancia tanto en la ingeniería como en la industria; tratándose de máquinas para la extracción de semillas de calabaza existen en el mercado, pero son máquinas de gran magnitud y costo elevado por lo tanto para los pequeños productores se les hace difícil la adquisición de éstas. Para los pequeños productores, la presencia de una máquina de tamaño pequeño es crucial ya que les permitiría realizar las tareas de manera más rápida, precisa y económica, lo que podría resultar en una disminución de costos y un aumento en la producción, por ese motivo el objetivo de este trabajo de investigación es diseñar y construir un prototipo para extraer las semillas de calabaza de la especie (*Cucurbita argyrosperma* Huber) en específico. Para el diseño de la máquina primero se obtuvieron las propiedades físico-mecánicas de la calabaza para la selección y cálculo de la eficiencia del motor que acciona la máquina. La segunda parte constituye el diseño en 3D y la construcción de ésta, obteniendo las dimensiones finales de la máquina: largo 2.5 m, ancho 1.4 m y de alto 1.7 m que consta de tres procesos: i) proceso de rotura de calabazas, ii) proceso de separación de gabazos de la semilla y iii) proceso de expulsión de semillas hacia el recolector. El sistema de accionamiento de procesos consta de una polea motriz acoplado a un motor de 5 HP con 1680 rpm que transmite potencia hacia el resto de los procesos mediante poleas conducidas y bandas.

Palabras clave: prototipo, extracción, producción, costos, físico-mecánicas.

Tesis de Maestría en Ingeniería, Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Salazar Melgar Plutarco

Director de tesis: Villaseñor Perea Carlos A.

GENERAL ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SEED EXTRACTING MACHINE FOR PUMPKIN (*Cucurbita argyrosperma* K. Koch)

The design of machines is of great importance both in engineering and in the industry; in the case of machines for the extraction of pumpkin seeds, there are some on the market, but they are large and costly machines, so it is difficult for small producers to acquire them. For small farmers, the presence of a small-sized machine is crucial because it would allow them to perform the tasks more quickly, accurately and economically, which could result in a decrease in costs and an increase in production, for that reason the objective for this research work is to design and build a prototype to extract the pumpkin seeds of the specific species (*Cucurbita argyrosperma* Huber). For the design of the machine, first the physical-mechanical properties of the pumpkin were obtained for the selection and calculation of the efficiency of the motor that drives the machine. The second part is the 3D design and construction of the machine, obtaining the final dimensions of the machine: length 2.5 m, width 1.4 m and height 1.7 m, which consists of three processes: i) pumpkin breaking process, ii) seed separation process and iii) seed ejection process to the collector. The process drive system consists of a driving pulley coupled to a 5 hp motor with 1680 rpm that transmits power to the rest of the processes by means of driven sheaves and straps.

Key words: prototype, extraction, production, costs, physical-mechanical.

Engineering Master Thesis, Postgraduate in Agriculture Engineering and Integrated Ater Use,
Autonomous University Chapingo.

Author: Salazar Melgar Plutarco

Thesis Advisor: Villaseñor Perea Carlos A

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El género cucurbita es originario del continente americano y comprende alrededor de 20 variantes (especies y subespecies), la mayoría de las cuales se cultivan y desarrollan en México. Algunas variedades cultivadas de estas plantas tienen formas de crecimiento rastrero, trepador y subarborescente. Las flores masculinas y femeninas de la planta son polinizadas por varios insectos, como las abejas solitarias nativas como *Peponapis* y *Xenoglossa*, así como la abeja (*Apis mellifera*) y los abejorros. Esta situación favorece el intercambio genético y la hibridación entre las especies silvestres y cultivadas que están relacionadas (Galingo Leal et al., 2020).

De acuerdo a la base de datos la Red Calabaza del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) y registros de herbario en México, se descubrieron cuatro especies domesticadas de Cucurbita: *Cucurbita argyrosperma* K. Koch, *Cucurbita ficifolia* Bouché, *Cucurbita moschata* Duchesne y *Cucurbita pepo* L., además, existen 11 especies silvestres del género Cucurbita que se dividen en anuales-mesofíticas y perennes-xerofíticas, con variaciones genéticas y geográficas (Ríos Santos et al., 2018). Desde hace más de 10,000 años, la Cucurbita ha sido un elemento esencial en la dieta de los ciudadanos estadounidenses, formando parte del sistema agrícola conocido como milpa, el cual se encarga de producir alimentos básicos. Se consumen flores, tallos jóvenes, semillas y frutos en etapas tempranas y maduras (Basurto Peña et al., 2018). En particular, la variedad *Cucurbita argyrosperma* variedad *argyrosperma* es una especie de plantas herbáceas anuales que pueden crecer rastreras o como enredaderas vigorosas. Estas plantas se encuentran tanto en cultivo como en estado silvestre o espontáneo. Los frutos de esta especie suelen mantener la forma del ovario, que puede ser en forma de pera o en forma de clava, y pueden ser cortos o largos, rectos o curvados en su parte más delgada. Tienen un diámetro de 14-25 cm y una longitud de 14-50 cm, con una cascara dura, resistente y que pueden exponer una textura uniforme o ligeramente verrugosa (Mera Ovando et al., 2011). La *Cucurbita argyrosperma*, también conocida como pipián es una especie de planta cucurbitácea que se encuentra en Mesoamérica, su

pedúnculo globoso y acorchado lo distingue fácilmente de otras calabazas (Basurto Peña et al., 2018). En México existe un registro oficial de la variedad morfológica de esta especie (Rodríguez-Amaya et al., 2009). Actualmente, todas las entidades federativas del país cultivan calabaza con una producción anual de casi medio millón de toneladas de calabacita, 7800 toneladas de calabaza y 27500 toneladas de semillas, en total estas estadísticas ascienden a más de 2,300 millones de pesos anuales (Basurto Peña et al., 2018).

Por otra parte, la mecanización agrícola se refiere a la incorporación de diversas máquinas, equipos y herramientas en el proceso de producción de cultivos con el fin de aumentar la eficiencia técnica y económica. Esto puede aumentar la producción y productividad del agricultor en sus tierras (Polanco Puerta & Puerta, 2007). El uso de máquinas implica la realización de tareas u operaciones; desde herramientas simples como una cuña o un plano inclinado, hasta máquinas complejas como un avión (Pérez De Corcho Fuentes et al., 2017). Aunque la mecanización agrícola se utiliza como herramienta de gestión en la agricultura pero también se considera un proceso de desarrollo que debe ser evaluado, coordinado, asignado y apoyado en función de factores técnicos, económicos, sociales y políticos, y en línea con los objetivos nacionales de desarrollo nacionales (Cortés M. et al., 2009), la cual es fundamental para aumentar la producción porque permite aumentar el área cultivada, mejorar las técnicas de cultivo, reducir los costos y mejorar la calidad de vida de los trabajadores agrícolas (Negrete, 2011), que consiste en la incorporación de diferentes máquinas, equipos y sistemas en el proceso productivo de las explotaciones agrícolas y pecuarias con el objetivo principal de lograr una mayor eficiencia técnica (Larqué Saavedra et al., 2012).

Las máquinas comerciales para la extracción de semilla de calabaza son de suma importancia para mitigar el desperdicio de las semillas sin embargo para la adquisición de ellas se requiere de una alta inversión; por ello se diseñó y construyó una máquina de escala menor para aumentar la productividad en los pequeños productores.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- Diseñar y simular una máquina extractora de semillas de calabaza aplicando la metodología de diseño a fin de obtener una máquina acorde a las necesidades de pequeños productores.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros agrotécnicos de la calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma*).
- Diseñar en el software SolidWorks los elementos mecánicos de la máquina extractora con base a los parámetros determinados.
- Analizar estáticamente diferentes componentes de la máquina.

1.2 Hipótesis

El proceso de extracción de semillas de calabaza de pequeños productores en México se realiza de manera manual o mecánica; el proceso manual resulta en bajos rendimientos de producción y mecánico en un alto costo de adquisición, por lo tanto, la construcción de una máquina de menor escala aumenta la productividad y reduce el tiempo de extracción de semillas.

1.3 Literatura citada

Basurto Peña, F., Castro Lara, D., Mera Ovando, L. M., & Juárez Castro, T. (2018). ETNOBOTÁNICA DE LAS CALABAZAS CULTIVADAS (*Cucurbita* spp.) EN VALLES CENTRALES DE OAXACA, MÉXICO. *Agro Productividad*, 8(1), 47–53. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/639/509>

Cortés M., E., Álvarez M., F., & González S., H. (2009). La mecanización agrícola: gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo. *Revista CES/ Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 4(2), 151–160. <https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/1040/1913>

- Galingo Leal, C., Oliveros Galindo, O., Mastretta Yanes, A., Lozada Aranda, M., Esteva de la Barrera, D., Burgeff, C., Acevedo Gusman, F., & Narváez Parra, A. (2020). *Calabazas, tamalayotas, pipianas, chilacayotes* | *Biodiversidad Mexicana*. Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de La Biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/calabazas>
- Larqué Saavedra, S. B., Cortés Espinoza, L., Sánchez Hernández, M. Á., Garay Ayala, A. V., & Sangerman-Jarquín, D. Ma. (2012). Análisis de la mecanización agrícola de la región Atlacomulco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(1), 825–837. <http://www.inafed.gob.mx/work/templates/>
- Mera Ovando, L. M., Bye Boettler, R. A., Villanueva Verduzco, C., & Luna Mera, A. (2011). *Documento de diagnóstico de las especies cultivadas de Cucurbita L.* 1–40.
- Negrete, J. C. (2011). Políticas de mecanización agrícola en México. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad–CTS.*, 1–23. www.revistacts.net
- Pérez De Corcho Fuentes, J. S., Herrera Suárez, M., Vivas Vivas, R. J., García, G., & Valdiviezo, R. (2017). La mecanización agrícola: campo de acción de la ingeniería agronómica Agricultural mechanization: field of action for the agronomy. *Revista Siembra*, 4(1), 59–65.
- Polanco Puerta, F. M., & Puerta. (2007). 1.1 La Mecanización. In *MAQUINARIA Y MECANIZACIÓN AGRÍCOLA* (p. 19).
- Ríos Santos, E., González Santos, R., Cadena Iñiguez, J., & Mera Ovando, L. (2018). DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES CULTIVADAS Y PARIENTES SILVESTRES DE CALABAZA (*Cucurbita L.*) EN MÉXICO. *Agro Productividad*, 11(9), 21–27. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1210/983>
- Rodríguez-Amaya, R., Montes-Hernández, S., Antonio Rangel-Lucio, J., Mendoza-Elos, M., & Latournerie-Moreno, L. (2009). *CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA CALABAZA PIPIANA (*Cucurbita argyrosperma* Huber)* *

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF PIPIANA SQUASH (Cucurbita argyrosperma Huber) (Vol. 35).

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen de la calabaza (*Cucurbita Spp.*)

La mayoría de las calabazas que se consumen a nivel mundial provienen de variedades domesticadas en México, todas ellas pertenecientes al género *Cucurbita* (Garza-García et al., 2020). En la actualidad, las calabazas son cultivadas en cada estado de la nación, generando una producción de cerca de 500,000 toneladas de calabacita, 78,000 toneladas de calabaza y 27,500 toneladas de semillas. En total estos cultivos generan un ingreso anual superior a los 2,300 millones de pesos (Basurto Peña et al., 2018). De acuerdo con (Lira et al., París, 2016) citado por (Barrera-Redondo et al., 2021) el género *cucurbita* es muy importante a nivel agronómico y global.

2.2 Especies reportadas

Cuatro especies domesticadas de *cucurbita*: *Cucurbita argyrosperma* K. Koch, *Cucurbita ficifolia* Bouché, *Cucurbita moschata* Duchesne y *Cucurbita pepo* L. son originarias de México, mientras que 11 especies silvestres pertenecen al Género *Cucurbita*. Las especies se clasifican en diversas categorías genéticas y geográficas, incluyendo algunas que son anuales-mesofíticas y otras que son perenes-xerofíticas (Barrera-Redondo et al., 2021).

2.3 Usos y producción nacional

Cuadro 1. Estados con mayor producción de calabazas en 2020 (SIAP) (Axayacatl, 2022).

Orden	Estado	Producción obtenida (t)	Participación (%)
1	Sonora	136,307	81.6
2	Michoacán	6,163	3.7
3	Sinaloa	4,587	2.7
4	Guerrero	4,407	2.6
5	Puebla	3,182	1.9
6	Chihuahua	2,372	1.4
7	Veracruz	1,536	0.9

8	Guanajuato	1,536	0.9
9	Nayarit	1,533	0.9
10	Baja California	1,437	0.9

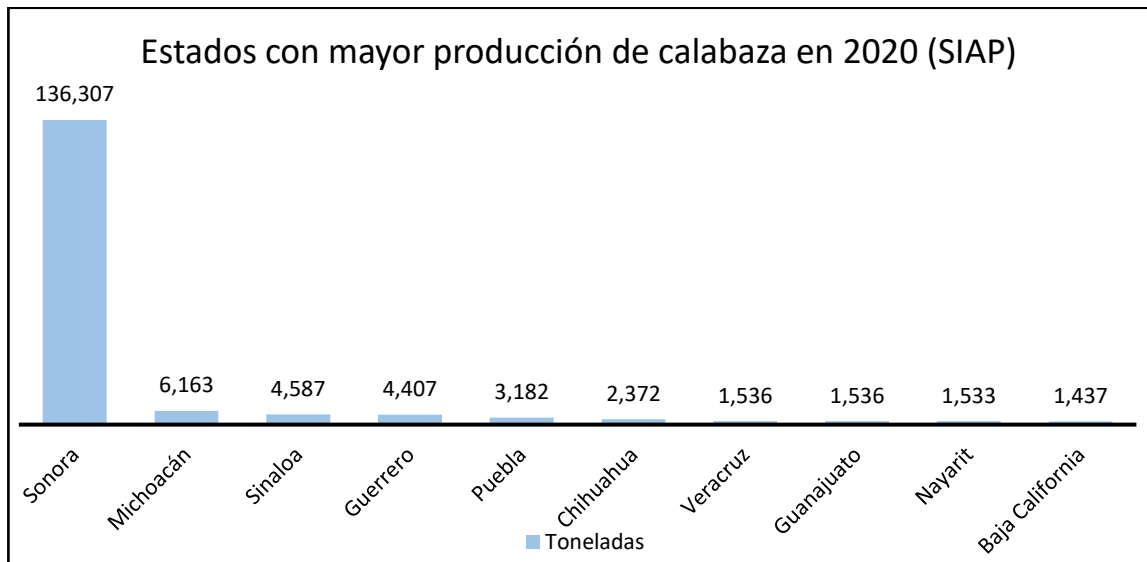


Figura 1. Gráfica de estados con mayor producción de calabazas (Axayacatl, 2022).

Las semillas de Cucurbita contienen una variedad de nutrientes esenciales, incluidos lípidos, proteínas, carbohidratos y otros elementos necesarios para promover y mantener una óptima salud (Shahangir, 2015).

El contenido de aceite en la semilla de calabaza es del 49.92%, con un ácido oleico del 29% y un ácido linoleico 51.9%. Estos ácidos grasos tienen muchos beneficios para la salud (Rössel Kipping et al., 2018).

La selección y clasificación de frutas de calabaza generalmente comienza durante la etapa de cosecha. Recolectar solo frutas maduras y sin daños, defectos graves o signos de pudrición es crucial. Este proceso puede ocurrir en el campo o en un centro de empaque. La rigurosidad con la que se realiza la selección, clasificación y preparación de las frutas para su comercialización dependerá de los requisitos específicos del mercado al que se van a destinar (Estación Agrícola de la Universidad de Puerto Rico, 2012).

Las flores, tallos, semillas y frutos tanto inmaduros como maduros de la planta Cucurbita son utilizados como alimentos (Peña Basurto et al., 2018). Las semillas de Cucurbita contienen una gran cantidad de carbohidratos y ácidos grasos, mientras que la cucurbitacina que es una toxina generada de forma natural puede ser eliminada mediante el proceso de hervirlas y lavarlas (Barrera-Redondo et al., 2021).

El sistema de producción tradicional de milpa en la península de Yucatán implica la combinación de diversas especies, principalmente maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita moschata* y *C. argyrosperma*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*, *P. lunatus* y *Vigna unguiculata*) (Ku et al., 2005).

2.4 Cucurbita argyrosperma

La especie de plantas cucurbitáceas nativas de Mesoamérica, conocida como calabaza pipiana, se denomina científicamente (*Cucurbita argyrosperma* Huber) que carece de información oficial sobre su variedad morfológica (Rodríguez-Amaya et al., 2009). Su característica distintiva que la diferencia de otras calabazas es la presencia de un pedúnculo circular y áspero en la fruta (Basurto Peña et al., 2018).

Estas plantas son hierbas herbáceas anuales que pueden crecer de forma rastrera o como trepadoras vigorosas, se pueden encontrar tanto en la naturaleza como en cultivos los tallos tienen surcos y ángulos y tienen una raíz distintiva, las hojas que se sitúan sobre peciolo de hasta 35 mm de longitud, tienen una pilosidad o vello corto, y sus laminas tienen cierta rigidez y consistencia herbácea., las hojas son anchas, de 20 – 30 cm de largo y 25-40 cm de ancho, con lóbulos ligeros hasta profundamente lobulados, con forma triangular y obtusa, las hojas pueden tener dientes e incisiones en sus márgenes, y ambas superficies tienen una suave pilosidad corta, es común encontrar manchas blancas o plateadas a lo largo de las venas en la parte superior de las hojas, además, estas plantas son pubescentes y tienen zarcillos bien desarrollados, ramificados de 2 a 4 veces. Las semillas tienen una forma elíptica a lanceolada y tienen variaciones que van desde ligeramente comprimidas o planas hasta

levemente infladas o abultadas, principalmente en los bordes, su longitud es de 15-30 (-35 mm) y su ancho es de 17-16.6 mm. las semillas suelen ser blancas o blancas opacas en el centro, aunque a veces pueden ser de color crema o marrón oscuro, la superficie puede ser lisa o puede tener pequeñas cicatrices o marcas, que en ocasiones son bastantes profundas, los bordes de las semillas están bien definidos, estrechos y de tonalidades marrón claro o dorado, y generalmente tienen un color diferente al centro, estos bordes tienen una textura fibrosa muy leve o inexistente, y pueden ser lisos o ligeramente ondulados. El ápice de las semillas es pequeño (Mera Ovando et al., 2011).

2.5 Origen y distribución geográfica

De acuerdo con datos de registros y herbarios, las especies *Cucurbita pepo*, *Cucurbita argyrosperma* y *Cucurbita moschata* en México se cultivan principalmente en regiones de agricultura temporal que incluyen la sierra madre occidental, la sierra madre oriental, el eje Neovolcánico y el sur del país (González Santos, 2018).

Según (Whitaker & Cutler, 1971) en el valle de Oaxaca se encontraron semillas y pedúnculos de frutos cultivados de *C. pepo* subsp. *pepo* de más de 9000 años de antigüedad y en las cuevas de Ocampo en Tamaulipas, México de 7000 a 5000 a. C. Las primeras pruebas de los morfotipos de calabacín de *Cucurbita pepo* y calabaza redonda tienen sus orígenes en variedades de la región de México, el calabacín se introdujo por primera vez en Europa en el siglo XVI (Decker, 1988).

2.6 Propiedades físico-mecánicas de la calabaza

De acuerdo con (Altuntaş, 2008), las siguientes son algunas de las características físicas de la calabaza: contenido de humedad de 9.8% y 2.87% (en base seca); las semillas de calabaza medidas de largo, ancho, espesor y diámetro: 19.92, 11.30, 3.22 y 9.71 mm respectivamente.

Respecto a los análisis de semillas realizado por (Rössel Kipping et al., 2018), los tamaños de la semilla de calabaza con cáscara en términos medios

presentaron medidas de ancho, grosor y largo de 8.59 mm, 2.51 mm y 20.61 mm respectivamente.

La cantidad de carrilleras de pepas o semillas de calabaza (*Cucurbita argyrosperma*) es de suma importancia ya que a mayor número de carrilleras la calabaza posee una mayor cantidad de semillas, ver Figura 2 y cuadro 3. Por otra parte, esta información es de suma importancia en cuando al diseño de máquinas puesto que dependiendo de la cantidad de carrilleras que poseen las calabazas la fuerza de rotura del producto será mayor debido a la compactación de carrilleras en el interior (Garza-García et al., 2020).



