



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Tecnológico Nacional de México

Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Tesis de Maestría

Automatización para la separación de semillas
de su pericarpio por medios neumáticos

presentada por

Ing. Yen Ventura González

como requisito para la obtención del grado de
Maestra en Ciencias de la Ingeniería

Director de tesis
Dr. Juan Reyes Reyes

Codirector de tesis
Dr. Jesús Arce Landa

Cuernavaca, Morelos, México. Enero de 2024.



Cuernavaca, Mor.,
No. De Oficio:
Asunto:

18/enero/2024
SAC/005/2024
Autorización de
impresión de tesis

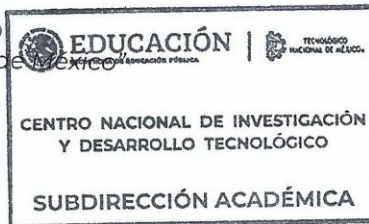
YEN VENTURA GONZÁLEZ
CANDIDATA AL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA
P R E S E N T E

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulado **“Automatización para la separación de semillas de su pericarpio por medios neumáticos”**, ha informado a esta Subdirección Académica, que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que proceda con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Excelencia en Educación Tecnológica®
“Conocimiento y tecnología al servicio de México”



CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

C. c. p. Coordinación de Ciencias de la Ingeniería
Departamento de Servicios Escolares

CMAZ/lmz





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico
Coordinación Ciencias de la Ingeniería

Cuernavaca, Mor., 15/enero/2024

OFICIO No. DIM/005/2024
Asunto: Aceptación de documento de tesis
CENIDET-AC-004-M14-OFICIO

DR. CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO
PRESENTE

Por este conducto, los integrantes de Comité Tutorial de la C. Yen Ventura González con número de control M22CE039, de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, le informamos que hemos revisado el trabajo de tesis de grado titulado "Automatización para la separación de semillas de su pericarpio por medios neumáticos" y hemos encontrado que se han atendido todas las observaciones que se le indicaron, por lo que hemos acordado aceptar el documento de tesis y le solicitamos la autorización de impresión definitiva.

Dr. Juan Reyes Reyes
Director de tesis

Dr. Jesús Arce Landa
Codirector de tesis

Dr. Carlos Manuel Astorga Zaragoza
Revisor 1

Dr. Rodolfo Amalio Vargas Méndez
Revisor 2

SEP TecNM CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
RECIBIDO
18 ENE 2024
LMZ
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
18 ENE 2024
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
SERVICIOS ESCOLARES
RECIBIDO

C.c.p. Depto. Servicios Escolares.
Expediente / Estudiante
Iniciales AMR/mrsr



Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira, C. P. 62490, Cuernavaca, Morelos
Tel. 01 (777) 3627770, ext. 1408, e-mail: dim@cenidet.tecnm.mx | cenidet.tecnm.mx



2024
Felipe Carrillo
PUERTO

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por el apoyo económico brindado.

Al Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) por darme la oportunidad de continuar con la formación académica.

Doy gracias a Dios y a mi familia por apoyarme en todo lo que se necesitó y por estar cuando se requirió.

Se que una persona estaría muy feliz por este logro, es por ello que este merito se va hasta el cielo, dedicado a ti principalmente padre, se que desde el cielo lo celebras y me acompañas en mi camino.

Por último, me doy gracias por resistir y no abandonar este camino cuando se presentaban los obstáculos.

Nomenclatura _____	vii
Resumen _____	viii
Abstract _____	ix
Capítulo 1. Introducción _____	1
1.1 Generalidades _____	2
1.2 Estado del arte/ técnica _____	7
1.3 Conclusión del estado del arte _____	11
1.4 Objetivo general _____	13
1.5 Objetivos específicos _____	13
1.6 Alcances _____	13
1.7 Limitaciones _____	14
1.8 Estructura de la Tesis _____	14
Capítulo 2 . Marco Teórico _____	15
2.1 Características generales de las semillas _____	16
2.1.1 Morfología de la nuez _____	17
2.2 Presión y diferencial de presión _____	22
2.2.1 Metodología TRIZ _____	23
2.2.2 Principios neumáticos _____	24
2.2.3 Principios Físicos _____	25
2.3 Estudio y selección de la semilla _____	28
2.3.1 Verificación de la permeabilidad del endocarpio de manera experimental _____	29
2.4 Obtención de propiedades físicas de la Nuez Pecana _____	31
2.5 Propiedad mecánica _____	32
Capítulo 3 . Diseño y construcción del Sistema Neumático _____	37
3.1 Diseño de los prototipos I y II. _____	38
3.2 Diseño de los prototipos III, IV y V. _____	41
3.3 Mecanismo biomecánico para la apertura de la válvula de desfogue. _____	52
3.4 Fuentes de presión _____	54

3.4.1 Aire comprimido _____	54
3.4.2 Nitrógeno _____	54
3.4.3 Banco experimental. _____	58
3.4.4 Sistema de seguridad _____	58
Capítulo 4 . Resultados de ensayos experimentales _____	64
4.1 Metodología de operación _____	65
4.2 Perfil de la presión _____	67
4.3 Representación de los perfiles de presión. _____	68
4.4 Ensayos experimentales con aire comprimido _____	69
4.4.3 Experimentos con Nuez Pecana _____	76
4.5 Experimentos realizados con Nitrógeno _____	78
4.5.1 Perfil de la presión con Nitrógeno _____	78
4.5.2 Experimentos con nueces _____	79
4.6 Análisis de resultados _____	83
4.7 Determinación de parámetros _____	85
Capítulo 5 . Conclusiones y recomendaciones _____	86
5.2 Conclusiones _____	87
5.2.1 Alcances y Limitaciones del prototipo _____	88
5.2.2 Aportaciones _____	88
5.3 Recomendaciones _____	88
5.4 Trabajos futuros _____	88
Referencias _____	89
Anexos _____	1
Anexo I _____	1
Estado del arte y de la técnica _____	1
Patentes _____	8
Modelos de Utilidad _____	11
Anexo II Conceptos _____	15
Anexo III Formatos de registro _____	16

Anexo IV Manual de operario para accionar el sistema neumático_____ 19

Anexo V comprobante de eventos_____ 23

Índice de Figuras

Figura 2-1. Características morfológicas de la nuez (longitudes).....	17
Figura 2-2. Tamaño de la semilla respecto al tamaño de la nuez	18
Figura 2-3. Forma del ápice en vista lateral.....	18
Figura 2-4. Longitud de la punta de la nuez	18
Figura 2-5. Tipos de presión	22
Figura 2-6. Resultados teóricos experimentales	30
Figura 2-7. Medidas de las diferentes partes de la nuez	31
Figura 2-8 Medidas de volumen de las diferentes partes del cacahuate	35
Figura 3-1. Prototipos de la cámara neumática.....	40
Figura 3-2. Diseño base de los prototipos III, IV y V.....	41
Figura 3-3. Esquema de los materiales que representan los componentes del sistema neumático	42
Figura 3-4. Prototipo III construido	45
Figura 3-5. Diseño del prototipo IV en SolidWorks.....	46
Figura 3-6. Prototipo IV construido.....	47
Figura 3-7. Diseño del Prototipo V	49
Figura 3-8. Diferentes vistas del prototipo V.....	51
Figura 3-9. Prototipo final versión V	52
Figura 3-10. Diseño del ángulo de apertura de la válvula	53
Figura 3-11. Mecanismo de apertura del sistema neumático.....	53
Figura 3-12. Tanque de Nitrógeno.....	55
Figura 3-13. Accesorio de la fuente de presión, a) Tanque de N2, b) Regulador de presión .	56
Figura 3-14. Circuito neumático	57
Figura 3-15. Equipo de protección para el operario	59
Figura 3-16. Modelado de la guarda de protección en SolidWorks	60
Figura 4-1. Proceso de obtención de la semilla	65
Figura 4-2. Metodología de operación.....	67
Figura 4-3 se muestran los perfiles de las presiones y las características propias de cada uno	68
Figura 4-4. Estado en el que se puede encontrar una semilla después del proceso de descascarado	73

Figura 4-5. Cacahuates procesados.....	74
Figura 4-6. Cacahuates con pérdidas de pericarpio superficial	74
Figura 4-7 Resultado de los experimentos con otros productos agrícolas.....	76
Figura 4-8. Resultado de las nueces procesadas	78
Figura 4-9. Perfil de la presión para el Nitrógeno	79
Figura 4-10. Nueces procesadas	81
Figura 4-11. Clasificación de nueces de acuerdo a sus dimensiones.....	82
Figura 4-12. Resultados de las nueces procesadas.....	82
Figura 4-13. Resultados de los ensayos de cacahuates y nueces con aire comprimido	83
Figura. 4-14. Resultados de ensayos de nueces con nitrógeno	84
Figura A4-0-1 Estados de operación de las válvulas 1 y 2	21