Figura 2. Cantidad de carrilleras de pepas o semillas en las líneas de calabaza pipián (*Cucurbita argyrosperma*). (Garza-García et al., 2020).

De acuerdo con (Garza-García et al., 2020), en el cuadro 2 se proporcionan datos sobre los pesos de los frutos, los rendimientos en semilla fresca y el porcentaje de semilla en relación con el peso total del fruto. Para los frutos con 3 carrilleras, el porcentaje de semilla varía entre 8.9% y 12.7%. En el caso de los frutos con 4 carrilleras, el porcentaje oscila entre 6% y 13.2%. Por último, los frutos con 5 carrilleras presentan un porcentaje de semillas que va de 8% a 8.3%.

Cuadro 2. Comparativa de rendimientos de semilla de calabaza fresca con la cantidad de carrilleras de calabaza pipián (*Cucurbita argyrosperma*) (Garza-García et al., 2020).

Número de carrilleras	Peso del fruto en gramos	Peso húmedo de semillas	Número de semillas por fruto
3	1458	137	236
3	606	77	192
4	2482	150	263
4	1722	153	297
5	2714	216	396
5	2171	180	444

La investigación de las características físicas y mecánicas de frutas y verduras desempeñan un papel crucial en el desarrollo de equipos de pelado y procesamiento.

Durante estas etapas, los tejidos de los productos experimentan diversas tensiones y fuerzas mecánicas, algunas deseables y otras no. La carga mecánica deseable se aplica principalmente en equipos de procesamiento de alimentos, como rebanadoras y peladoras, pero también puede surgir cargas no deseadas en el proceso (Emadi et al., 2005).

2.7 Tipos de máquinas extractoras de semillas de calabaza

Cuadro 3. Patentes de máquinas extractoras de semillas de calabaza.

Número de la publicación	Tipo de máquina	Inventor	Fecha
SU1708258A1	Estacionaria	Tseplyaev Aleksej N, Shaprov Mikhail N,	2018-05-17

		Boromenskij Vladimir P	
RU2002120788A	Estacionaria	Tsepljaev A N, Shaprov M N, Abezin V G, Sedov A V, Saldaev A M.	2006-01-10
CN214600379U	Estacionaria	Meng Xiangrui, Chu Wrnyi, Dang Yanxin, Yu Shen, Liu Jinglong, Han Dandan	2021-11-05
	Estacionaria	Daniel Ulloa Reyes, Martín Guerrero Perales	Diciembre 2016

2.8 Literatura citada

Altuntaş, E. (2008). Some Physical Properties of Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) and Watermelon (*Citrullus lanatus* L.) Seeds. *TARIM BİLİMLERİ DERGİSİ; Gaziosmanpasa University, Faculty of Agriculture*, 14(1), 62–69. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1509449>

Axayacatl, O. (2022, November 15). *Estadísticas de producción de calabaza en México*. Estadísticas Agrícolas de Calabaza En México. <https://blogagricultura.com/estadisticas-calabaza-mexico/>

Barrera-Redondo, J., Sánchez-De La Vega, G., Aguirre-Liguori, J. A., Castellanos-Morales, G., Gutiérrez-Guerrero, Y. T., Aguirre-Dugua, X., Aguirre-Planter, E., Tenailon, M. I., Lira-Saade, R., & Eguiarte, L. E. (2021).

The domestication of *Cucurbita argyrosperma* as revealed by the genome of its wild relative. *Horticulture Research*, 8(109), 1–14.
<https://doi.org/10.1038/s41438-021-00544-9>

Basurto Peña, F., Castro Lara, D., Mera Ovando, L. M., & Juárez Castro, T. (2018). ETNOBOTÁNICA DE LAS CALABAZAS CULTIVADAS (*Cucurbita* spp.) EN VALLES CENTRALES DE OAXACA, MÉXICO. *Agro Productividad*, 8(1), 47–53.
<https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/639/509>

Decker, D. S. (1988). Origin(s), Evolution, and Systematics of *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae). *Economic Botany*, 42(1), 4–15.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02859022>

Emadi, B., Kosse, V., & Yarlagadda, P. K. (2005). Mechanical Properties of Pumpkin. *International Journal of Food Properties*, 8(2), 277–287.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2005.10345418>

Estación Agrícola de la Universidad de Puerto Rico. (2012). Conjunto Tecnológico para la Producción de Calabaza. *Colegio de Ciencias Agrícolas*, 1–67.
<https://scholar.uprm.edu/entities/publication/71b2cf5e-2d8d-47fb-8ed4-e28508b158c5>

Garza-García, D., Garza-García, R., Zúñiga-Estrada, L., & Martínez-Martínez, M. A. (2020). Ensayo preliminar de líneas de calabaza tropical con mayor productividad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 677–683.
<https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V11I3.2394>

González Santos, R. (2018). DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES CULTIVADAS Y PARIENTES SILVESTRES DE CALABAZA (*Cucurbita* L.) EN MÉXICO. *Agro Productividad*, 11(9).
<https://doi.org/https://doi.org/10.32854/agrop.v11i9.1210>

Ku, J. C., Ramírez Vallejo, P., Castillo González, F., Luis, J., & Servia, C. (2005). DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE CALABAZA CULTIVADA EN EL CENTRO-ORIENTE DE YUCATÁN, MÉXICO MORPHOLOGICAL

DIVERSITY OF CULTIVATED SQUASH FROM CENTRAL-EASTERN YUCATÁN, MÉXICO. *Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex*, 28(4), 339–349.

Mera Ovando, L. M., Bye Boettler, R. A., Villanueva Verduzco, C., & Luna Mera, A. (2011). *Documento de diagnóstico de las especies cultivadas de Cucurbita L.* 1–40.

Peña Basurto, F., Castro Lara, D., Martínez Moreno, D., Rodríguez Ramírez, T., & Peralta Rodríguez, L. (2018). USO Y MANEJO DE LAS Calabazas Cultivadas (*Curcubita spp.*) EN EL ESTADO DE PUEBLA. *Agro Productividad*, 7(1), 44–49. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/503/383>

Rodríguez-Amaya, R., Montes-Hernández, S., Antonio Rangel-Lucio, J., Mendoza-Elos, M., & Latournerie-Moreno, L. (2009). *CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA CALABAZA PIPIANA (*Cucurbita argyrosperma* Huber) * MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF PIPIANA SQUASH (*Cucurbita argyrosperma* Huber)* (Vol. 35).

Rössel Kipping, D., Ortiz Laurel, H., Amante Orozco, A., Durán García, H. M., & López Martínez, L. A. (2018). Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento. *Nova Scientia*, 10(21), 61–77. <https://doi.org/10.21640/NS.V10I21.1467>

Shahangir, A. H. (2015). Nutritional and Lipid Composition Analysis of Pumpkin Seed (*Cucurbita maxima* Linn.). *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 5(4), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000374>

Whitaker, T. W., & Cutler, H. C. (1971). Pre-historic Cucurbits from the Valley of Oaxaca. *Economic Botany*, 25(2), 123–127. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02860073>

3 CONGRESO: OBTENCIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS EN CALABAZAS PIPIANAS (*Cucurbita Argyrosperma Huber*)

Salazar Melgar Plutarco¹, Villaseñor Perea Carlos Alberto ², Mancera Rico Arturo³, López Canteñs Gilberto de Jesús²

Universidad Autónoma Chapingo, Posgrado en Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, México, C. P. 56230, México¹

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Carretera México- Texcoco km 38.5, Chapingo, México, C. P. 56230, México²

Calzada Antonio Narro1923, Buenavista C. P. 25315, Saltillo, Coahuila, México³

3.1 Resumen

Este trabajo de investigación trata sobre características físicas y pruebas mecánicas en calabazas, de la especie *Cucurbita argyrosperma* en específico. La evaluación detallada de las características de las calabazas es de suma importancia puesto que nos permite obtener los parámetros a considerar en la selección y diseño de maquinaria, caballaje de motores (fuerza de rotura de las calabazas), optimización de procesos, control de calidad, investigación y desarrollo y eficiencia en la producción; donde el objetivo es obtener diferentes variables, así como: características físicas, máximo carga de compresión(N), extensión por compresión (mm), esfuerzo de compresión al máximo (MPa), máximo deformación por compresión (%), deformación por compresión (MPa) y modulo (automático de Young) (MPa). En la caracterización del fruto se utilizaron: una balanza modelo V11P30, flexómetro, Electronic Digital Calliper y cinta métrica; y en las pruebas mecánicas se usó la máquina universal de ensayo para la obtención de los parámetros. Como resultado se obtuvo lo siguiente: peso máximo y mínimo de 4.36 kg y 1.53 kg respectivamente, los diagramas esfuerzo-

deformación del producto con máximo y mínimo carga de compresión de 3119.854 N y 808.873 N respectivamente. Tras el análisis de los diagramas obtenidos se pudo constatar, que a mayor dimensión y con un acomodo vertical de las calabazas, se obtiene una mayor carga de compresión (N).

Palabras clave: *caracterización, compresión, eficiencia, optimización, pruebas.*

3.2 Abstract

This article deals with physical characteristics and mechanical tests on pumpkins, specifically *Cucurbita argyrosperma*. The detailed evaluation of the characteristics of pumpkins are of utmost importance since they are the first to be considered in the selection and design of machinery, engine horsepower (breaking strength of pumpkins), process optimization, quality control, research and development and production efficiency; that is why the objective is to obtain different variables, such as: physical characteristics, maximum compression load (N), compression extension (mm), maximum compression stress (MPa), maximum compression deformation (%), compression deformation (MPa) and modulus (Young's automatic) (MPa). In the characterization of the fruit, a V11P30 model balance, flexometer, Electronic Digital Calliper and tape measure were used; and in the mechanical tests, the universal testing machine was used to obtain different parameters. The following results were obtained: maximum and minimum weight of 4.36 kg and 1.53 kg respectively, the stress-strain diagrams of the product: maximum compression load: 3119.854 N, minimum compression load: 808.873 N. After analyzing the diagrams obtained, it was found that the larger the dimension and the more the gourds were placed vertically in the jaws, the higher the compression load (N).

Key words: *characterization, compression, efficiency, optimization, tests.*

3.3 Introducción

En la actualidad, se cultiva calabaza en todos los estados del país, lo que resulta en una producción aproximada de 500, 000 toneladas de calabacitas, 78,000

toneladas de calabaza y 27,500 toneladas de semillas. Estos cultivos generan un valor total que supera los 2,300 millones de pesos anualmente (Basurto Peña et al., 2018).

Según la SNICS y registros de herbario, en México se han identificado cuatro especies domesticadas: *Cucurbita argyrosperma* K. Koch, *Cucurbita ficifolia* Bouché, *cucurbita moschata* Duchesne y *Cucurbita pepo* L. además, existen 11 especies silvestres pertenecientes al género *Cucurbita*, que se dividen en anuales-mesofíticas y perenes xerofíticas, y presentan diferencias genéticas y geográficas distintivas (Ríos Santos et al., 2018).

Por otro lado, la mecanización agrícola implica la incorporación de distintas maquinas, equipos y herramientas en el proceso de producción de cultivos, con el propósito de mejorar la eficiencia técnica y económica. Esto puede resultar en un aumento de la producción y la productividad para los agricultores en sus terrenos, por lo que la forma, el tamaño, el volumen, la superficie, el área, la densidad, la porosidad, el color y el aspecto son algunas de las propiedades físicas que son importantes en muchos problemas relacionados con el diseño de máquinas (Mohsenin, 1986).

La exploración de las propiedades físicas y mecánicas de frutas y verduras juegan un papel fundamental en el desarrollo de maquinaria de pelado y procesamiento. Durante estas etapas, los tejidos de los productos se someten a diferentes tensiones y fuerzas mecánicas, algunas beneficiosas y otras no. la carga mecánica deseable se aplica principalmente en equipos de procesamiento de alimentos, como cortadoras y peladoras, aunque también pueden surgir cargas indeseables durante el proceso (Emadi et al., 2005).

3.4 Materiales y métodos

Se utilizaron calabazas (*Cucurbita argyrosperma*) procedentes del municipio San Miguel del Brete, Irapuato, Guanajuato, localizado geográficamente a las siguientes coordenadas: LN: 20.55123, LW: -101.43866 y una altitud 1.713 m.

El proyecto se llevó a cabo en el Posgrado de Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua, donde la parte experimental se realizó en el laboratorio de materiales biológicos ubicado en el departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola.

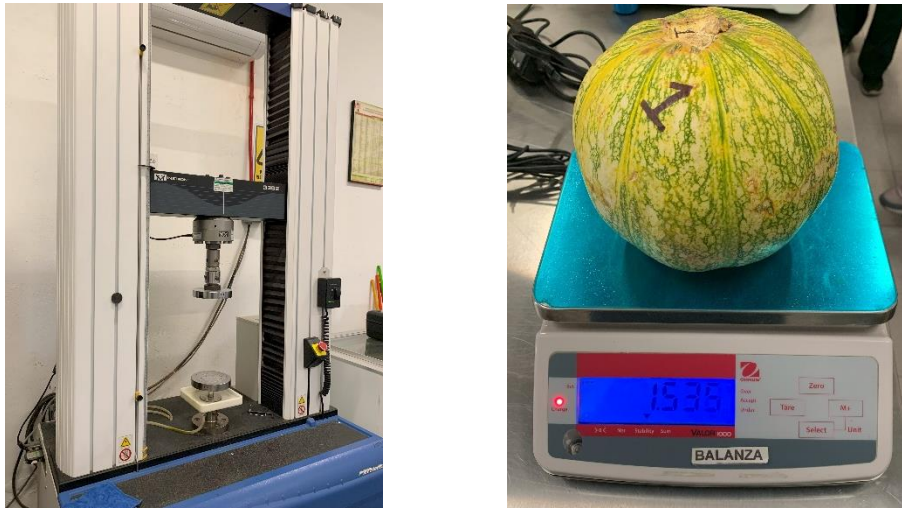


Figura 3. a) Máquina universal de ensayo, INSTRON 3382; b) Numeración y pesaje del producto, Báscula V11P30

Las características físico-mecánicas se realizaron en el laboratorio de materiales biológicos ubicado del departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, donde se emplearon los siguientes materiales: máquina universal de ensayo (INSTROM 3382), Báscula V11P30, Electronic Digital Calliper, flexómetro y mesa de trabajo. Esta máquina (Figura 3a) lleva a cabo principalmente tres tipos de pruebas: tracción, compresión y flexión, de acuerdo con las necesidades específicas de cada investigador (Torres & Redondo, 2009).

Los primeros valores que se adquirieron fueron: el peso, el diámetro y la altura de cada una de las calabazas, con la ayuda de una báscula y un flexómetro. Posteriormente se hizo la prueba de compresión para la obtención de las propiedades cuantitativas (resistencia, limite elástico, punto o límite de fluencia,

punto de rotura, deformación permanente, módulo de elasticidad o módulo de Young)



Figura 4. a) Posición horizontal entre las mordazas; b) Posición vertical entre las mordazas

para ello se ordenaron y numeraron las calabazas y posteriormente fueron sometidas a las pruebas mecánicas tanto en posición horizontal como vertical para diferenciar el comportamiento de las cargas de compresión respecto al desplazamiento (figura 4a, b), primero se enumeraron las calabazas, una vez enumerada y acomodada las calabazas se procedió a someter una por una a las pruebas mecánicas y así obtener las propiedades cuantitativas antes mencionadas.

3.5 Resultados y discusión

Durante el pesaje de los productos se obtuvo los siguientes resultados: peso máximo: 4.36 kg y peso mínimo: 1.535 kg; diámetro máximo: 301.48 mm y diámetro mínimo: 171.13 mm y por último una altura máxima de 175.13 mm y una altura mínima de 145.57 mm. como resultado de las pruebas mecánicas de fuerzas de compresión se obtuvo la relación esfuerzo-deformación que puede verse en la figura 5; donde puede observarse una región lineal de aproximadamente 2 mm debida al grosor de la cascara del fruto.

En la figura 5, se puede observar una región lineal mínima de un aproximado a 2 mm, esto debido al grosor de la cascara del fruto. En consecuencia, la posición vertical requirió una mayor carga, esto debido al nudo donde parte el pedúnculo, y la carga de compresión observada en la calabaza posicionada de forma horizontal fue menor. De igual forma se tiene una zona de cedencia o punto de fluencia corta, sin llegar a la rotura, esto debido principalmente a las características propias de los materiales biológicos, al grosor de la cascara y tiempo de corte.

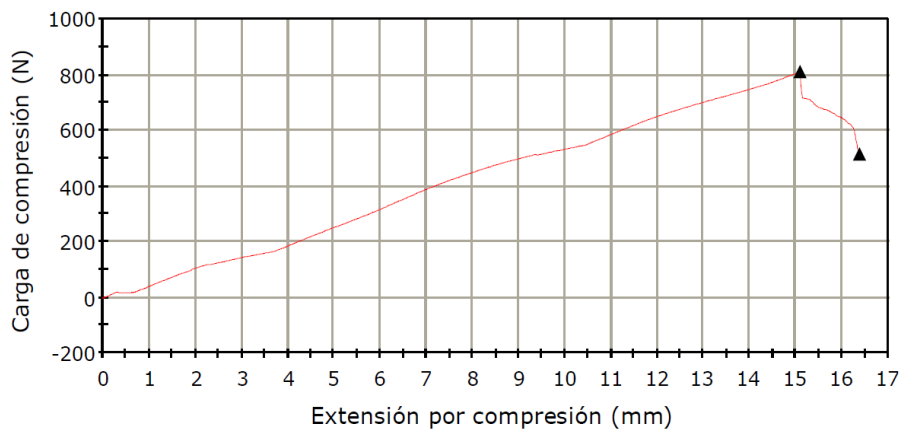


Figura 5. Diagrama esfuerzo - deformación del producto

Posterior a la región lineal y la zona cedencia, se observa una zona plástica de comportamiento casi lineal hasta llegar a la rotura del producto, donde una fuerza de 200 N aproximadamente se obtiene 4 mm de desplazamiento. El comportamiento de los diagramas de esfuerzo-deformación del producto fueron similares para todas las pruebas realizadas. Finalmente, como resultado de todas las pruebas realizadas se obtuvieron los siguientes

Valores Máximos: máximo carga de compresión 3119.854 N, extensión por compresión al máximo carga de compresión 30.992 mm, esfuerzo de compresión al máximo o carga de compresión 0.694 MPa, máximo deformación por compresión 14.945 % esfuerzo de compresión al máximo o deformación por compresión 0.1435 MPa y módulo (automático de Young) 5.256 MPa.

Y **valores mínimos**: máximo carga de compresión 808.873 N, extensión por compresión al máximo carga de compresión 15.075 mm, esfuerzo de compresión al máximo o carga de compresión 0.180 MPa, máximo deformación por compresión 7.334 %, esfuerzo de compresión al máximo o deformación por compresión 0.114 MPa y módulo (automático de Young) 3.480 MPa.

3.6 Conclusiones

La obtención de las características físico-mecánicas de las calabazas tiene muchos propósitos, desde triturar la calabaza para alimento en los ganados, diseño de maquinaria, composta, extracción de semillas, dulce de calabazas, control de calidad, cremas de calabazas, investigación, eficiencia en la producción, optimización de procesos, entre otros.

Las cargas de compresión varían dependiendo de la posición de las calabazas, tamaño y frescura. La carga de compresión reflejada en una posición vertical en específico es casi el triple a la horizontal, esto da la pauta para principiar cualquier tipo de investigación relacionado a la calabaza, porque los datos obtenidos son lo suficientemente bueno.

3.7 Literatura citada

- Basurto Peña, F., Castro Lara, D., Mera Ovando, L. M., & Juárez Castro, T. (2018). ETNOBOTÁNICA DE LAS CALABAZAS CULTIVADAS (*Cucurbita* spp.) EN VALLES CENTRALES DE OAXACA, MÉXICO. *Agro Productividad*, 8(1), 47–53. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/639/509>
- Emadi, B., Kosse, V., & Yarlagadda, P. K. (2005). Mechanical Properties of Pumpkin. *International Journal of Food Properties*, 8(2), 277–287. <https://doi.org/10.1080/10942912.2005.10345418>
- Mohsenin, N. N. (1986). *PHISICAL PROPERTIES OF PLANT AND ANIMAL MATERIALS: Vol. Second Revised*.

- Ríos Santos, E., González Santos, R., Cadena Iñiguez, J., & Mera Ovando, L. (2018). DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES CULTIVADAS Y PARIENTES SILVESTRES DE CALABAZA (Cucurbita L.) EN MÉXICO. *Agro Productividad*, 11(9), 21–27. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1210/983>
- Torres, J., & Redondo, J. (2009). Reparación y automatización de una máquina universal de ensayos. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 30(2), 171–179. <https://www.redalyc.org/pdf/5075/507550785010.pdf>

4 DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE SEMILLAS DE CALABAZA PIPIANA (*Cucurbita Argyrosperma* K. Koch).

Salazar Melgar Plutarco¹, Villaseñor Perea Carlos Alberto^{2*}, Mancera Rico Arturo³, López Canteñs Gilberto de Jesús²

Universidad Autónoma Chapingo, Posgrado en Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, México, C. P. 56230, México¹

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Carretera México- Texcoco km 38.5, Chapingo, México, C. P. 56230, México²

Calzada Antonio Narro1923, Buenavista C. P. 25315, Saltillo, Coahuila, México³
cvillaseñorp@chapingo.mx, tel.: (+52) 5959517952 (*Autor de correspondencia)

4.1 Resumen

Este trabajo de investigación se enfocó en el diseño y construcción de una maquina extractora de semillas de calabaza pipiana de la especie *Cucurbita argyrosperma* Huber, puesto que esta especie tiene un amplio uso. El uso de las semillas tiene una gran importancia tanto en la cocina como en la industria, por mencionar algunas: mole pipián, snacks saludables, ingredientes en ensaladas, sopas y guisos, salsas y aderezos, además estas contienen una variedad de nutrientes esenciales, así como lípidos, proteínas, carbohidratos y otros elementos de gran relevancia para una salud óptima, sin embargo, cuando se tienen calabazas de tamaño mediano o pequeño la mayoría de estas suelen terminar en los contenedores, compostaje o alimentación animal, sin considerar la gran importancia o contenido proteico que estas contienen. Por ello el objetivo primordial fue diseñar y construir un prototipo extractor de semillas de calabaza para segundo, tercero y cuarto corte en la parcela. En el proceso de diseño fue

relevante considerar el estudio físico-mecánico de la materia prima, puesto que con los datos recabados fueron necesarios para el cálculo del motor y el diseño de la tolva principal. Este prototipo fue diseñado y modelado en el software SolidWorks® 2017 obteniendo así una dimensión aproximada de largo 2.60 m, ancho 1.40 m y alto 1.60 m. Este prototipo consta de tres sistemas: rotura, separación semilla-cáscara y expulsión de semillas. Este prototipo es accionado por un motor eléctrico de 5 Hp, uso de bandas y poleas para la variación de RPM. El costo del tendría un costo aproximadamente \$ 20754.0 pesos mexicanos.

Palabras clave: extracción, prototipo, software, productividad, sistema.

4.2 Abstract

This research work focused on the design and construction of an extraction machine for pipian pumpkin seeds of the species *Cucurbita argyrosperma* Huber, since this species has a wide use. The use of seeds has a great importance both in the kitchen and in the industry, to mention a few: pipian mole, healthy snacks, ingredients in salads, soups and stews, sauces and dressings, also these contain a variety of essential nutrients, as well as lipids, proteins, carbohydrates and other elements of great relevance for optimal health, however, when you have medium or small size pumpkins most of these usually end up in containers, compost or animal feed, without considering the great importance or protein content that these contain. Therefore, the main objective was to design and build a prototype pumpkin seed extractor for second, third and fourth cuts in the field. In the design process it was relevant to consider the physical-mechanical study of the raw material, since the data collected were necessary for the calculation of the motor and the design of the main hopper. This prototype was designed and modeled in SolidWorks® 2017 software obtaining an approximate dimension of length 2.60 m, width 1.40 m and height 1.60 m. This prototype consists of three systems: breaking, seed-shell separation and seed ejection. This prototype is driven by a 5 Hp electric motor, using belts and pulleys for RPM variation. The cost of the would have a cost of approximately \$ 20754.0 Mexican pesos.

Keywords: extraction, prototype, software, productivity, system.

4.3 Introducción

Hoy en día, los sistemas alimentarios experimentan una gran cantidad de pérdidas y desperdicios de alimentos que se desperdician en varios eslabones de la cadena alimenticia por diversas razones, que pueden ser el resultado de la acción humana o de factores externos, como el medio ambiente o el cultivo (Noemi Sajama et al., 2023).

Las calabazas son plantas que forman parte del sistema de producción de alimentos básicos que se conoce como milpa, estas plantas junto con muchas otras plantas vegetales se encuentran en los mercados de las diferentes regiones de Oaxaca un medio muy efectivo de distribución y marketing (Basurto Peña et al., 2018). Las semillas de calabaza se tiran como desechos vegetales antes de ser consumidas, a pesar de que estas contienen compuestos nutritivos, así como lípidos una cantidad de 40 a 52 % de aceite y proteínas que aportan hasta el 80 a 85% del peso seco del embrión (Noemi Sajama et al., 2023).

La integración de tecnología mecánica genera alternativas viables para el aumento de la producción y la seguridad alimentaria en la región. Se puede lograr una mayor productividad agrícola mediante una inversión adecuada en mecanización agrícola (Elverdin et al., 2018).

Específicamente la extracción de semillas de calabaza es toda una ciencia, puesto que para ello existen en el mercado una gran variedad de grandes máquinas extractoras de semillas, sin embargo, para los pequeños productores no está en sus posibilidades dicha adquisición.

Por ello el objetivo de este trabajo de investigación es diseñar y construir un prototipo acorde a las necesidades de pequeños productores con la capacidad de extraer las semillas de calabaza puesto que actualmente no hay una máquina de tamaño regular y de bajo costo para realizar dicha tarea con el objetivo de optimizar el tiempo de extracción manual y aumentar la productividad.

4.4 Materiales y métodos

4.4.1 Ubicación del proyecto

El trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Autónoma Chapingo, en el Posgrado de Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua. La manufactura de los elementos de la máquina se realizó en el departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Las pruebas físico-mecánicas se llevó a cabo en el laboratorio de materiales biológicos ubicado en el departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola.

4.4.2 Diseño de la máquina extractora

Los metales continúan siendo los materiales de ingeniería más ampliamente empleados en general, y el aumento en su producción (especialmente en el caso del acero) se ha considerado a menudo como un signo del proceso industrial.

Para la selección de los materiales a utilizar en la construcción de la máquina, se evaluó tanto las propiedades mecánicas como las físicas, al igual que los costos de estas. Para el desarrollo del diseño mecánico, se utilizó la metodología de Pahl y W. Beitz, donde la prime fase fue la aclaración de tarea que engloba la recopilación de información sobre los requerimientos que deben ser incorporados en la solución, así como acerca de las restricciones; para ello se realizó el siguiente árbol de funciones y medios para un mayor desglose hacia el objetivo.

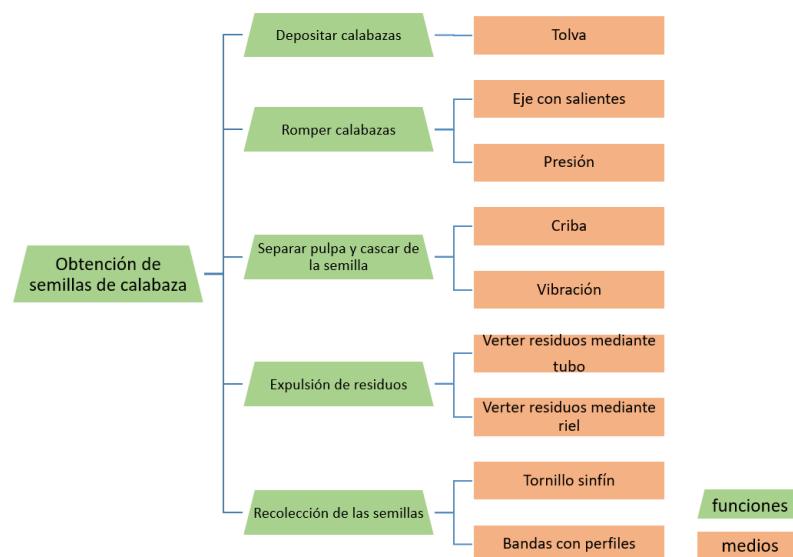


Figura 6. Árbol de funciones y medios para la máquina extractora

4.4.3 Diseño conceptual

La etapa de diseño conceptual ejerce influencia significativa en los costos de los productos y en su capacidad de innovación, razón por la cual se considera la fase más crucial en el proceso de diseño de ingeniería. A pesar de su importancia, históricamente, la atención y los esfuerzos comerciales se han centrado principalmente en la ejecución y el diseño detallado, que son las dos últimas etapas del proceso de diseño de ingeniería. Esto se debe a que la fase de diseño conceptual involucra métodos que tienden a ser lentos y laboriosos (Mayda & Börklü, 2014).

En este apartado se usó el método de despliegue de la función (QFD), esta fase se deriva de las palabras japonesas Hin Shitsu Ki No, Ten Kai y en inglés Quality Function Deployment. Es una herramienta mediante la cual, de manera sistemática se determina los requerimientos del cliente y se traducen a requerimientos técnicos mensurables, con objeto de establecer, durante la etapa de comprensión del problema, las características que debe poseer el producto a diseñar.

Determinación de los requerimientos del cliente: en este apartado se detallan los requerimientos necesarios, de acuerdo con el “qué” es lo que se quiere:

- a) Máquina de bajo costo
- b) Pérdida mínima de semillas
- c) Facilidad de manejo de la máquina
- d) Fácil mantenimiento y limpieza
- e) Piezas estandarizadas y compradas
- f) Seguridad mecánica
- g) Ensamble sencillo
- h) Tamaño regular para un fácil transporte

Para una mayor visualización en dónde poner mayor atención de los requerimientos mencionados anteriormente se procedió a clasificarlos en una tabla como obligatorias y deseables (Cuadro 4).

Cuadro 4. Requerimientos deseables y obligatorios del cliente

Requerimiento	Deseable	Obligatorio
A	x	
B		x
C	x	
D		x
E		x
F		x
G	x	
H		x

Una vez realizado la (Cuadro 4) se procedió a analizar una vez más los requerimientos deseados mediante matriz de comparación por pares.

Matriz de comparación por pares: En este apartado se comparó uno a uno los requerimientos deseables con el fin de analizar y dar un orden de importancia. Para empezar la comparación dentro de la matriz, primero se asignó valores: (+, mas importante) y (0, menos importante) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Matriz de comparación por pares

Requerimientos deseables	Requerimientos deseables			Número de (+)	Peso relativo x 100
	A	C	G		
A		+	+	2	66.66
C	0		0	0	00.00
G	+	0		1	33.33
	Total			3	100

Cantidad total de comparación

$$C = \frac{N(N - 1)}{2} \quad (1)$$

Sustituyendo valores en la Ec. 1 obtenemos un valor de 3. Una vez obtenido el valor de comparación se procedió a calcular el peso relativo del requerimiento esto con el fin de obtener el porcentaje de importancia de cada requerimiento, con la ayuda la siguiente ecuación:

$$P_r = \frac{\Sigma(+)}{C} \times 100 \quad (2)$$

Sustituyendo los valores de menor a mayor (+ más importante) respectivamente a la Ec. 2 se obtuvo para G (ensamble sencillo) un valor de 33.33% y para A (máquina de bajo costo) un valor de 66.66% (Cuadro 5).

Los valores obtenidos en el (Cuadro 5) nos indica el porcentaje de importancia de los requerimientos deseados, esto con el fin de priorizarlos en el proceso de diseño.

Para el diseño de máquinas es importante conocer valores numéricos de cada requerimiento del cliente esto con el fin de acelerar el proceso de diseño de los elementos de la máquina y cálculos que esta conlleva (Cuadro 6).

Cuadro 6. Traducción de los requerimientos del cliente en términos mensurables.

Requerimientos del cliente	Traducción en términos mensurables	Unidades de medida (h, kg, m, \$)
Máquina de bajo costo	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de máquinas pequeñas • Rango de ganancia de pequeños productores 	<ul style="list-style-type: none"> • \$ 20,000 – \$ 30,000 • \$ 4,102 – \$ 14,310
Perdida mínima de semillas	<ul style="list-style-type: none"> • Semillas dañadas • Alta eficiencia de la máquina 	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades/calabaza • 99%
Facilidad de manejo	<ul style="list-style-type: none"> • Asesoramiento y manual • Cantidad de personas • Escolaridad mínima 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 - 2 horas • 1 - 2 personas • Nivel: primaria

Fácil mantenimiento y limpieza	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de personas • Manual • Herramientas 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 - 2 personas • 0.5 – 1 h • 30 minutos
Mayoría de piezas estandarizadas y compradas	<ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de partes • Poca complejidad de los componentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Refaccionarias disponibles • 0.5 - 1 h
Seguridad mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de protección • Peso promedio de partes 	<ul style="list-style-type: none"> • Un equipo por persona • 10 – 20 kg
Ensamble sencillo	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de personas • Herramientas • manual 	<ul style="list-style-type: none"> • 1-2 personas • Las necesarias • 0.5 – 1 h
Tamaño regular para un fácil transporte	<ul style="list-style-type: none"> • PROY-NOM-012-SCT-2-2002 	<ul style="list-style-type: none"> • Ancho máximo autorizado para toda clase de vehículo, será de 2.60 m.

Normas Oficiales Mexicanas SCT2 (Dirección General de Autotransporte Federal, 2002).

Una vez conocida toda la información necesaria del cliente se procedió a analizar e imaginar el cómo va a ser cada componente, así como los mecanismos que llevará la máquina, para ello se realizó una función global y el análisis funcional.

Función global. Esta función también se le conoce como la caja negra, puesto que se conoce tanto las entradas (calabazas, energía y señales) como las salidas (semillas, residuos) excepto los mecanismos que ésta se compone.

El principal propósito de la máquina es romper la calabaza y separar tanto la cáscara como la pulpa de la semilla, garantizado un buen estado de estas, para ello tenemos la siguiente función global.

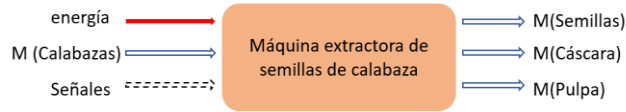


Figura 7. Función global de la máquina extractora de semillas

Una vez realizada la función global se procedió a fragmentar la caja negra mediante un diagrama, esto con el fin de determinar las tareas necesarias a realizar la máquina para el cumplimiento del objetivo (Figura 8).

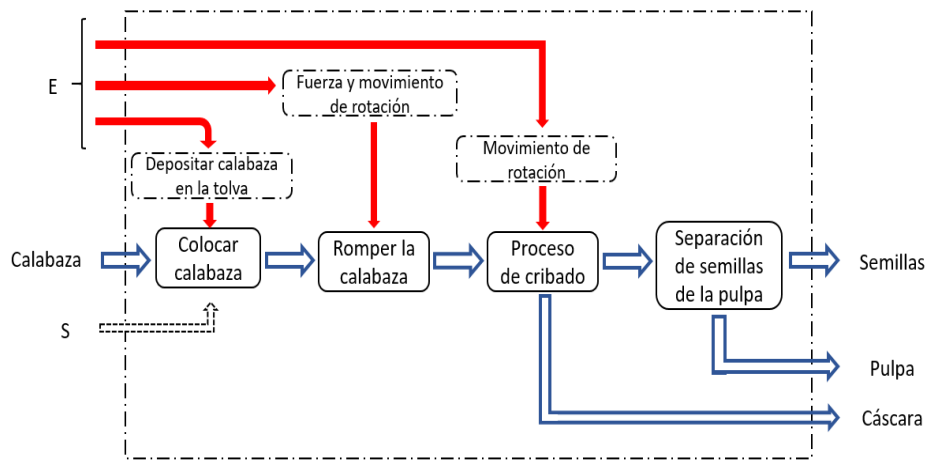


Figura 8. Análisis funcional de la máquina extractora de semillas

Búsqueda de principios de solución

Se determinó los principios de solución que satisficiera cada una de las funciones identificadas, cabe recalcar que se habla de principios de solución que cumplan funciones y nunca de componentes concretos.

Cuadro 7. Búsqueda de principios de soluciones

Subfunción	Principios de solución				
	1	2	3	4	5
1 Depositar calabaza	Manual	Brazo robótico	Canal con pendiente (vertedor)		

2	Romper calabaza	la Biela manivela	Eje con brazos	Rodillo dentado doble	Eje con Manual aspas
3	Proceso de cribado	Criba de sacudida	Criba vibrante	Criba giratoria	
4	Separación de semillas de la pulpa (proceso de tamizado)	Tamizado estacionario	Tamizado giratorio	Tamizado de vibración	
5	Expulsión de semillas	Banda con gradientes	Tornillo sinfín	Mediante vertedor	Presión de aire

Combinación de principios de soluciones

En este apartado, el problema principal de este método de combinación de principios de solución es decidir cuales principios de solución son compatibles, para ello se hizo uso del (Cuadro 7) para las posibles combinaciones.

La identificación de las sub-soluciones compatibles se facilita si:

- Las propiedades más esenciales y características son considerados.
- Si los principios de solución son concretos y adaptables con cualquier tipo de mecanismos.
- Expresar los principios de solución en esquemas y no solo en palabras.
- Concordancia en las combinaciones.

Subfunción	Principios de solución				
	1	2	3	4	5
1 Depositar calabaza	Manual	Brazo robótico	Canal con pendiente (vertedor)		
2 Romper la calabaza	Biela manivela	Eje con brazos	Rodillo dentado doble	Eje con aspas	Manual
3 Proceso de cribado	Criba de sacudida	Criba vibrante	Criba giratoria		
4 Separación de semillas de la pulpa (proceso de tamizado)	Tamizado estacionario	Tamizado giratorio	Tamizado de vibración		
5 Expulsión de semillas	Banda con gradientes	Tornillo sinfín	Mediante vertedor	Presión de aire	

Figura 9. Combinación de principios de solución

Respecto a las combinaciones de principios de solución de la (Figura 9), se estableció las tres posibles variantes de solución

Variante 1 (color negro): 1.1 - 2.1 - 3.2 - 4.1 - 5.1

Variante 2 (color verde): 1.1 - 2.2 - 3.3 - 4.2 - 5.2

Variante 3 (color naranja): 1.3 - 2.3 - 3.3 - 4.3 - 5.4

Selección de combinaciones convenientes:

De las tres posibles soluciones que se obtuvo durante las combinaciones de principio de solución, se hizo una evaluación para decidir cual variante cumple con el objetivo mencionado en la función global, bajo un cuadro de criterios (Cuadro 8).

Cuadro 8. Criterios de selección

Criterio de selección	Decisión
• (+) si	• (+) solución perseguida
• (-) no	• (-) solución eliminada
• (?) falta información	• (?) coleccionar información

- (!) comprobar especificación

- (!) comprobar especificación para cambios

Cuadro 9. Selección de combinaciones convenientes (variantes).

Variantes de solución	V1	V2	V3
Compatible con la tarea global	+	+	+
Cumple los requisitos	+	+	+
Realizable en principio	+	+	+
Dentro del presupuesto	+	+	+
Medidas de seguridad	+	+	+
Información adecuada	?	+	+
observaciones	-	-	-
Decisión	+	+	+

Una vez realizada la tabla de selección de combinaciones se obtuvo una posible idea de cómo podría ser el diseño de la máquina, pero para llegar al diseño final se procedió a realizar algunos bocetos para ir mejorando los dibujos respecto a los principios de solución, variantes y selección de combinaciones.

Evaluación de las variantes de conceptos: Para la evaluación de las diferentes variantes, se ocupó el árbol de objetivos (Figura 10) para facilitar la identificación cercana y una mejor coordinación de los factores de ponderación y los parámetros.