Índice de Tablas

Tabla 2-1. Determinación de las propiedades.....	32
Tabla 2-2 Propiedades físicas del cacahuate.....	36
Tabla 3-1. Características técnicas de los materiales utilizados en las cámaras neumáticas ...	39
Tabla 3-2. Ventajas y desventajas del prototipo I.....	39
Tabla 3-3. Ventajas y desventajas del prototipo II	40
Tabla 3-4. Especificaciones técnicas de materiales	43
Tabla 3-5. Elementos y características principales del prototipo, modelado en SolidWorks..	44
Tabla 3-6. Ventajas y desventajas del prototipo III	46
Tabla 3-7. Ventajas y desventajas del prototipo IV	47
Tabla 3-8. Materiales que integran el sistema neumático V	50
Tabla 3-9. Materiales usados en la versión del Prototipo V	50
Tabla 3-10. Fuentes generadoras de presión.....	54
Tabla 3-11. Características de la fuente de presión de Nitrógeno	55
Tabla 3-12Ventajas y desventajas del Prototipo V	56
Tabla 3-13 Fuentes generadoras de presión.....	62
Tabla 3-14. Características del actuador neumático	63
Tabla 4-1Experimentos con cacahuates de Xoxocotla Mor.	69
Tabla 4-2 Ensayos experimentales con cacahuates que tienen afectaciones en su pericarpio, Xoxocotla Morelos.....	70
Tabla 4-3. Ensayos con Cacahuates afectados de acuerdo al número de semillas que contiene, Xoxocotla Morelos.....	71
Tabla 4-4. Ensayos con cacahuates que se encontraban en buenas condiciones y clasificados de acuerdo al número de semillas, Xoxocotla, Morelos.....	71
Tabla 4-5. Ensayos con cacahuates de procedencia de Ometepepec, Guerrero	72
Tabla 4-6. Resultado de experimentos con diferentes productos agrícolas	75
Tabla 4-7. Experimento con nuez pecana del estado de Hidalgo.	76
Tabla 4-8. Nueces de procedencia del estado de Puebla y Morelos	77
Tabla 4-9. Experimentos de nueces realizados con Nitrógeno	79
Tabla 0-1 Propiedades de la cámara neumática	19

Nomenclatura

Símbolo	Nombre	Unidad
F	Fuerza	Newton
P	Presión	Pascales, psi
A	Área	m ²
V	Volumen	m ³
t	Tiempo	s
m	Masa	g
T	Temperatura	°C
σ	Desviación estándar	σ
Q	Caudal	mm ³

Resumen

En este trabajo de Tesis se abordó el tema de la separación de la semilla de su pericarpio por medios neumáticos. Las semillas seleccionadas fueron de nuez pecana, cacahuete, de legumbres tales como, habas, chícharos y chile cascabel. La técnica utilizada fue mediante un diferencial de presión aplicada a una cámara neumática.

Se diseñaron y construyeron cinco versiones de prototipos con presión de diseño en un intervalo de 30 a 150 psi, cuyo fluido de trabajo fue aire comprimido, y un prototipo con presión de diseño de 2900 psi, esto con base al código ASME y la norma 020 stp recipientes sujetos a presión, cuyo fluido de trabajo fue nitrógeno. Se establecieron dos perfiles de presión de trabajo suministrados a la cámara, el primero con incremento lineal y el segundo con incremento escalonado. Para el caso de las nueces pecanas el intervalo de las presiones de trabajo fueron de 110 a 220 psi. Las presiones de trabajo para descascarar el cacahuete variaron desde 30 a 120 psi. Y para el resto de las semillas el intervalo fue de 30 a 90 psi. Las presiones de trabajo para descascarar el cacahuete variaron desde 30 a 120 psi. Para la presurización de la cámara neumática se utilizó aire comprimido en un intervalo de 0 a 120 psi, y nitrógeno de 0 a 220 psi.

Se realizó un total de 68 experimentos con las diferentes semillas, de los cuales, 39 con cacahuates, 25 fueron con nueces y 4 con otros productos agrícolas como haba, chícharo, chile cascabel y tamarindo. Para los ensayos experimentales con cacahuates se utilizaron 470 piezas, de las cuales el 18.9 % colapsaron, el 53.8 % se agrietaron, y el 27.2% no tuvieron algún efecto. Para el caso de la nuez, en el intervalo de 110 a 120 psi, se utilizaron 55 piezas, de las cuales el 32.7% de ellas colapsaron, 36.4 % se agrietaron y 30.9% no tuvieron efecto alguno. Por último, en el intervalo de presión de 150 a 220 psi se experimentó con 69 piezas de nuez pecana y navideña de las cuales 59.4 % colapsaron, 18.8% agrietadas y 21.7% no les sucedió nada en el proceso de descascarado. A partir de 200-220 psi, se pudo observar que colapsan el 100 % de las nueces y cacahuates.

Palabras clave: Nuez pecana, cámara neumática, diferencial de presión, fluido de trabajo.

Abstract

In this thesis work, the separation of the seed from its pericarp by pneumatic means was approached. The selected seeds were pecan nut, peanut, legumes such as beans, peas and rattlesnake chili. The technique used was by means of a pressure differential applied to a pneumatic chamber.

Five versions of prototypes were designed and built with a design pressure in the range of 30 to 150 psi, whose working fluid was compressed air, and one prototype with a design pressure of 2900 psi, based on the ASME code and standard 020 stp pressure vessels, whose working fluid was nitrogen. Two profiles of working pressure supplied to the chamber were established, the first with linear increase and the second with stepwise increase. For pecans, the working pressures ranged from 110 to 220 psi. The working pressures for shelling peanuts ranged from 30 to 120 psi. And for the seed challenge the range was 30 to 90 psi. The working pressures for peanut shelling ranged from 30 to 120 psi. For pressurization of the pneumatic chamber, compressed air was used in a range from 0 to 120 psi, and nitrogen from 0 to 220 psi.

A total of 68 experiments were carried out with different seeds, of which 39 were with peanuts, 25 with walnuts and 4 with other agricultural products such as fava bean, pea, rattlesnake chili and tamarind. For the experimental trials with peanuts, 470 pieces were used, of which 18.9 % collapsed, 53.8 % cracked, and 27.2 % had no effect. For walnuts, in the 110 to 120 psi range, 55 pieces were used, of which 32.7% of them collapsed, 36.4% cracked, and 30.9% had no effect. Finally, in the 150 to 220 psi pressure range, 69 pecan and Christmas nut pieces were experimented with of which 59.4 % collapsed, 18.8 % cracked and 21.7 % had nothing happen to them in the shelling process. From 200-220 psi, it was observed that 100 % of the nuts and peanuts collapsed.

Keywords: Pecan nut, pneumatic chamber, pressure differential, working fluid.

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se aborda la importancia de la contribución del desarrollo de este trabajo de investigación, seguida de una revisión bibliográfica amplia del tema, se especifican los objetivos y alcances, así como la motivación del desarrollo de este proyecto. Finalmente, se menciona como está estructurado el documento de la Tesis.

1.1 Generalidades

El ser humano a lo largo de la historia ha agregado diferentes alimentos a su dieta diaria, entre esos alimentos se encuentran los frutos secos como lo son, nueces de diferentes variedades (avellana, cacahuates, nuez Brasil, castilla, pecana, entre otras). El consumo de los frutos secos en México ha ido en aumento, en especial el de la nuez pecana, ya que en los últimos años el consumo per cápita ha sido de 0.9 Kg, dando como resultado un consumo de 55 toneladas anuales de nuez pecana, *SMATTCOM* (2019). Quizá, una de las razones por las cuales ha aumentado el consumo de nuez, es por su alto contenido nutricional, dando así un aporte positivo a la salud humana, además de que ayuda a controlar algunas enfermedades cardíacas, de igual manera contribuye a disminuir el colesterol malo y la hipertensión entre otras, Corbella (2008). Así mismo, un consumo regular de nueces puede complementar los ingredientes nutricionales del cerebro y desempeñar un papel muy importante en la salud del cerebro (Arthur B Low, 1938)

Existen otras variedades de frutos secos que son cada vez más consumidos, y que, de igual manera, aportan grandes cantidades de nutrientes. En la Tabla 1-1 se muestra su composición nutricional.

Tabla 1-1. Composición nutricional de 100 g de diferentes frutos secos. USDA Nutrient Database.

Alimento	Energía (kcal)	Carbohidratos (g)	Proteínas (g)	Grasa (g)
Almendras	586	20.4	20.4	52.2
Nueces de Brasil	656	12.8	14.3	66.2
Avellanas	632	15.3	13.0	62.6
Nueces de Macadamia	702	13.7	8.3	73.7
Pistachos	577	27.5	20.6	48.4
Nueces	642	12.1	24.4	56.6

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), México es uno de los principales exportadores de Nuez Pecana (*Carya Illinoensis*) sin cáscara, ya que las exportaciones promedio de esta nuez fue de 50 mil toneladas en lapso de 2016 a 2020, siendo Chihuahua el estado de mayor producción. Esta producción que se tiene en México lo coloca

como el primer productor a nivel mundial, y el segundo proveedor a nivel internacional (Rural, 2021).