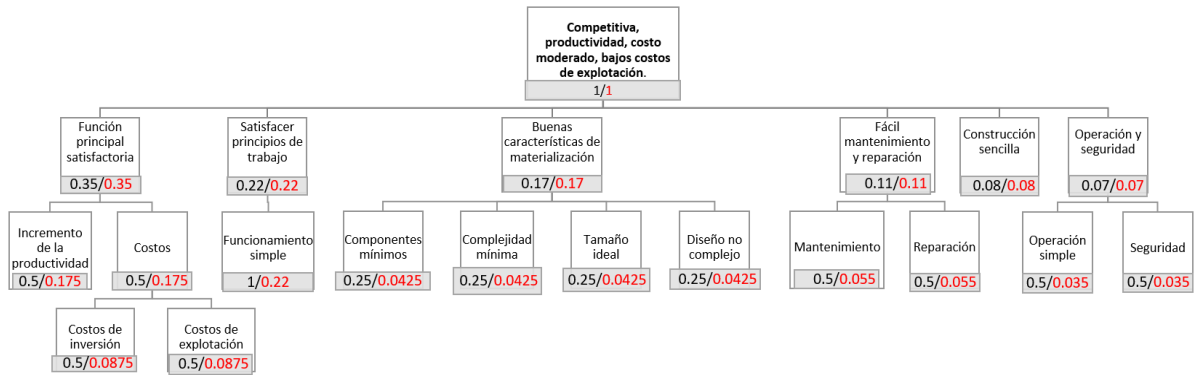


Figura 10. Árbol de objetivos de la máquina extractora de semillas

La comparación puede efectuarse en forma relativa o absoluta.

La comparación relativa (Ec. 3) se efectúa usando los valores totales y seleccionando como mejor variante la que presente un máximo valor total.

$$v_j \text{ ó } w * v_j \tag{3}$$

Y la comparación absoluta se efectúa calculando el rating de las diferentes variantes con respecto a una variable ideal que acumula el máximo de puntos y esta se clasifica en dos: rating sin ponderación y con ponderación (Ec 4 y 5 respectivamente).

$$\frac{v_j}{v_{m\acute{a}x} * n} = \frac{\sum_{i=1}^n v_{ij}}{v_{m\acute{a}x} * n} \tag{4}$$

$$wR_j \frac{wv_j}{v_{m\acute{a}x} * \sum_{i=1}^n w_j} = \frac{\sum_{i=1}^n w_j v_{ij}}{v_{m\acute{a}x} * 1} \tag{5}$$

Donde $v_{m\acute{a}x}$ = calificación máxima posible; n = número de criterios de calificación

Finalmente, para la selección de la variante definitivo se realizó una tabla de evaluación de variantes de concepto contra criterios técnicos y económicos esto

para determinar y corregir los bocetos ya realizados de los componentes y mecanismos de la máquina.

Criterio de evaluación			Parámetros		Variante V ₁			Variante V ₂			Variante V ₃		
N°	Denominación	W	Nombre	Unidad	Magnitud	Valor V ₁	V. Pond. W * V ₁	Magnitud	Valor V ₂	V. Pond. W * V ₂	Magnitud	Valor V ₃	V. Pond. W * V ₃
1	Incremento de la productividad	0.175	Nombre	Kg/h	Muy buena	8	1.4	Muy buena	8	1.4	Muy buena	8	1.4
2	Costos de inversión	0.0875	productividad	\$	\$25,000	8	0.7	25,000	8	0.7	30,000	9	0.788
3	Costos de explotación	0.0875	Costo	\$	\$5,000	7	0.613	5,000	8	0.7	10,000	8	0.7
4	Funcionamiento simple	0.22	Costo	-	Muy buena	8	1.76	excede	9	1.98	Solución buena	7	1.54
5	Componentes mínimos	0.0425	Número de componentes	-	Solución buena	7	0.298	Muy buena	8	0.34	Muy buena	8	0.34
6	Complejidad mínima	0.0425	Simplicidad de componentes	-	Solución buena	7	0.298	Solución buena	7	0.298	Solución buena	7	0.298
7	Tamaño ideal	0.0425	Espacio	m	Muy buena	8	0.34	Muy buena	8	0.34	Muy buena	8	0.34
8	Diseño no complejo	0.0425	Diseño	-	Solución buena	7	0.298	Muy buena	8	0.34	Excede	9	0.383
9	Mantenimiento	0.055	Mantenimiento	-	Muy buena	8	0.44	Muy buena	8	0.44	Solución buena	7	0.385
10	Reparación	0.055	Reparación	-	Solución buena	7	0.385	Excede	9	0.495	Solución buena	7	0.385
11	Construcción sencilla	0.08	Construcción	\$	Muy buena	8	0.64	Muy buena	8	0.64	Muy buena	8	0.64
12	Operación simple	0.035	funcionamiento	-	Excede	9	0.315	Excede	9	0.315	Excede	9	0.315
13	Seguridad	0.035	seguridad	-	excede	9	0.315	Excede	9	0.315	excede	9	0.315
	total	1				101	7.802		107	8.303		104	7.829

Figura 11. Evaluación de variantes de concepto contra criterios técnicos y económicos.

De la (Figura 11) se determinó que la variante 2 es la óptima puesto que se obtuvo un mayor valor respecto a las otras variantes.

4.4.4 Diseño en 3D de diferentes sistemas mecánicos de la máquina

Una vez realizado el diseño óptimo de la máquina, el proceso de manufactura de cada componente se dividió en dos etapas:

Primera etapa. Se comenzó con el chasis principal, el cual soporta el peso de casi todos los componentes de la máquina (tolvas, soportes, el eje de accionamiento, la criba, el motor, los ejes sinfín, chumaceras y tornillería); posteriormente se soldaron las tolvas y el eje primario que funge la función de romper las calabazas y a la vez golpetear a las calabazas rotas para un mejor desprendimiento de las semillas.

Segunda etapa. Esta consistió en la manufactura de los componentes finales de la máquina, así como: la criba, tornillos sin fin, adquisición de los neumáticos, de poleas bandas y motor

4.4.5 Sistema de rotura de las calabazas

La máquina consta de tres partes, donde la primera parte (Figura 13), está constituida por una tolva principal y en la parte interna de esta se tiene el eje principal y un tornillo sin fin primario.

Durante el diseño de la tolva primaria se tomó en cuenta las dimensiones (altura, diámetro y peso) de las calabazas esto para un buen diseño y optimización de materiales y costos.

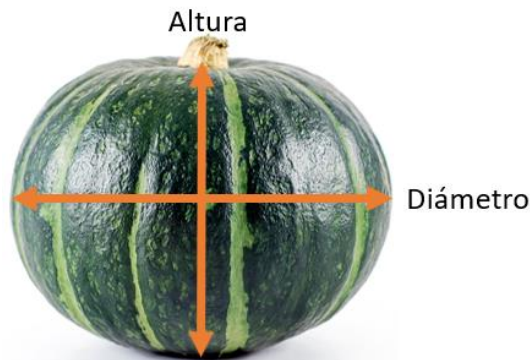


Figura 12. Parámetros de la calabaza

Obteniendo así una tabla de valores donde se registraron valores máximos y mínimos de cada parámetro:

Cuadro 10. Valores máximos y mínimos de la calabaza

Parámetros	Máximo (a)	Mínimo(a)
Peso	4.36 kg	1.535 kg
Diámetro	301.48 mm	171.13 mm
Altura	175.13 mm	145.57 mm

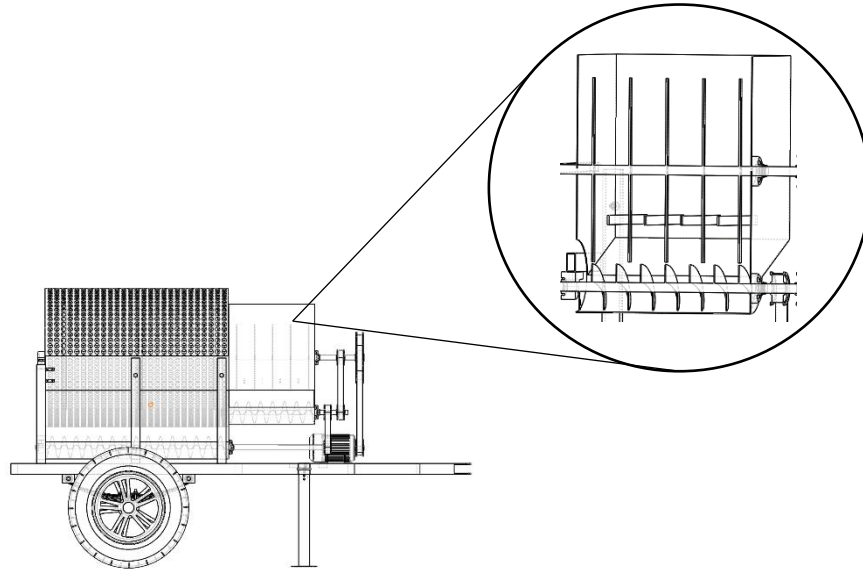


Figura 13. Vista detallada del sistema de rotura

El principio de funcionamiento de la máquina para la rotura de la calabaza es bajo presión, para el cumplimiento de ese principio tenemos el eje principal con soleras soldadas en el extremo derecho de 495 mm de largo con una separación de 100 mm (Figura 13) accionado por un motor eléctrico y para ejercer fuerza sobre la calabaza es necesario una contraparte, para ello en el interior de la tolva principal se soldaron unas soleras de 596 mm para cumplir dicho principio.

Una vez roturadas las calabazas el siguiente proceso que consta el primer sistema es el desplazamiento de esta al segundo sistema que es el sistema de cribado, para ello se tiene un transportador helicoidal para el cumplimiento de dicha función.

4.4.6 Diseño del transportador helicoidal

El eje sinfín utilizado fue el de transportadores de paso corto, donde los transportadores helicoidales de paso corto están reducidos a $2/3$ del diámetro del aspa.

El diámetro (DE) del aspa seleccionado es de 5 in por lo tanto el paso fue de 84.66 mm respetando lo anteriormente explicado. En el cálculo de las aspas para el eje sinfín se ocuparon las siguientes fórmulas. Valores conocidos: DE= 127 mm; DI= 33.401 mm y P=84.66 mm.

$$A = \frac{\phi DE - \phi DI}{2} \quad (6)$$

$$A = \frac{127 - 33.401}{2} = 46.79 \text{ mm}$$

$$RU = \sqrt{\phi DE^2 * \pi^2 + P^2} \quad (7)$$

$$RU = \sqrt{127^2 * \pi^2 + 84.66^2} = 407.86 \text{ mm}$$

(8)

$$RE = \sqrt{\phi DI^2 * \pi^2 + P^2}$$

$$RE = \sqrt{33.401^2 * \pi^2 + 84.66^2} = 134.82 \text{ mm}$$

Una vez calculado el valor de las variables (A , RU y RE) se procedió a calcular el valor de la variable r , R y X que son los valores principales para el trazado de las aspas, ver figura 11(a).

$$r = \frac{A * RE}{RU - RE} \quad (9)$$

$$r = \frac{46.79 * 134.82}{407.86 - 134.82} = \mathbf{23.1 \text{ mm}}$$

$$R = r + A \quad (10)$$

$$R = 23.1 + 46.79 = \mathbf{69.89 \text{ mm}}$$

$$\Delta = 2 * R * \pi \quad (11)$$

$$\Delta = 2 * 69.89 * \pi = 439.1 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{RU * 360}{\Delta} \quad (12)$$

$$\beta = \frac{407.86 * 360}{439.1} = 334.88 \text{ mm}$$

$$X = 360 - \beta \tag{13}$$

$$X = 360 - 334.38 = 25.6^\circ$$

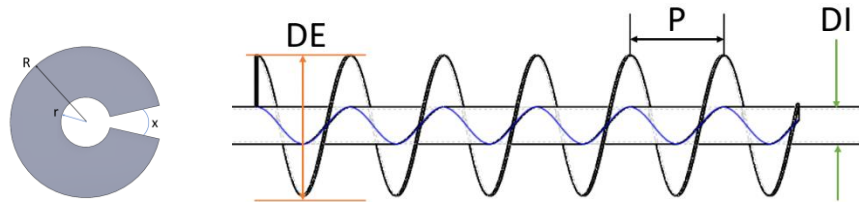


Figura 14. (a) aspa y (b) variables de un transportador helicoidal

Una vez calculado los valores necesarios para el diseño del transportador helicoidal se obtuvo un transportador de 84.66 mm de paso de rosca, 5.8 número de revoluciones y una longitud total de 750 mm (Figura 15). Posteriormente se dibujó en el software SolidWorks para una mejor visualización y obtención del formato A4.

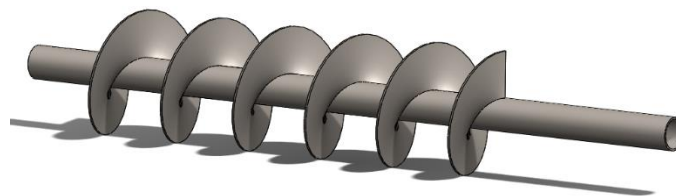


Figura 15. Transportador helicoidal primario

4.4.7 Sistema de separación de semilla de la cáscara

La segunda parte de la máquina (Figura 17), está constituida por una criba de 106 cm de ancho con un diámetro de 80 cm y eje principal que es el mismo de la tolva principal, donde en el extremo izquierdo de este se soldaron soleras de 3/16 x 1 in fungiendo la función de soporte de la criba.

El diseño de este elemento fue diseñado a partir de un estudio estadístico de las semillas (Figura 16). Para ello se seleccionaron un grupo de semillas (Cuadro 11) mediante el muestro aleatorio probabilístico para tomar las medidas necesarias,

así como el ancho, largo y espesor de las semillas de la especie (*Cucurbita argyrosperma Huber*) en específico.



Figura 16. Dimensiones obtenidas de la semilla: Ancho, Largo y Espesor

Cuadro 11. Estudio estadístico de las semillas

Numeración	Base (b)	Alto (a)	Grosor (G)
1	9.91	21.23	3.42
2	11.34	21.58	3.84
3	9.9	20.96	3.41
4	9.77	19.87	3.44
5	9.22	20.75	3.33
6	8.96	23.39	3.55
7	9.31	24.28	3.82
8	9.62	21.2	3.21
...
60	9.61	23.11	3.63

Para el estudio de la estadística descriptiva se seleccionaron de manera aleatorio probabilístico una cantidad de 60 semillas, esto con el fin de obtener medidas cruciales para un diseño óptimo de la criba. Las siguientes fórmulas muestran cómo calcular tanto la varianza como la desviación estándar:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (14)$$

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (15)$$

Cuadro 12. Estadística descriptiva de las semillas

	Parámetros	Base (b)	Alto (a)	Grosor (G)
Medidas de tendencia central	Media (Prom)	9.95	22.20	3.56
	Mediana	9.98	22.17	3.545
	Moda	9.35	21.23	3.44
Medidas de dispersión	Rango	2.38	5.07	1.5
	Varianza	0.24	1.74	0.07
	Desv. Estándar	0.49	1.32	0.265

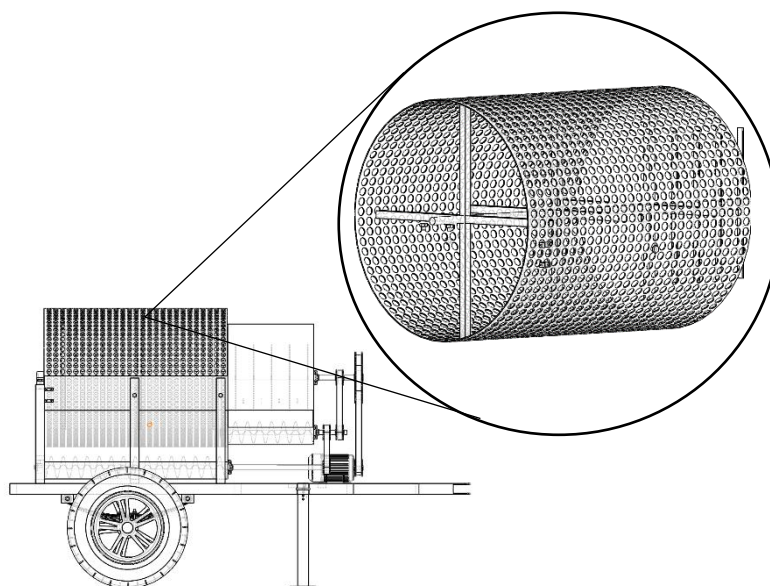


Figura 17. Vista detallada del sistema de separación de semilla de la cáscara de calabaza

El principio de funcionamiento del sistema es de un harnero (Figura 17), puesto que, mediante la revolución emitida por el motor, la criba gira provocando que las calabazas trituradas se golpeteen dentro de la criba haciendo que las semillas se desprendan del cuerpo de la calabaza y estas se filtren por los orificios de la criba,

consecuentemente las partes que poseen dimensiones mayores se van desplazándose dentro de la criba hasta ser expulsadas de la máquina.

4.4.8 Sistema de expulsión de semilla

La tercera y última parte (Figura 19). Este sistema está compuesto de una tolva de almacenamiento y un tornillo sinfín, la tolva cumple la función de almacenar las semillas desprendidas de la calabaza triturada, al igual que una cierta cantidad de pulpa que cumple con las dimensiones igual o menor que las dimensiones de las semillas.

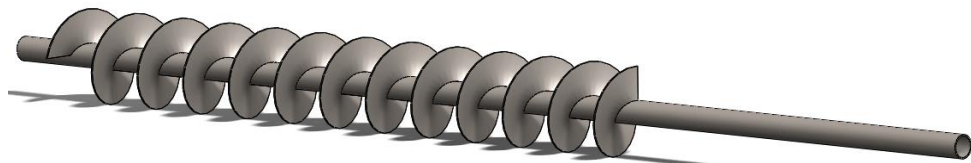


Figura 18. Transportador helicoidal secundario

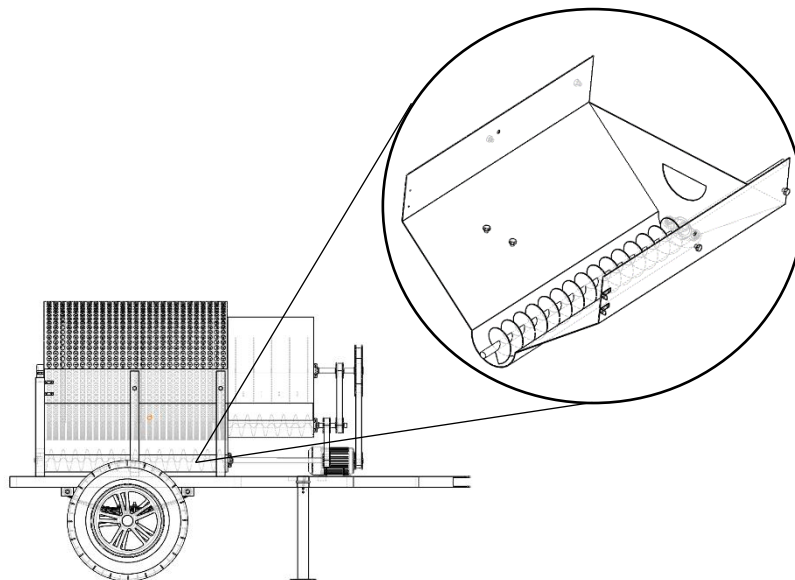


Figura 19. vista transversal detallada del sistema de expulsión de semilla

El diseño de este transportador helicoidal (Figura 18) es el mismo que el transportador primario, solo que éste está compuesto por más aspas puesto que el eje es más largo (1740 mm). En términos generales, la máquina lleva a cabo

tres procesos, a) depósito de las calabazas a la tolva principal, b) rotura de las calabazas por el eje principal, c) cribado y expulsión de las semillas a través del tornillo sin fin.

4.4.9 Diseño de sistemas de accionamiento

La máquina consta de un motor eléctrico para el accionamiento de diferentes mecanismos, esto para llevar a cabo los diferentes procesos en la calabaza hasta llegar al objetivo principal. Esta máquina cuenta con el sistema de accionamiento de poleas y bandas accionados por un motor de 5 HP. Cuenta con una polea motriz y cinco poleas conductor, un eje principal que conecta a la tolva principal y secundaria, un eje de desplazamiento de calabazas trituradas y por último un eje para el desplazamiento de semillas

Selección de bandas de cuero.

Para el cálculo de diámetro de poleas primero se obtuvo el diámetro mínimo de la polea motriz uno y para ello se utilizó el (Cuadro 13) seleccionando tentativamente un valor quedando de eso modo fijo el valor de esta.

Cuadro 13. Diámetros mínimos de poleas para bandas en metros (Virgil Moring Faires, 1987).

Número de capas		Sencilla			Doble		Triple	
Espesor	Pulgadas	11/64	13/64	18/64	20/64	23/64	30/64	34/64
	Milímetros	4.36	5.16	7.14	7.94	9.13	11.90	13.49
Diámetro mínimo para bandas de:	Hasta 20 mm de ancho	0.076	0.127	0.152	0.203	0.305	0.508	0.610
	Más de 20 mm de ancho	-	-	0.203	0.250	0.350	0.610	0.915

Una vez seleccionado el valor el espesor de banda se calculó la velocidad perimetral (m/s) correspondiente al diámetro de la polea motriz y la velocidad angular del motor, con la siguiente ecuación.

$$V = \frac{\pi * D * N}{60} \quad (16)$$

Sustituyendo los valores, donde $D = 0.076$ m y $N = 1680$ rpm respectivamente a la ecuación obtenemos lo siguiente:

$$V = \frac{\pi(0.076)(1680)}{60} = 6.68 \text{ m/s}$$

Con el valor obtenido en la ecuación 7 se procedió a obtener la capacidad de transmisión de potencia por milímetro de ancho de bandas de cuero curtidas con tanino de roble (factor K) con la ayuda de la tabla 8.

Valores como factores de corrección por tipo de motor (M), diámetro de la polea (P) y condiciones de operación (F), se obtuvieron en las siguientes tablas respectivamente.

Cuadro 14. Potencia transmisible (kW) por milímetro de ancho de bandas (Virgil Moring Faires, 1987).

Velocidad de la banda, m/s	Una sola capa (espesor)		Capa doble (espesor)			Capa triple (espesor)	
	11/64"	20/64"	18/64"	20/64"	23/64"	30/64"	34/64"
	Media	pesada	ligera	Media	Pesada	Media	Pesada
3	0.032	0.035	0.044	0.053	0.065	0.074	0.082
4	0.041	0.050	0.065	0.071	0.085	0.097	0.106
5	0.053	0.062	0.076	0.091	0.106	0.121	0.132
6	0.062	0.074	0.091	0.109	0.126	0.144	0.159
7	0.074	0.085	0.103	0.126	0.144	0.168	0.185
8	0.082	0.097	0.118	0.144	0.172	0.191	0.209
9	0.094	0.109	0.132	0.156	0.182	0.215	0.235
10	0.100	0.124	0.144	0.176	0.203	0.238	0.262

Cuadro 15. Factor de corrección M para el tipo de motor y características de arranque (Virgil Moring Faires, 1987).

Tipo de motor y arranque	Coefficiente M
Jaula de ardilla, arranque por compensador	1.5
Jaula de ardilla, arranque por línea	2.0
Anillo deslizante, gran par de arranque	2.5

Cuadro 16. Factor de corrección P por diámetro de la polea pequeña (Virgil Moring Faires, 1987).

Diámetro de la polea pequeña, m.	Factor de corrección P
Hasta 0.10	0.5
0.11 – 0.20	0.6
0.21 – 0.30	0.7
0.31 – 0.40	0.8
0.41 – 0.75	0.9
Más de 0.75	1.0

Cuadro 17. Factor de corrección F para condiciones especiales de operación (Virgil Moring Faires, 1987).

Condición de funcionamiento	Factor F
Ambiente grasoso, húmedo o polvoriento	1.35
Transmisiones verticales	1.20
Carga con choque ligero	1.20
Choques y cargas que cambian de sentido	1.40

Valores seleccionados: $M=2.0$; $P= 1.0$ y $F= 1.2$

Con todos los valores calculados y seleccionados anteriormente se calculó el ancho de banda a emplear utilizando la ecuación (17).

$$b = \frac{R * M}{K * P} \quad (17)$$

Donde: $b=$ ancho de banda a emplear(mm) y

$R=$ potencia nominal del motor (kW)

$$b = \frac{(3.7285)(2.0)}{(0.074)(1)} = 100.77 \text{ mm}$$

Cálculo de longitud de la correa

La longitud de la correa es un factor crucial en ingeniería para tener en cuenta. Cuanto más larga es la correa para una velocidad dada de la misma, menos frecuentemente se flexiona alrededor de una polea o roldana. La siguiente fórmula se ocupa para calcular la longitud de la correa (correa abierta) (Virgil Moring Faires, 1987):

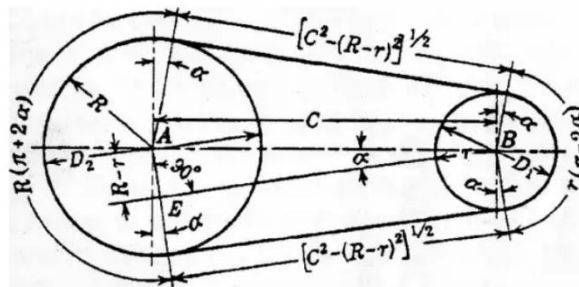


Figura 20. Longitud de banda abierta (Virgil Moring Faires, 1987)

$$L \approx 2C + 1.57(D_2 - D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} \quad (18)$$

Datos conocidos: $C = 590$ mm, $D_1=76$ mm y $D_2= 255.36$ mm

$$L \approx 2(590) + 1.57(255.36 + 76) + \frac{(255.36 - 76)^2}{4(590)}$$

$$L \approx 1713.86 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el valor aproximado de la correa se acude al (Cuadro 18) para seleccionar una longitud normalizada.

Cuadro 18. Longitudes normalizadas de correas (Virgil Moring Faires, 1987).

Sección A			Sección B			Sección C			Sección D		
Ds mín = 3 pulg (7.62 cm)			Ds mín = 5.4 pulg (13.71 cm)			Ds mín = 9 pulg (22.86 cm)			Ds mín = 13 pulg (33 cm)		
Correa núm.	Longitud primitiva		Correa núm.	Longitud primitiva		Correa núm.	Longitud primitiva		Correa núm.	Longitud primitiva	
	pulg	cm		pulg	cm		pulg	cm		pulg	cm
A26	27.3	69.3	B35	36.8	93.4	C51	53.9	136.9	D120	123.3	313.1
A31	31.3	82.0	B38	39.8	101.1	C60	62.9	159.7	D128	131.3	333.5
A68	69.3	176	B81	82.8	210.3	C112	114.9	291.8	D270	270.8	687.8

Cálculo de diámetro de poleas:

Para el desarrollo de los cálculos correspondientes a las poleas, se hizo uso de la siguiente ecuación general (19).

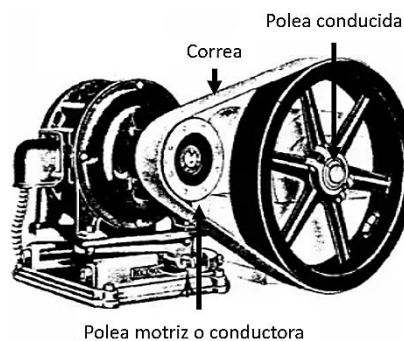


Figura 21. Sistema de transmisión (Virgil Moring Faires, 1987)

$$d_1 * n_1 = d_2 * n_2 \quad (19)$$

Para la obtención del d_2 , se procedió a despejar ese variable de la ecuación 10. Obteniendo así, la ecuación siguiente:

$$d_2 = \frac{d_1 * n_1}{n_2} \quad (20)$$

Sustituyendo los valores conocidos, así como: $d_1 = 76$ mm obtenido de la tabla 7, $n_1 = 1680$ rpm obtenido de la tabla de características del motor, y $n_2 = 500$ que la revolución ideal para una rotura estable y uniforme de las calabazas, a la ecuación 11, se obtuvo el valor del diámetro de la polea 2.:

$$d_2 = \frac{(76 \text{ mm})(1680 \text{ rpm})}{500 \text{ rpm}} = \mathbf{255.36 \text{ mm}}$$

4.5 Resultados y discusiones.

4.5.1 Pruebas físico-mecánicas de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* K.Koch)

Se obtuvieron: peso máximo: 4.36 kg y peso mínimo: 1.535 kg; diámetro máximo: 301.48 mm y diámetro mínimo: 171.13 mm y por último una altura máxima de 175.13 mm y una altura mínima de 145.57 mm. Comportamiento de los diagramas de esfuerzo-deformación del producto **valores Máximos**: máximo carga de compresión 3119.854 N, extensión por compresión al máximo carga de compresión 30.992 mm, esfuerzo de compresión al máximo o carga de compresión 0.694 MPa, máximo deformación por compresión 14.945 % esfuerzo de compresión al máximo o deformación por compresión 0.1435 MPa y módulo (automático de Young) 5.256 MPa. Y **valores mínimos**: máximo carga de compresión 808.873 N, extensión por compresión al máximo carga de compresión 15.075 mm, esfuerzo de compresión al máximo o carga de compresión 0.180 MPa, máximo deformación por compresión 7.334 %, esfuerzo de compresión al máximo o deformación por compresión 0.114 MPa y módulo (automático de Young) 3.480 MPa.

4.5.2 Prototipo final en 3D de la máquina extractora de semillas

Se aplicó la metodología de Pahl y Beitz para el desarrollo de diseño de una máquina extractora de semillas de calabaza (Figura 22), usando el software Solid Works 2017®, donde se ha cumplido con los objetivos general y específicos de manera satisfactoria dando respuesta al problema planteado con el ensamble desglosado con sus datos obtenidos y calculados.

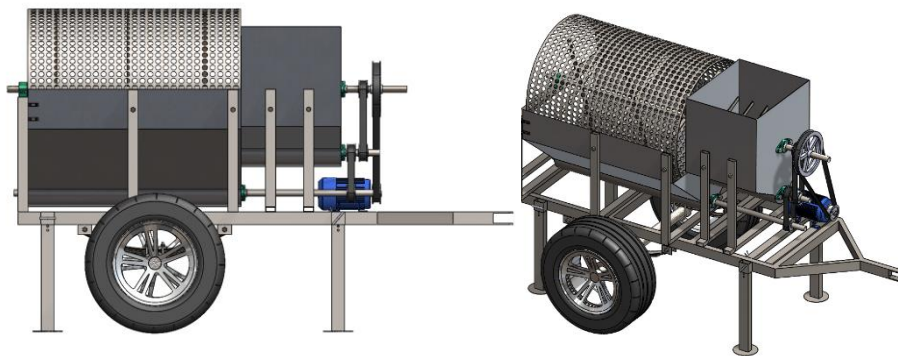


Figura 22. (a) Vista lateral de la máquina; (b) Vista isométrica de la máquina

4.5.3 Estudio del análisis estático de la máquina

Una vez terminado el diseño en 3D de la máquina, se procedió a realizar el análisis estático esto para determinar dónde probablemente pueda ocurrir fallas mecánicas ya sea de ruptura, desgaste o deformación de piezas. El análisis estático fue el primer análisis realizado porque es esencial para cerciorar la seguridad y la eficiencia de los componentes mecánicos.

Este análisis se realizó a la primera propuesta del chasis donde los neumáticos desempeñan el papel de patas para estabilizar y estacionar la máquina, donde se pudo observar deformaciones tanto en la parte delantera como trasera. Para ello se optó por agregar dos patas en la parte delantera para corregir tan deformación

Una vez agregado las patas delanteras al chasis se realizó un segundo análisis donde esta vez la deformación se mantenía en la parte trasera (Figura 23) y para regular la deformación también se agregaron dos patas traseras al chasis para evitar posibles fallas mecánicas en la estructura de soporte.

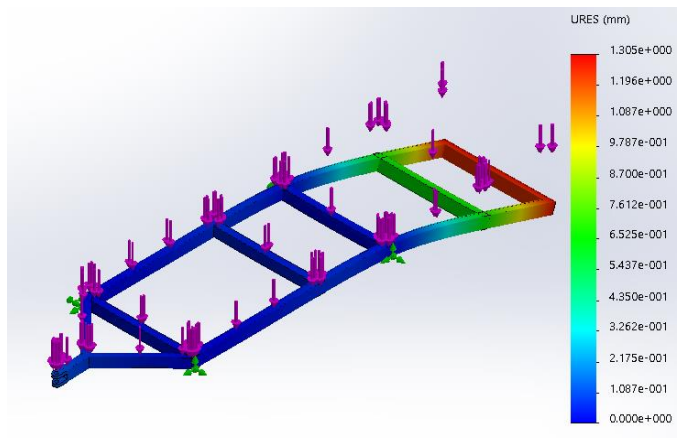


Figura 23. Análisis estático del chasis con neumáticos y patas delanteras

Prueba definitiva

Esta prueba consistió en analizar el chasis final para la corrección de los desplazamientos tanto en la parte delantera como trasera de la estructura.

En este apartado se realizaron y se obtuvieron las siguientes fuerzas resultantes: tensión de von Mises, desplazamiento resultante, deformaciones unitarias y factor de seguridad.

Se obtuvo un total de 39,745 nodos, tensión de von Mises de 47.518 N/mm²(MPa) y desplazamientos resultantes de 1.476e+000mm (Figura 24).

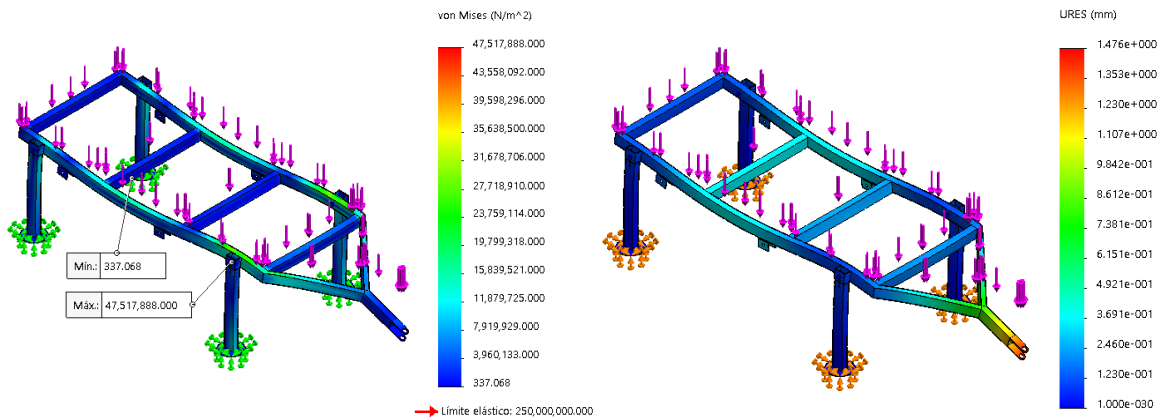


Figura 24. Análisis definitivo de la estructura. (a) tensión de von Mises; (b) desplazamiento

Y deformaciones unitarias equivalentes de 1.415e-004 y factores de seguridad de 4.784 como mínimo y 741,689.25 como máximo (Figura 25).

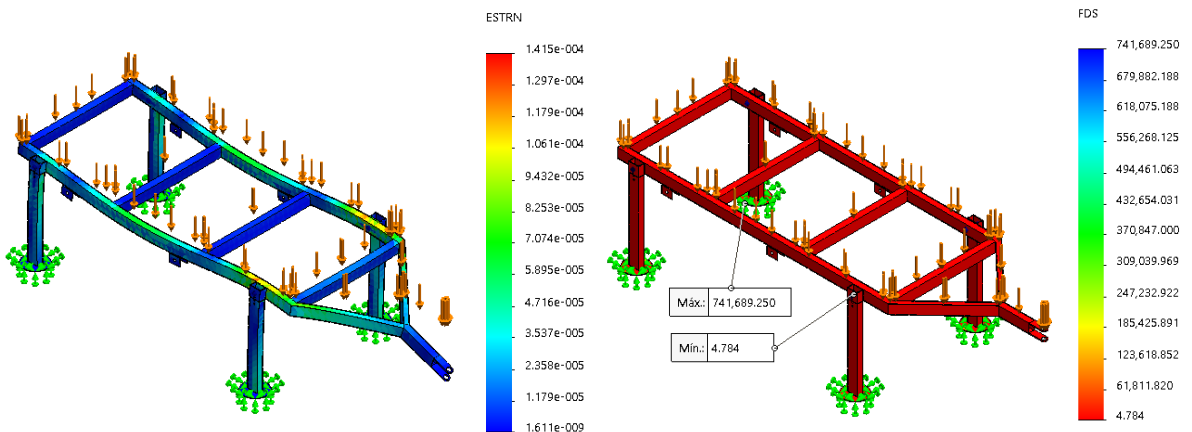


Figura 25. Análisis definitivo de la estructura. (a) deformaciones unitarias, (b) factor de seguridad.)

Una variable muy importante en el área de diseño es el factor de seguridad puesto que este nos indica qué tan confiable o seguro es un sistema, estructura o diseño en relación con su capacidad para resistir cargas o tensiones, lo anteriormente expuesto el factor de seguridad del chasis diseñado fue de 4.8; esto nos indica que la estructura podrá soportar más de cuatro veces el peso total (Figura 25b)

El segundo análisis se realizó al eje principal donde la potencia del motor está presente y para ello es importante el análisis para observar el comportamiento del eje.

En este segundo análisis se agregaron dos fuerzas externas, la primera fuerza de 3728 N (5 HP) simulando la fuerza generada por el motor y la segunda fuerza de 3119 N que es la fuerza máxima de rotura de calabaza (pruebas mecánicas con la maquina universal de ensayo).

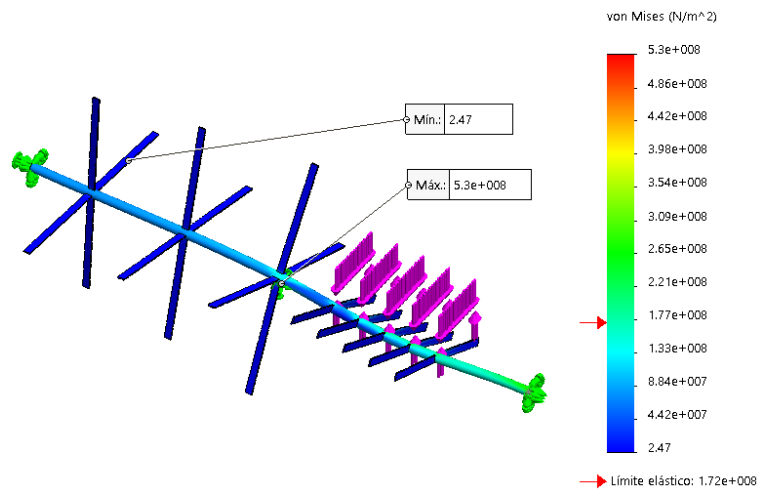


Figura 26. Estudio de análisis del eje principal

Respecto al análisis obtenido se pudo observar un límite elástico de 1.72e+0.008 N/m² que es valor donde el eje deja de comportarse de manera elástica y empieza a deformarse permanentemente, un valor mínimo de 2.47 N/m² donde el eje regresa a su forma original una vez suspendida la carga y un máximo de 5.3e+0.008 N/m² donde el eje ya no regresa a su forma original después de retirar la carga (Figura 26).

Se observó una deformación horaria que se interpretó como deformación favorable, eso indica que la fuerza de resistencia generada por la calabaza es menor, por lo tanto, en la vida real no se tendría dicho desplazamiento puesto que el eje está girando.

4.5.4 Relación material costo para la apertura de la construcción

Se obtuvo el diseño completo de la máquina extractora de semillas de calabaza pipiana listo para llevar a cabo la construcción.

para la apertura de la construcción de esta máquina se enlistan los siguientes materiales (Cuadro 19), donde los elementos como: chasis, tolvas, soportes y los tornillos sinfín que se pretende manufacturarlas en el departamento de ingeniería mecánica agrícola.