México exporta diferentes frutos secos, donde el país destino de estas exportaciones es sin lugar a dudas, Estados Unidos de América, *Ávila (2020)*. Tan solo en 2017, las exportaciones de México a los Estados Unidos ascendieron a 554 millones de dólares.

Otras de las variedades de semillas que forman parte de las dietas mexicanas, con alto contenido nutricional, que se cultivan y se cosechan aquí en el país son; cacahuete, tamarindo, chícharos, y habas, entre otros, inclusive algunos tipos de verduras. Sin embargo, algo que las caracteriza es que todas ellas poseen un envoltorio o cáscara que protege al fruto o núcleo, el cual debe retirarse previo a su proceso de cocción y/o consumo.

Existen diferentes métodos para separar el fruto de la cáscara, es decir, para retirar la parte que envuelve al fruto de la parte comestible. Este proceso de descascarado puede ser manual y/o automático, artesanal y/o industrial, dependiendo de las necesidades y cantidades a procesar.

Actualmente, por la alta demanda de frutos secos, porque las personas optan por una alimentación más saludable y porque el cliente final es cada vez más exigente en cuestión de calidad al momento de adquirirlo, se ha tenido la necesidad de construir equipos para el descascarado de alto rendimiento y la obtención del producto con mayor calidad. Sin embargo, estos frutos secos se han visto afectados por la ineficiencia presentada al realizar el proceso de descascarado, como es el caso de las nueces. Como se ha comentado anteriormente, la nuez es uno de los frutos secos con alta demanda, por lo que, las personas interesadas en estos procesos se han visto motivadas a diseñar y construir mecanismos y máquinas para satisfacer estas demandas, ver **Anexos I y II**.

No obstante, estos dispositivos mecánicos traen consigo algunas desventajas, ya que se aplica directamente una fuerza mecánica sobre la cáscara de la nuez, y según la posición en la que se lleva a cabo, la aplicación de esta fuerza puede afectar directamente los resultados finales del descascarado, es decir, la parte comestible que es el núcleo de la nuez.

En ciertos estudios de medios mecánicos se ha determinado la fuerza necesaria que permita separar la cáscara del núcleo, cuidando dañar lo menos posible al núcleo, es decir, se busca obtener el grano lo más íntegro posible, *Karimi, et al., (2008)*. Los dispositivos mecánicos se funcionan al aplicar una fuerza de compresión a la superficie externa de la cáscara de la nuez para romperla (Arturo Leonard, 1940). Cuando se trituran las cáscaras de las nueces, la

superficie de la nuez suele salir perjudicada, lo cual da como resultado una nuez de mala calidad (Chen Wenhao, 2019).

Para obtener el producto comestible de la nuez, esta debe de pasar por un proceso de limpieza, eliminación de la cáscara verde, y cierta calibración de humedad. Posteriormente, se retira el endocarpio y se hace una clasificación por tamaños. Algunas empresas utilizan tecnologías avanzadas muy similares para realizar este proceso. Estas tecnologías utilizan cámaras inteligentes y mesas clasificadoras según sea el tamaño, Dumitru, *et al.*, (2022).

Recientemente, en otros estudios se mencionan otras vertientes como son los efectos colaborativos, es decir, la aplicación de fuerzas concentradas para romper completamente la cáscara de nuez. El contenido de humedad y el grosor de la cáscara en la nuez pueden afectar la fuerza de ruptura de la cáscara, así como también la magnitud, dirección, y velocidad de la carga, Yang *et al.*, (2020). De igual manera, se ha buscado una relación entre las propiedades mecánicas y las microestructuras de diferentes nueces y almendras. Astete (2019) Realizó un estudio a tres diferentes nueces y cuatro tipos de almendras, caracterizadas por cáscara dura y cáscara blanda. En este estudio se buscó una relación entre microestructura y las propiedades mecánicas. Se utilizaron tres técnicas; (i) ensayos de impacto Charpy, (ii) microscopía electrónica de barrido (SEM) y (iii) técnica de excitación por impulso (IET). La relación que hay entre geometrías densas/porosas con respecto a la resistencia mecánica es la capacidad para soportar esfuerzos, esto parece incrementar con geometrías densas y disminuir con geometrías porosas. Kabas y Vladut (2016) estudiaron las propiedades de resistencia y fricción de la nuez pecana, las cuales fueron determinadas como función de la humedad. Se sometieron las nueces a cinco contenidos diferentes de humedades. La aplicación de las fuerzas fue en los tres ejes Y, X y Z de un sistema de coordenadas cartesianas. La dureza más alta se obtuvo cuando el contenido de humedad fue de 25.4%, la dureza disminuyó a un valor mínimo cuando hubo un aumento de humedad de 5.4% a 10.4% a 25.4%. Se han realizado diferentes estudios, en donde se indican que las propiedades físicas de la nuez determinan las propiedades con las que se debe diseñar y construir la maquinaria con la que se va a realizar el descascarado, Hamman (2004).