Cuadro 19. Relación materiales-precio

Elementos	Piezas	Material	Precio unitario
Chasis	1	Ptr 3 x 2	\$ 712.0
Tolva principal	1	Lamina 4x 8 cal 14	\$ 991.48
Tolva secundaria	1	Lamina 4x 8 cal 14	\$ 991.48
Criba	1	Lamina cal 14	\$6,000.0
Soporte trasero	1	Ptr 2 ½ x 1 ½	\$378.66
Eje central	1	Tuco negro ced 30 soleras	\$ 189.26
Soportes para tolva secundaria	2	Ptr 2 ½ x 1 ½	\$ 378.66
Chumacera de piso	3	Comercial	\$ 80.0
Chumacera de pared	3	Comercial	\$ 80.0
Neumáticos	2	Caucho	
Eje para neumáticos	1	Barra	\$ 5,000.0
Muelles	2	Acero al carbono	

Poleas	6	Comercial	\$ 689.0
Bandas	3	Caucho	\$ 513.0
Eje sinfín	2	Tubo y laminas cal. 14	\$ 2000.0
Patas	4	Ptr	\$ 378.6
Tornillería y consumibles		Comercial	\$ 800.0
Base tolva	2	Ptr 2 x 1	\$ 273.47
Motor	1	Comercial	\$ 7335.0

4.6 Conclusiones

Se desarrolló por completo la metodología de Pahl y Beitz para la obtención del diseño digital en 3D de la máquina extractora en el software SolidWorks. Se obtuvieron los formatos A4 de cada elemento que conforma la máquina, listos para la apertura de la construcción. Se utilizó la norma PROY-NOM-012-SCT-2-2002 esto para un libre transporte en la carretera, el costo aproximado de una posible construcción sería de \$27,000.0 pesos mexicanos.

Recomendaciones

Se recomienda fabricar el prototipo de acero común (A36) esto para disminuir costos, respetando las Normas Oficiales Mexicanas SCT2 en la medición del ancho de la máquina puesto que igual sería el primer prototipo.

Para un mejor desprendimiento de semilla de la calabaza roturada se recomienda ajustar las revoluciones de la criba y ajustar la inclinación de la máquina para facilitar la expulsión de la calabaza roturada hacia el exterior. Se recomienda incorporar un tamizador en el proceso de separación de semillas para separar la pulpa de la semilla puesto que en este proceso se recolecta tanto la semilla como la pulpa.

4.7 Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnologías (CONAHCYT), por el apoyo económico; al Departamento de Ingeniería Mecánica

Agrícola perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo por el acceso incondicional al taller de manufactura y laboratorio. A la Dra. María del Rosario Venegas Ordoñez encargada del laboratorio.

4.8 Literatura citada

Altuntaş, E. (2008). Some Physical Properties of Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) and Watermelon (*Citrullus lanatus* L.) Seeds. *TARIM BİLİMLERİ DERGİSİ; Gaziosmanpasa University, Faculty of Agriculture*, 14(1), 62–69. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1509449>

Axayacatl, O. (2022, November 15). *Estadísticas de producción de calabaza en México*. Estadísticas Agrícolas de Calabaza En México. <https://blogagricultura.com/estadisticas-calabaza-mexico/>

Barrera-Redondo, J., Sánchez-De La Vega, G., Aguirre-Liguori, J. A., Castellanos-Morales, G., Gutiérrez-Guerrero, Y. T., Aguirre-Dugua, X., Aguirre-Planter, E., Tenailon, M. I., Lira-Saade, R., & Eguiarte, L. E. (2021). The domestication of *Cucurbita argyrosperma* as revealed by the genome of its wild relative. *Horticulture Research*, 8(109), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00544-9>

Basurto Peña, F., Castro Lara, D., Mera Ovando, L. M., & Juárez Castro, T. (2018). ETNOBOTÁNICA DE LAS CALABAZAS CULTIVADAS (*Cucurbita* spp.) EN VALLES CENTRALES DE OAXACA, MÉXICO. *Agro Productividad*, 8(1), 47–53. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/639/509>

Cortés M., E., Álvarez M., F., & González S., H. (2009). La mecanización agrícola: gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo. *Revista CES/ Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 4(2), 151–160. <https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/1040/1913>

Decker, D. S. (1988). Origin(s), Evolution, and Systematics of *Cucurbita pepo* (*Cucurbitaceae*). *Economic Botany*, 42(1), 4–15. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02859022>

- Dirección General de Autotransporte Federal. (2002). *Normas Oficiales Mexicanas SCT2*.
- Elverdin, P., Piñeiro, V., & Robles, M. (2018). *La Mecanización Agrícola en América Latina*.
- Emadi, B., Kosse, V., & Yarlagadda, P. K. (2005). Mechanical Properties of Pumpkin. *International Journal of Food Properties*, 8(2), 277–287. <https://doi.org/10.1080/10942912.2005.10345418>
- Estación Agrícola de la Universidad de Puerto Rico. (2012). Conjunto Tecnológico para la Producción de Calabaza. *Colegio de Ciencias Agrícolas*, 1–67. <https://scholar.uprm.edu/entities/publication/71b2cf5e-2d8d-47fb-8ed4-e28508b158c5>
- Galingo Leal, C., Oliveros Galindo, O., Mastretta Yanes, A., Lozada Aranda, M., Esteva de la Barrera, D., Burgeff, C., Acevedo Gusman, F., & Narváez Parra, A. (2020). *Calabazas, tamalayotas, pipianas, chilacayotes | Biodiversidad Mexicana*. Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de La Biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/calabazas>
- Garza-García, D., Garza-García, R., Zúñiga-Estrada, L., & Martínez-Martínez, M. A. (2020). Ensayo preliminar de líneas de calabaza tropical con mayor productividad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 677–683. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V11I3.2394>
- González Santos, R. (2018). DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES CULTIVADAS Y PARIENTES SILVESTRES DE CALABAZA (Cucurbita L.) EN MÉXICO. *Agro Productividad*, 11(9). <https://doi.org/https://doi.org/10.32854/agrop.v11i9.1210>
- Ku, J. C., Ramírez Vallejo, P., Castillo González, F., Luis, J., & Servia, C. (2005). DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE CALABAZA CULTIVADA EN EL CENTRO-ORIENTE DE YUCATÁN, MÉXICO MORPHOLOGICAL

DIVERSITY OF CULTIVATED SQUASH FROM CENTRAL-EASTERN YUCATÁN, MÉXICO. *Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex*, 28(4), 339–349.

Larqué Saavedra, S. B., Cortés Espinoza, L., Sánchez Hernández, M. Á., Garay Ayala, A. V., & Sangerman-Jarquín, D. Ma. (2012). Análisis de la mecanización agrícola de la región Atlacomulco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(1), 825–837. <http://www.inafed.gob.mx/work/templates/>

Mayda, M., & Börklü, H. R. (2014). An integration of TRIZ and the systematic approach of Pahl and Beitz for innovative conceptual design process. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 36(4), 859–870. <https://doi.org/10.1007/s40430-013-0106-y>

Mera Ovando, L. M., Bye Boettler, R. A., Villanueva Verduzco, C., & Luna Mera, A. (2011). *Documento de diagnóstico de las especies cultivadas de Cucurbita L.* 1–40.

Mohsenin, N. N. (1986). *PHISICAL PROPERTIES OF PLANT AND ANIMAL MATERIALS: Vol. Second Revised.*

Negrete, J. C. (2011). Políticas de mecanización agrícola en México. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad–CTS.*, 1–23. www.revistacts.net

Noemi Sajama, J., Antonela Curti, C., Mariela Toconás, N., Josue Villalva, F., Cecilia Alcócer Jimena, Golcalvez de Olivera, enzo, & Noemi Ramón, A. (2023). Revalorización de un residuo alimentario para la extracción y microencapsulación del aceite de semilla de calabaza (*Cucurbita máxima Duchesne ex lam*). *MLS Health & Nutrition Research*, 2(1), 67–82. <https://www.mlsjournals.com/MLS-Health-Nutrition/article/view/2087/2159>

Peña Basurto, F., Castro Lara, D., Martínez Moreno, D., Rodríguez Ramíórez, T., & Peralta Rodríguez, L. (2018). USO Y MANEJO DE LAS Calabazas Cultivadas (*Curcubita spp.*) EN EL ESTADO DE PUEBLA. *Agro*

Productividad, 7(1), 44–49. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/503/383>

Pérez De Corcho Fuentes, J. S., Herrera Suárez, M., Vivas Vivas, R. J., García, G., & Valdiviezo, R. (2017). La mecanización agrícola: campo de acción de la ingeniería agronómica Agricultural mechanization: field of action for the agronomy. *Revista Siembra*, 4(1), 59–65.

Polanco Puerta, F. M., & Puerta. (2007). 1.1 La Mecanización. In *MAQUINARIA Y MECANIZACIÓN AGRÍCOLA* (p. 19).

Ríos Santos, E., González Santos, R., Cadena Iñiguez, J., & Mera Ovando, L. (2018). DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES CULTIVADAS Y PARIENTES SILVESTRES DE CALABAZA (*Cucurbita* L.) EN MÉXICO. *Agro Productividad*, 11(9), 21–27. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1210/983>

Rodríguez-Amaya, R., Montes-Hernández, S., Antonio Rangel-Lucio, J., Mendoza-Elos, M., & Latournerie-Moreno, L. (2009). *CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA CALABAZA PIPIANA (*Cucurbita argyrosperma* Huber) * MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF PIPIANA SQUASH (*Cucurbita argyrosperma* Huber)* (Vol. 35).

Rössel Kipping, D., Ortiz Laurel, H., Amante Orozco, A., Durán García, H. M., & López Martínez, L. A. (2018). Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento. *Nova Scientia*, 10(21), 61–77. <https://doi.org/10.21640/NS.V10I21.1467>

Shahangir, A. H. (2015). Nutritional and Lipid Composition Analysis of Pumpkin Seed (*Cucurbita maxima* Linn.). *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 5(4), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000374>

Torres, J., & Redondo, J. (2009). Reparación y automatización de una máquina universal de ensayos. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 30(2), 171–179. <https://www.redalyc.org/pdf/5075/507550785010.pdf>

Virgil Moring Faires. (1987). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS* (Francisco Paniagua Bocanegra & Juan Salvador Gimenez, Eds.; Primera edición).

Whitaker, T. W., & Cutler, H. C. (1971). Pre-historic Cucurbits from the Valley of Oaxaca. *Economic Botany*, 25(2), 123–127.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02860073>

5 CONCLUSIONES GENERALES

A lo largo de este trabajo de investigación se ha explorado la metodología de diseño de máquinas para pequeños productores desde diversas perspectivas. Desde las necesidades principales hasta la solventación económica.

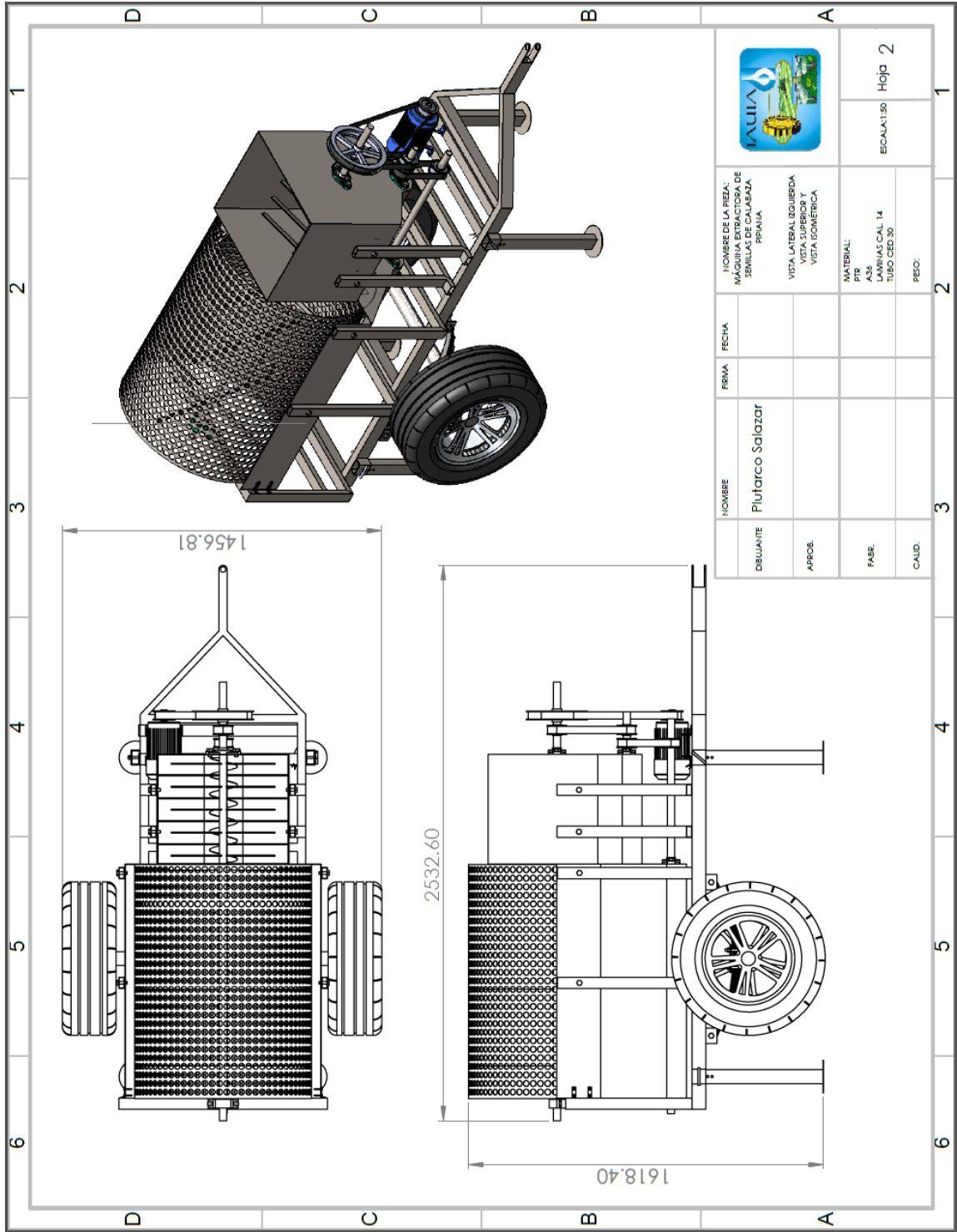
Los primeros valores que se determinaron fueron las características físico-mecánicas de la calabaza, donde los datos de las características físicas se emplearon para el cálculo y diseño de una parte fundamental de la máquina que es la criba y las características mecánicas para el cálculo y selección del motor. Con base a los resultados obtenidos se observó que las cargas de compresión varían dependiendo de la posición de acomodo de la calabaza, donde las cargas de compresión obtenida en el acomodo vertical es casi el triple que el acomodo horizontal esto debido a los nodos tanto superior como inferior del fruto.

En última instancia, se diseñó un prototipo de escala considerable para pequeños productores cumpliendo así con el objetivo general, puesto que esto mejoraría la vida económica y optimizaría tanto el desperdicio del producto y el tiempo de extracción de semillas.

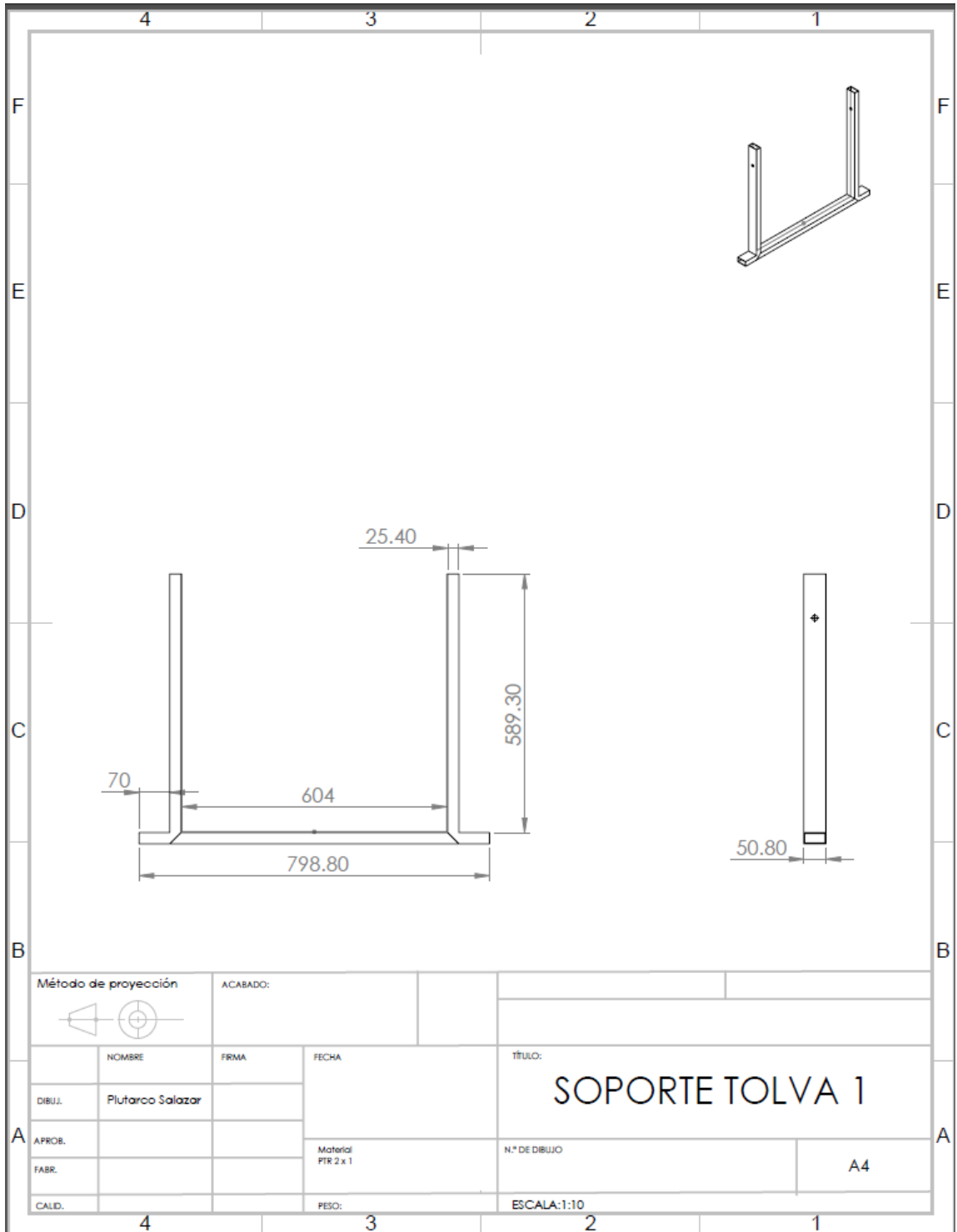
6 Anexos


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	CHASIS	1
2	TOLVA SECUNDARIA c/bo	1
3	SOPORTE TRASERA	1
4	EJE CENTRAL	1
5	TOLVA PRINCIPAL	1
6	SOPORTE	2
7	CHUMACERA EJE CENTRAL	3
8	LLANTA	2
9	EJE LLANTA	1
10	MUELLE LLANTA heavy hex finished bolt ai	2
11	heavy hex finished bolt ai	2
12	heavy hex finished bolt ai	2
13	HHBOLT 0.6250-18x0.625x0.625-N	4
14	HHBOLT 0.5000-20x2.25x1.25-N	4
15	HHBOLT 0.5000-13x0.5x0.5-N	4
16	heavy hex bolt ai	2
17	heavy hex bolt ai	2
18	heavy hex bolt ai	2
19	RODAMIENTO	3
20	POLEA DE EMPUJE	1
21	BASE MOTOR	2
22	PERNO	4
23	SEGURO	2
24	ABRAZADERA MUELLE TAPA PARA MUELLE	2
25	HNUT 0.4375-14-D-N	2
26	HNUT 0.4375-14-D-N	6
27	BARRA DE 60mm MOTOR	1
28	POLEA CON ANGULO EJE SIN SEMILLAS	1
29	POLEA PARA SEMILLA	1
30	ANGULO DE FIJACION	4
31	POLEA UNICA GRANDE	1
32	BASE TOLVA 1	2
33	FHTS 0.19-16-AB-1.375-S	12

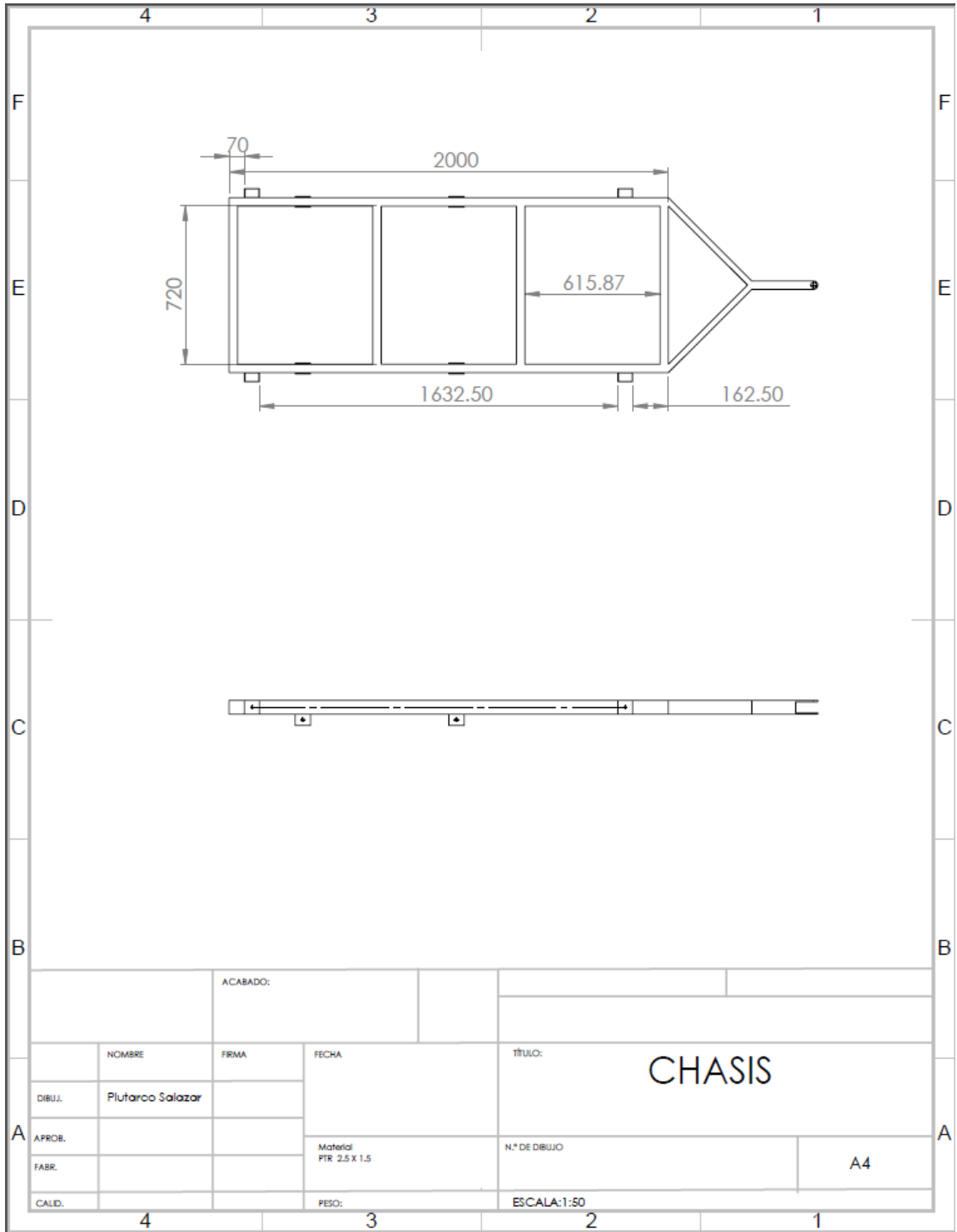
NOMBRE	FIRMA	FECHA	NOMBRE DE LA PIEZA
DESBLANTE			EXPLOSIONADO DE LA MÁQUINA EXTRACTORA DE SEMILLAS DE CALABAZA
APROB.			
FABR.			MATERIAL: PP A35 LAMINAS CAL. 14 TUBO CRO 30 PECO: 50055x11 gramos
CALID.			ESCALA: 1:50 Hoja 1



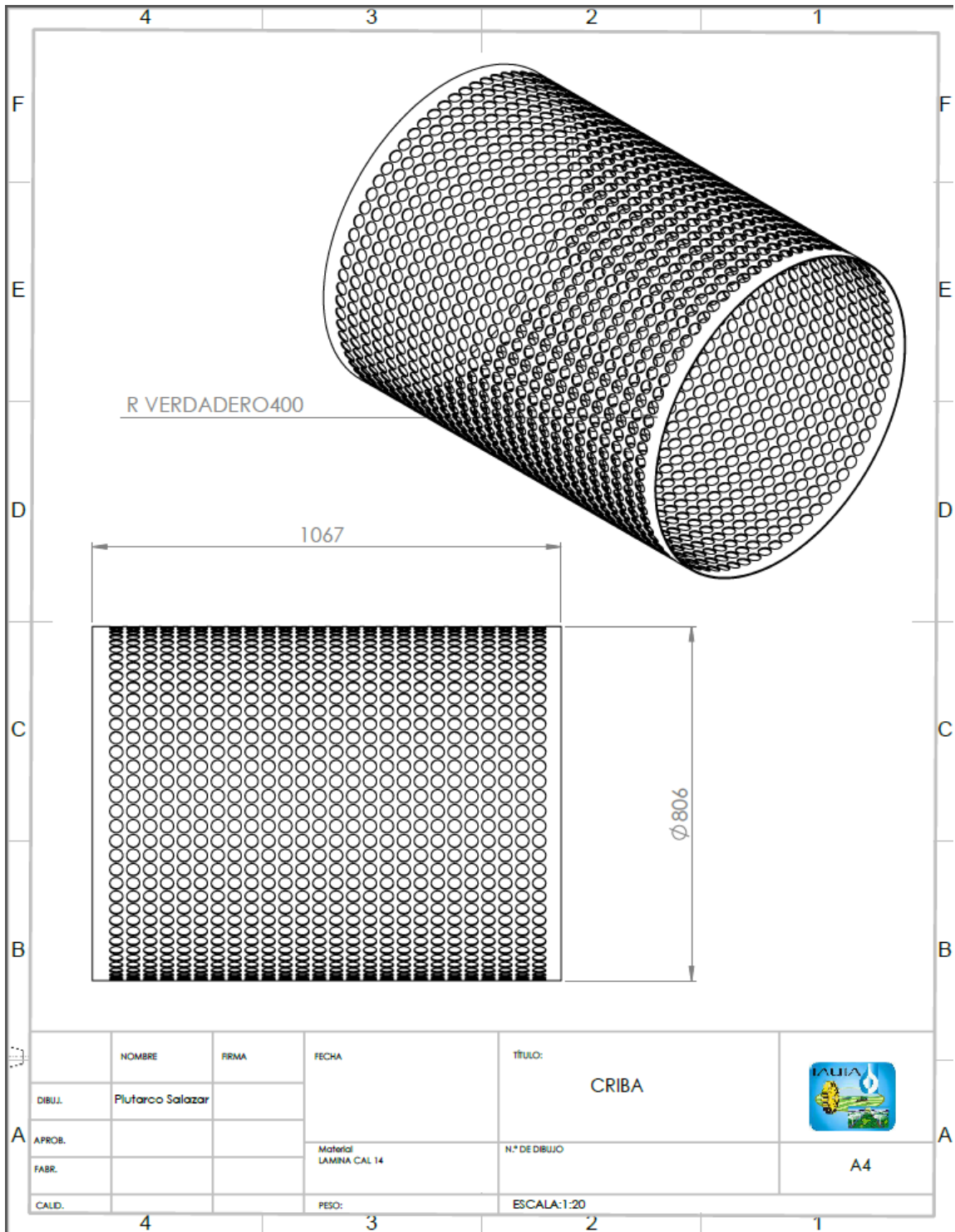
		NOMBRE DE LA PIEZA: MÁQUINA EXTRACTORA DE SEMILLAS DE CALABAZA PIRANIA		ESCALA: 1:30 Hoja 2	
VISTA LATERAL IZQUIERDA VISTA SUPERIOR Y VISTA ISOMÉTRICA		MATERIAL: PIR A36 LAMINAS CAL 14 TUPO CEB 30		FECHA:	
DEBUNTE Plutarco Salazar		FIRMA:		2	
APROB.		NOMBRE		3	
FABR.		FECHA		4	
CALD.		DEBUNTE		5	
CALD.		APROB.		6	

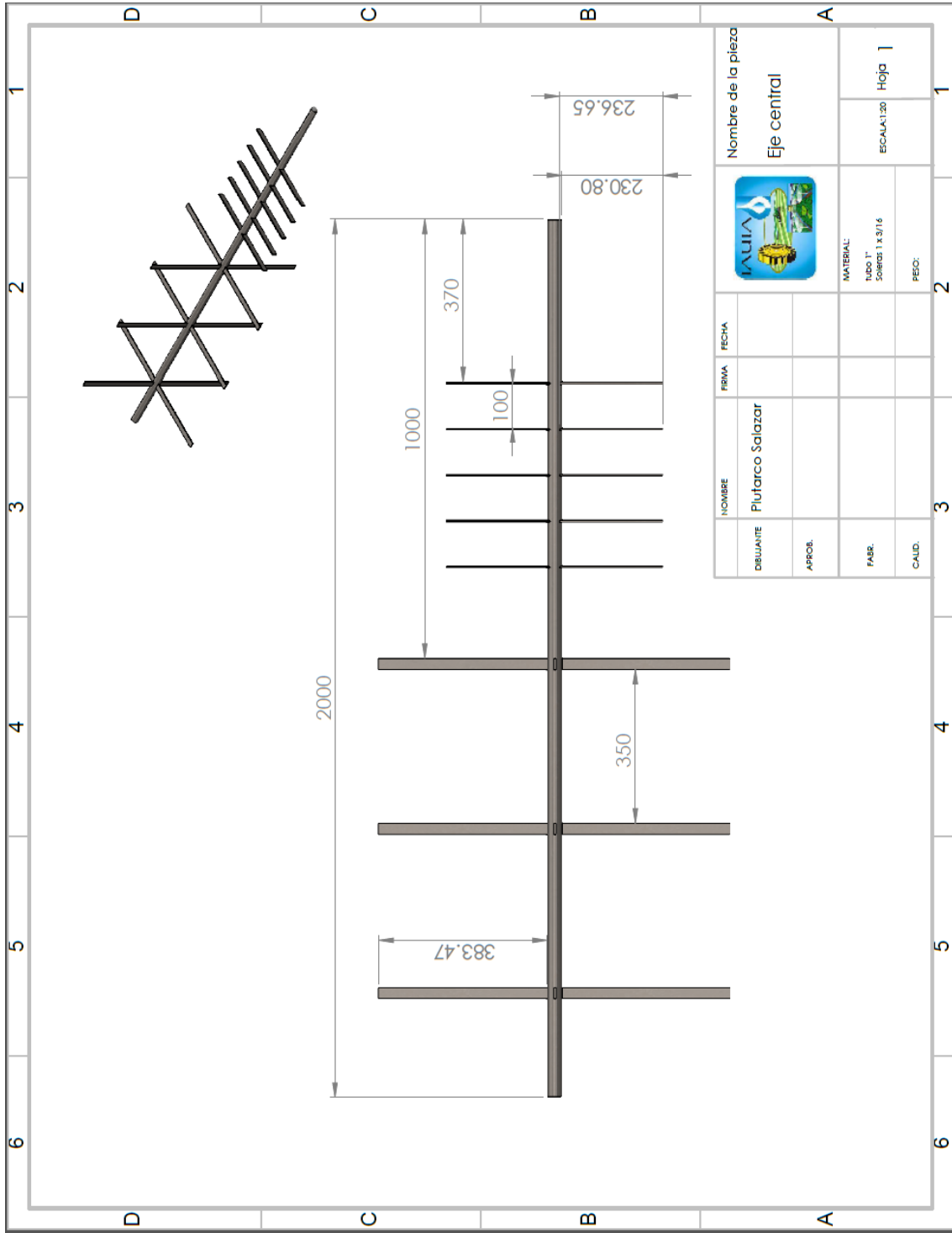


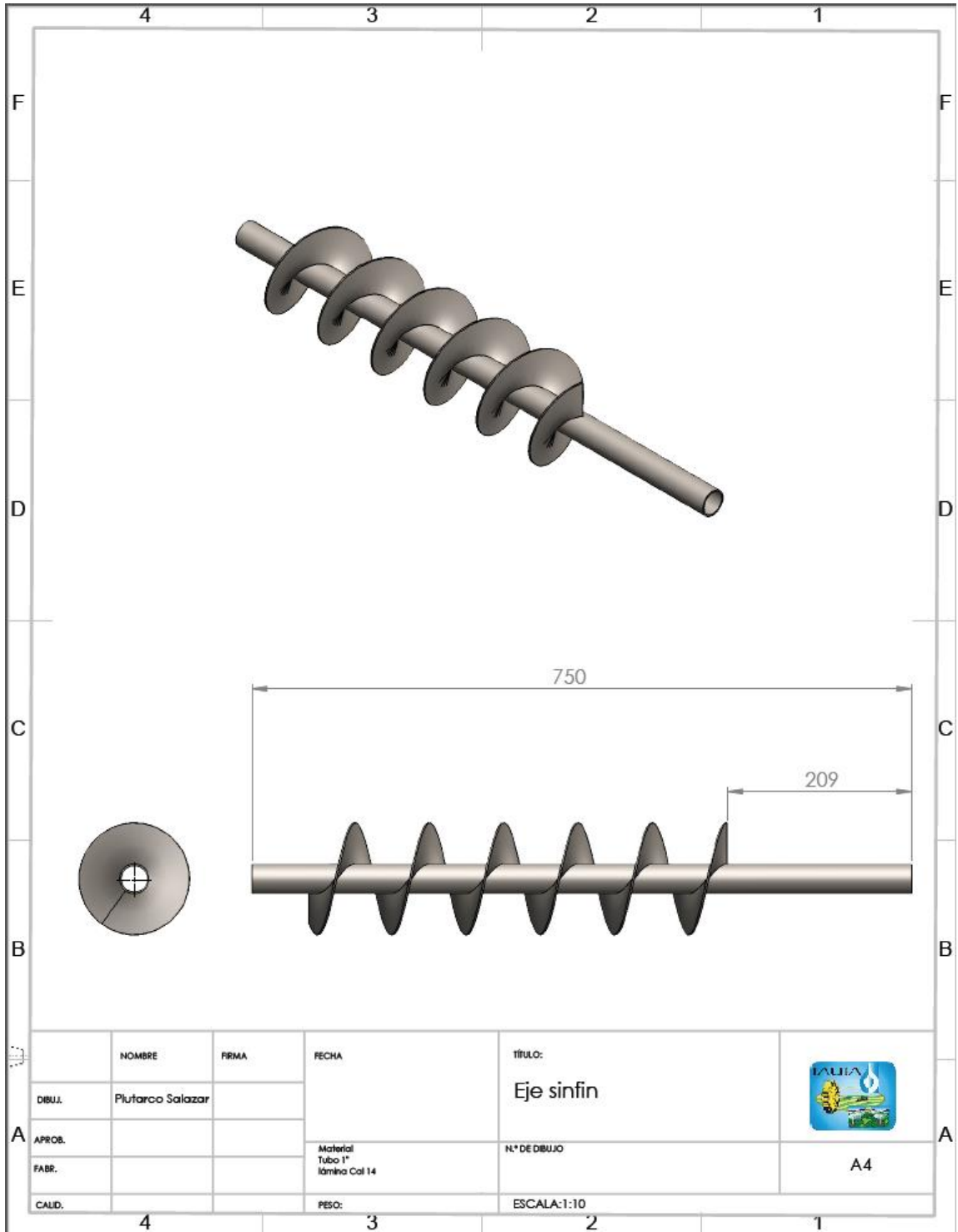
Método de proyección		ACABADO:			
					
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
	Plutarco Salazar			SOPORTE TOLVA 1	
APROB.			Material	N.º DE DIBUJO	
FABR.			PTR 2 x 1		A4
CALID.			PESO:	ESCALA:1:10	



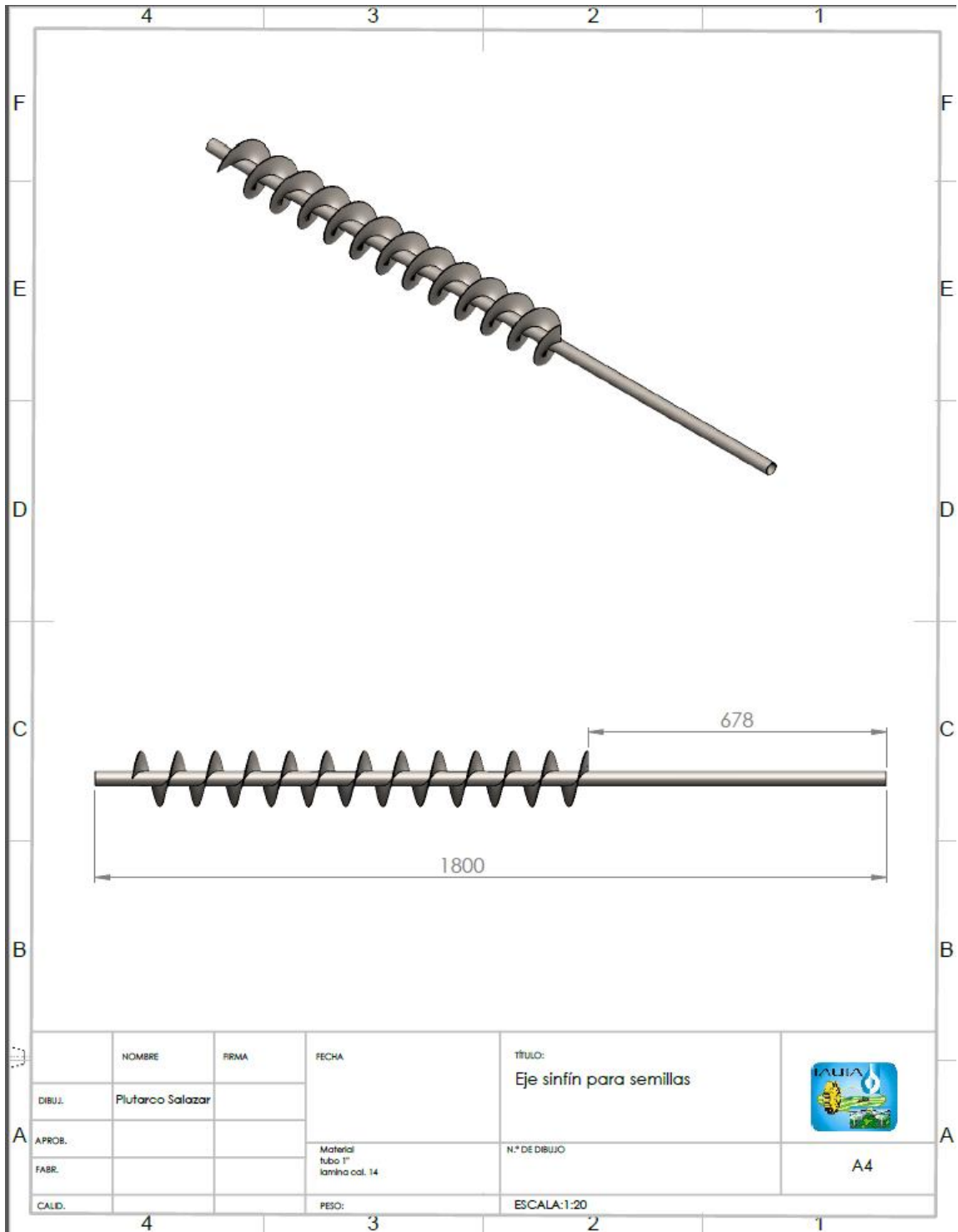
		ACABADO:			
				TÍTULO: CHASIS	
DIBUJ.	NOMBRE	FRMA	FECHA		
	Plutarco Salazar			Material PTR 2.5 X 1.5	
APROB.				N.º DE DIBUJO	
FABR.				A4	
CALID.			PESO:	ESCALA: 1:50	