El descascarado es un eslabón clave como parte del procesamiento profundo de las nueces, para mejorar la calidad y el valor económico de la nuez. Es por ello que desde hace tiempo se han abordado otras técnicas de estudios, en las cuales se usa gases comprimidos como fluidos de trabajo. Ejemplo de ellos son el aire comprimido y el nitrógeno. Estas técnicas funcionan

mediante un diferencial de presión. Inclusive, otras técnicas utilizan gases explosivos para descascarar la nuez (Arthur B Low, 1938).

Por otro lado, otro de los frutos secos muy consumidos en México es el cacahuete, en sus diferentes presentaciones. Cabe mencionar que en el mercado es uno de los frutos más accesibles. El cacahuete como la nuez también requiere que sea removida su capa protectora. Los procesos tradicionales para retirar la cáscara de la semilla en el cacahuete, pueden afectar al núcleo o embrión, de esta manera se dice que son procesos con baja eficiencia al momento de obtener el producto comestible. En la literatura se pueden encontrar diferentes estudios para el diseño y la construcción de máquinas. Generalmente, se toman en cuenta las propiedades físicas y mecánicas de la vaina, así como también el origen de cultivo. Las condiciones climáticas asociadas son factores importantes que también influyen en la determinación de dichas propiedades, Olufemi (2022).

La eficacia del descascarillado se puede modificar en función de la variación de la composición del cacahuete, Raghtate (2014). En otro estudio se determinó la fuerza de ruptura en el proceso de descascarado del cacahuete en las diferentes direcciones (longitudinal, lateral y vertical) con un contenido de humedad de 6.3%. Con lo anterior se pudo definir el consumo de energía requerido para romper las vainas de cacahuete, estas fuerzas pueden ser diferentes según la variedad del cacahuete y las condiciones agronómicas del cultivo. Las propiedades mecánicas de carga en sus diferentes orientaciones son importantes tanto en el diseño de la unidad de molienda como en su manipulación, almacenamiento y transporte, Choudhary (2020). En donde también las propiedades mecánicas de carga en diferentes orientaciones son fundamentales en el diseño de la unidad de molienda, manipulación, almacenamiento y transporte.

Para las vainas que contienen dos granos, se requiere de una fuerza superior a aquella que contiene uno y tres granos, en posición horizontal. No obstante, la fuerza de ruptura para vainas de un grano es mayor a la de las otras vainas que contienen dos y tres granos, en posición vertical A & M.M, (2021).

Por otro lado, también existen otros métodos de los cuales no se encontró mucha información en el estudio del estado del arte, como es el caso de la Metodología de la “Teoría para Resolver Problemas de forma Inventiva” (TRIZ) que recomienda otras formas de separar la semilla de su parte envolvente. Esta es una metodología y un conjunto de herramientas que permiten

abordar de manera lógica y sistemática el proceso inventivo. En esta metodología se encontró la iniciativa para abordar y emplear las recomendaciones posibles que se tienen al respecto del descascarado de algunas semillas, con la intención de mejorar el proceso de separación de la semilla de su pericarpio o endocarpio, en cuestiones de costos y de mejorar la calidad de obtención de la parte comestible.

De acuerdo con Petrov (2015) existen otras técnicas de descascarado no del todo exploradas, de las cuales se tiene poca información. Entre estos métodos/técnicas se pueden mencionar las siguientes:

- (i) Se somete la nuez a una presión negativa (vacío).
- (ii) Se aplica presión positiva de aire a través de una perforación.
- (iii) Se adhieren grandes cantidades de partículas ferromagnéticas, y posteriormente se coloca la nuez en un campo magnético intenso.
- (iv) Se coloca la nuez en un recipiente hermético, se aplica aire a presión, se deja un tiempo para equilibrar presiones, y se retira la presión abruptamente, de esta manera la presión dentro de la nuez será mayor que el exterior y el endocarpio se partirá (**Método de diferencial de presiones**).

Esta última técnica es la que se aborda en este proyecto de Tesis. La importancia y la motivación de este estudio es para reforzar las partes en las que todavía hay áreas de oportunidad.