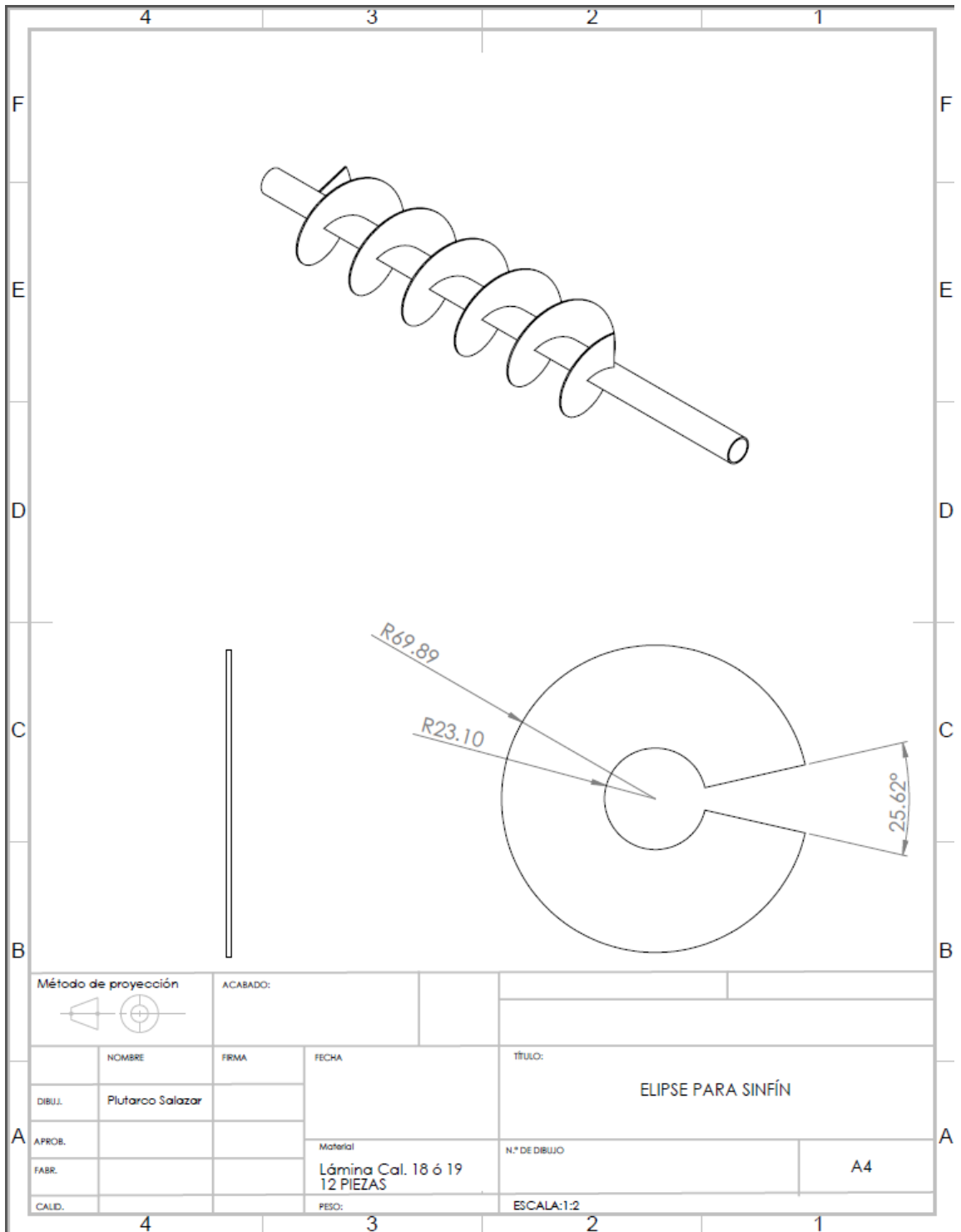




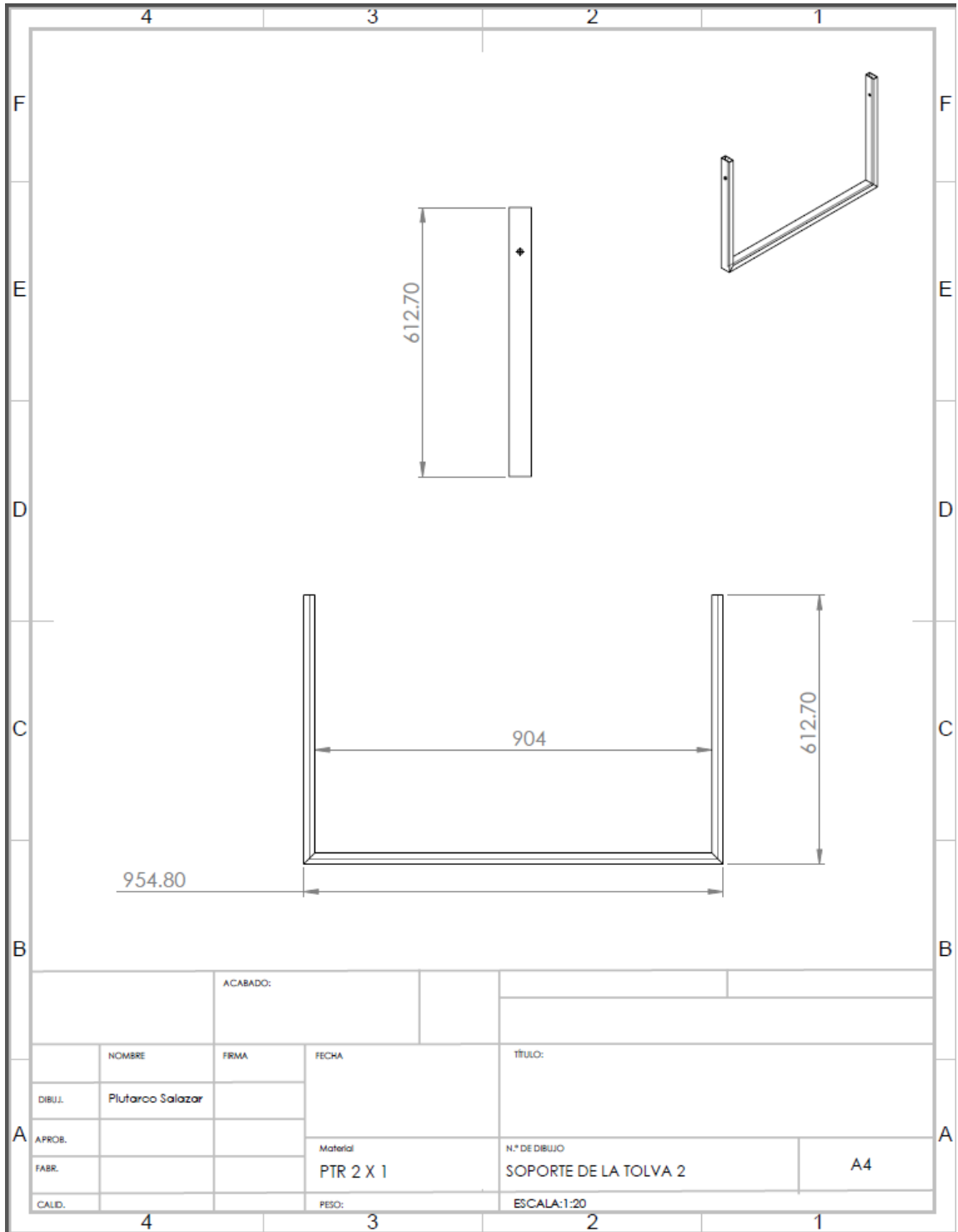
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Plutarco Salazar			Eje sinfin	
APROB.			Material	N.º DE DIBUJO	A4
FABR.			Tubo 1" lámina Cal 14		
CALID.			PESO:	ESCALA:1:10	

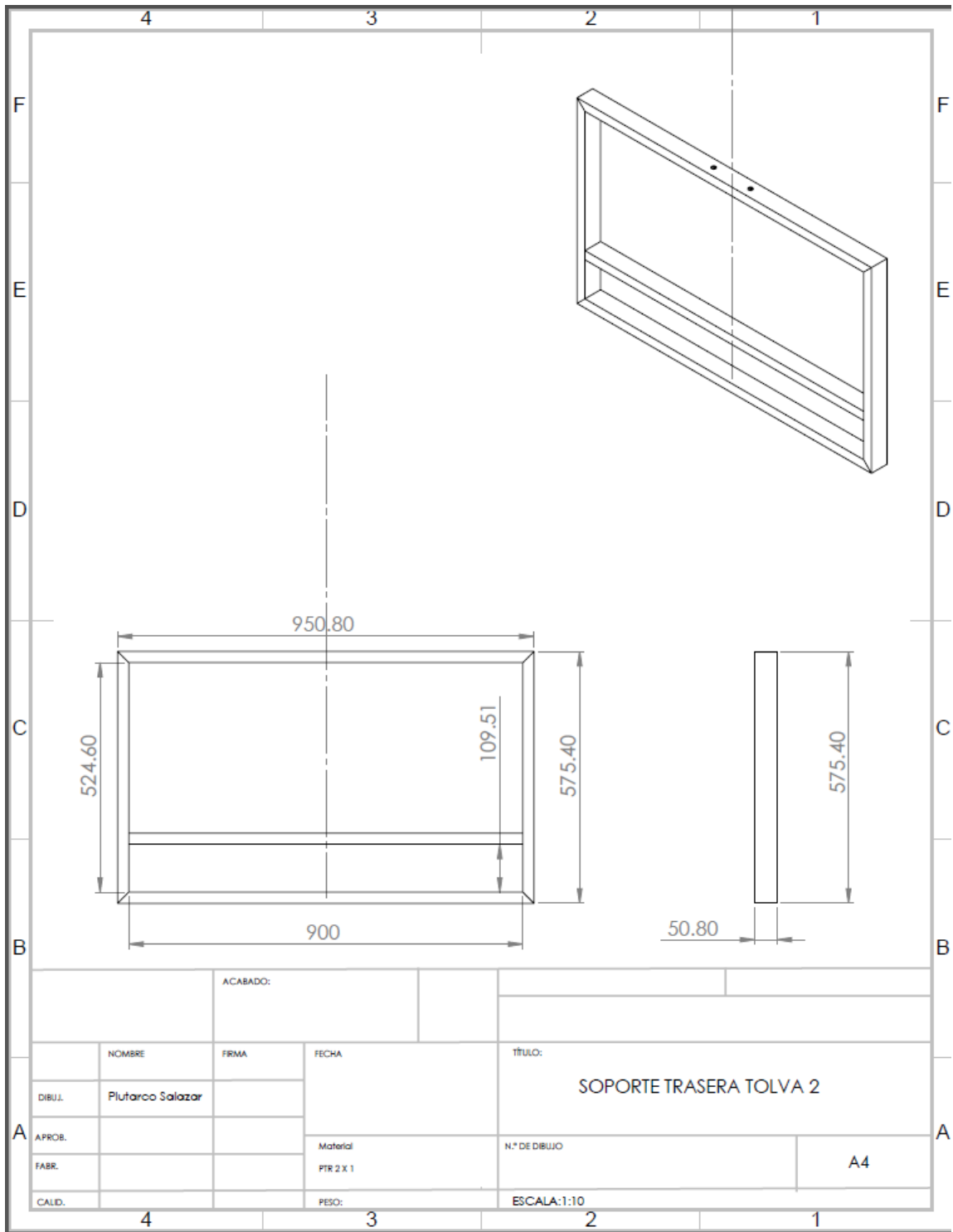


	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Eje sinfín para semillas	
DIBUJ.	Plutarco Salazar			N.º DE DIBUJO	
APROB.			Material tubo 1" laminado cat. 14		A4
FABR.			PESO:	ESCALA:1:20	
CALID.					

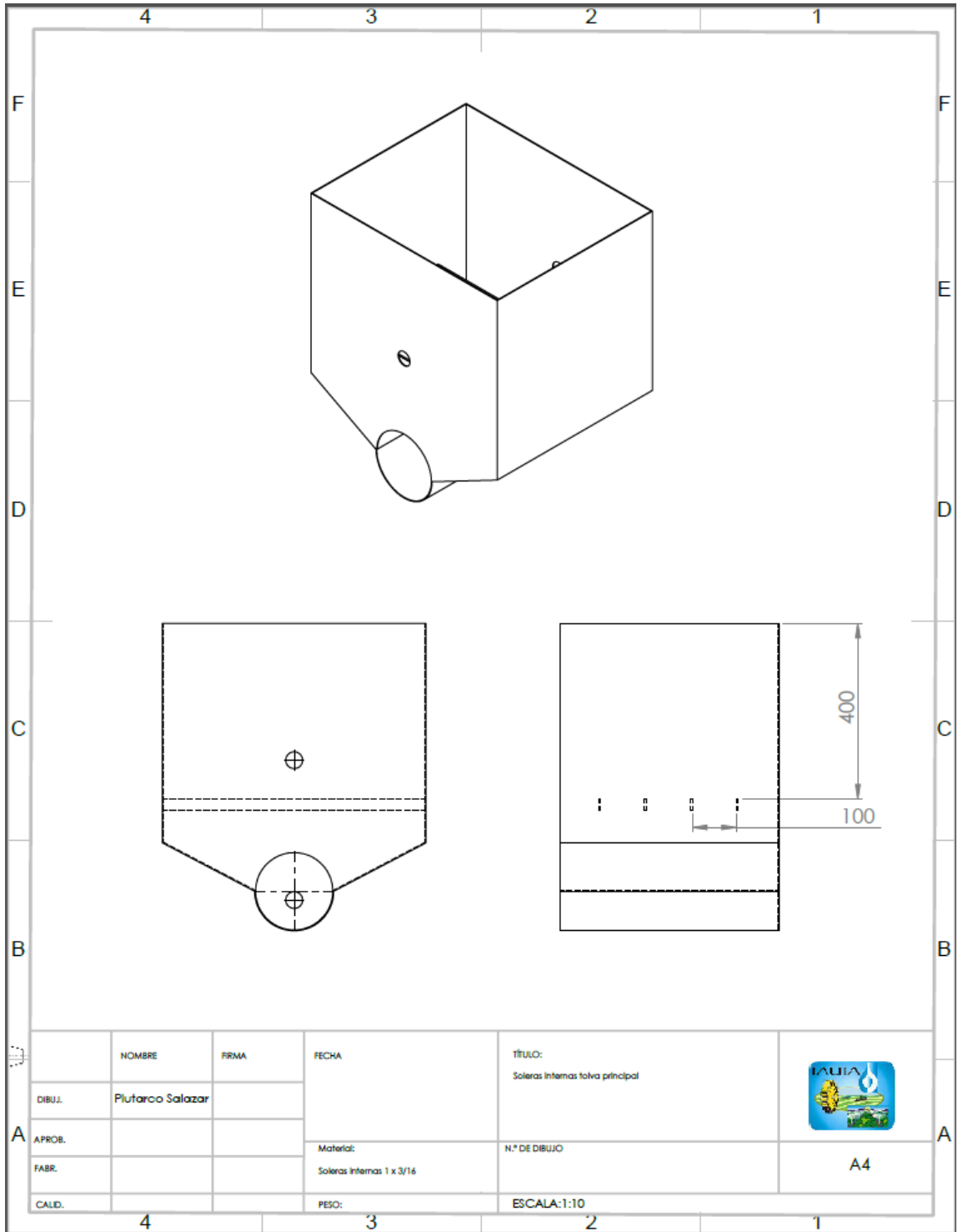



Método de proyección		ACABADO:			
DIBUJ.	NOMBRE	FRMA	FECHA	TÍTULO:	
	Plutarco Salazar			ELIPSE PARA SINFIN	
APROB.			Material	N° DE DIBUJO	
FABR.			Lámina Cal. 18 ó 19		A4
CALID.			PESO:	ESCALA:1:2	

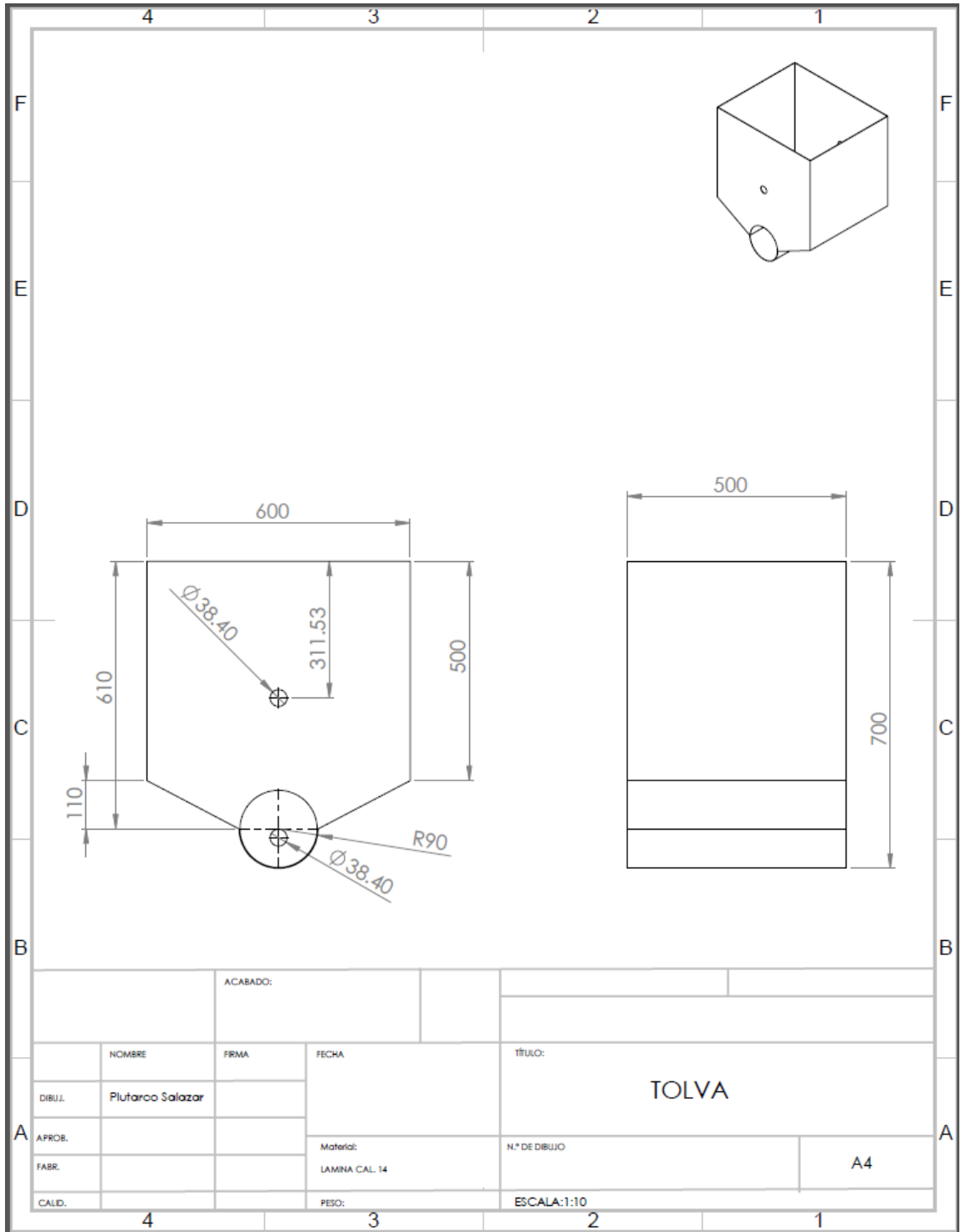




		ACABADO:			
				TÍTULO: SOPORTE TRASERA TOLVA 2	
DIBUJ.	NOMBRE Plutarco Salazar	FRIMA	FECHA	N.º DE DIBUJO	
APROB.			Material PTR 2 X 1	A4	
FABR.			PESO:	ESCALA:1:10	
CALID.					



	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Soleras internas tolva principal	
DIBUJ.	Plutarco Salazar				
APROB.			Materia:	N.º DE DIBUJO	A4
FABR.			Soleras internas 1 x 3/16		
CALID.			PESO:	ESCALA:1:10	



		ACABADO:			
	NOMBRE	FRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Plutarco Salazar			TOLVA	
APROB.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
FABR.			LAMINA CAL. 14		
CALD.			PESO:	ESCALA:1:10	