En la siguiente sección, de forma general, se aborda el estudio del estado de la técnica y el estado del arte.

1.2 Estado del arte/ técnica

Se inició el estudio del estado del arte/técnica sobre estudios relacionados con la separación de la semilla de su endocarpio y/o pericarpio. Estos estudios para la separación de semillas, tanto experimentales como teóricos, han sido referenciados desde hace varias décadas. A continuación, se presentan las fichas bibliográficas correspondientes a patentes y artículos.

1.2.1 Patentes

Spitz Fannie Schutz (1918) esta invención presenta un aparato para pelar nueces del carácter expuesto, la combinación de un par de mecanismos peladores dispuestos uno dentro del otro y medios para girar un mecanismo con respecto al otro, teniendo el mecanismo de una forma cónica exterior y el otro mecanismo con su interior de forma similar. Estos mecanismos contienen dientes mecánicos cortantes orientados hacia direcciones opuestas, los cuales se encuentran escalonados entre sí. Los dos mecanismos de dientes están espaciados para formar una cámara anular entre ellos y las caras opuestas de estos, cada uno provisto de una multiplicidad de dientes cortantes que se extienden dentro de la cámara una distancia suficiente solo para arrancar las conchas de los núcleos de las nueces, como y para el propósito establecido. El objetivo de esta invención fue proporcionar un medio para descascarar nueces que tengan formas irregulares y cuyas cáscaras sean delgadas, flexibles y resistentes. Esta invención es específicamente para la nuez conocida como nuez de piñón. Se descubrió que, formando dientes o elementos desgarradores de un borde cortante o curvo, o en forma de cuchillo, y permitiendo que las nueces pasen entre estos a gran velocidad, se rasga la parte envolvente y el núcleo es separado.

Charlie Wolves (1926) en esta invención, se somete a las nueces de Brasil a la presión de vapor, aire o incluso un gas adecuado, en un recipiente hermético, al aire y los líquidos. Este medio, consiste en colocar las nueces en un cilindro cerrado, que gira en su extremo posterior sobre un eje entre los largueros de un soporte provisto de ruedas, que es portador con su cilindro. Se introduce en un horno, el cilindro con su contenido se calienta por medio de vapor introducido en este, dejándose que la temperatura y la presión caigan a la atmosférica después de un tiempo adecuado. Posteriormente, se introduce vapor seco en un tubo plano perforado dentro del cilindro por medio de un tubo, el vapor se descarga y se introduce un suministro nuevo, una o varias veces, el último suministro se retiene por un corto tiempo y luego se libera repentinamente, la rotación se detiene el tambor y el transportador con el cilindro sale del horno. Después la tapa del cilindro se abre y el material se expande por su presión interna y

sale disparado del cilindro en un estado inflado.

Arthur B Low (1941), presenta un método que consiste en perforar la cáscara de la nuez para introducir un gas explosivo a través de la perforación. Posteriormente, se sella para evitar que haya fuga de gases, enseguida se hace pasar por una chispa eléctrica de alta tensión poco después de haber introducido el gas, provocando que el gas se encienda y se expanda, lo cual produce la presión que revienta la cáscara sin dañar sustancialmente el grano. La mezcla gaseosa explosiva utilizada para este proceso, está conformada, por una parte, de oxígeno y dos partes de hidrógeno, que se combinan con violencia explosiva para formar agua (H_2O). También se puede utilizar dióxido de carbono para esto mismo. La presión debe ser suficiente para reventar la cáscara y no tiene que ser muy grande para las nueces con cáscara de papel, pero debe ser bastante grande para las nueces negras y las nueces. Cuando la cáscara estalla, el núcleo y los fragmentos de la cáscara se esparcen por todos lados y en la máquina real esta parte está encerrada en una carcasa para evitar que las partículas se esparzan por el entorno. En la mayoría de los casos es deseable, remojar las nueces antes de someterlas a la operación de perforación, ya que entonces las cáscaras son menos propensas a agrietarse y esto también reduce la tendencia de la carne a romperse.

Leonardo Arturo S y Walker Harry B., (1941) presentan una invención que consiste de una técnica que permite romper y eliminar la cáscara de la nuez o cualquier otro en particular. En este método se utiliza una combustión de una mezcla de fluido explosiva. Se descubrió que aplicando una fuerza sustancialmente uniforme dirigida hacia afuera de la superficie interior de la nuez, esta puede romperse y retirarse de la nuez sin dañar la parte comestible. El objetivo de esta invención es mediante el método de diferencia de presión aplicada de manera repentina hacia afuera, suficiente para romper la cáscara y extraerla del núcleo de la nuez que se encuentra en el interior. Para esto la nuez debe ser perforada para introducir un fluido combustible a través de la perforación, en el espacio entre el grano y la cáscara. Se impide que se escape la menor cantidad posible de gas por la abertura, posteriormente e inmediatamente después pasar la nuez a través de un área de llama o flama para encender la mezcla para romper y quitar la cáscara, sin dañar sustancialmente el grano.

Virgil T. Calfee (1966) presenta una invención que proporciona un aparato automatizado para eliminar la cáscara protectora exterior de la nuez de la parte comestible, mediante aire seco a temperatura ambiente, a una presión moderada y en un periodo de tiempo extremadamente

corto. Utiliza una válvula solenoide para el suministro de aire comprimido hacia los recipientes en un tiempo suficiente, de tal forma que penetre la presión hacia el interior de la nuez. Es un aparato que proporciona el producto comestible mediante aire presurizado, además es de construcción simple, duradera y eficiente en su funcionamiento para requerir el mantenimiento menos posible. Este método se lleva a cabo con aire comprimido o gas comprimido y 200 psi de presión de trabajo moderada y 1 minuto es el periodo de tiempo para que las presiones de las dos zonas A y B (Zona A= cámara hermética y zona B= interior de la nuez) se igualen. Este aparato, utiliza dos vasos con capacidad de dos galones, y puede descascarar de forma automática veinte fanegas de nueces pecanas por hora, aproximadamente.

Halil Ak (2015) presenta una invención mediante un método permite la separación de la cáscara de la nuez de su núcleo, este método consiste en un proceso de suministrar gas comprimido al interior de la cáscara de la nuez, este gas es normalmente aire, esto a través de la abertura que conecta a la nuez con la rama del árbol. La presión del gas transferido se aplica buscando un valor adecuado en función del espesor de la cáscara de nuez, dicha presión puede tener un valor de 1 a 4 atm. Con el efecto de la presión del gas, se separa la cáscara de nuez de la pulpa de nuez. Los trozos separados de cáscara de nuez se retiran completamente de la pulpa de nuez manualmente o con herramientas de limpieza adecuadas.

El aparato está conformado por una carcasa en la que se coloca la nuez y una abertura de soplado de gas que puede suministrar gas al interior de la cáscara de la nuez a través de la abertura que conecta a la rama del árbol con la nuez. Este aparato está configurado de manera manual; contempla dos brazos, el primero de ellos es curvado y tiene forma de media luna, mediante este se proporciona una válvula de gas la cual puede ser accionada de manera manual, también tiene un pistón. Posteriormente, el primer y el segundo brazo se aproximan entre sí sujetándolos manualmente y en este caso se cierran la carcasa del primer brazo y la segunda carcasa del brazo, con lo que se agarra la nuez. Luego, se suministra gas a través de la tubería de suministro de gas y la presión de dicho gas se ajusta mediante la válvula de gas. Para separar la cáscara de nuez de la pulpa de la nuez, se coloca la nuez en la parte inferior de la carcasa, de manera que la abertura de la nuez quede hacia arriba.

Posteriormente, el pistón se mueve hacia abajo y después de colocar la parte superior de la carcasa sobre la parte superior de la nuez, se transfiere gas desde el canal de gas y dicho gas

pasa a través de la abertura de soplado de gas y llega al interior de la nuez a través de la abertura de la nuez; permitiendo así separar la cáscara de la nuez del núcleo de la nuez sin dañar la misma.

Chen Minhaoy Tang Nenghui (2019). Esta invención describe un esparcidor de nueces que comprende una carcasa, una base, un asiento superior y un casquillo, que se caracterizan porque: una base y un asiento superior están instalados fijamente en los extremos superior e inferior de la carcasa, respectivamente, y el asiento superior presenta un casquillo, estando la carcasa compuesta por una carcasa inferior y una conexión. La barra deslizante, el resorte A, el resorte B y el cabezal de refuerzo se componen de un asiento superior interior instalado fijamente en el asiento superior exterior. Se inserta una barra deslizante en el asiento superior interior. El resorte A y el resorte B están revestidos en el exterior de la barra deslizante. La cáscara inferior y la cáscara superior están formadas en forma cilíndrica una frente a la otra. Durante el uso, se impulsa el casquillo hacia arriba, para impulsar la barra deslizante hacia arriba. La base exterior y la base interior tienen forma de cruz en el exterior, cilíndricas en el interior enfrentadas entre sí, el interior de la base interior tiene forma de cruz y el interior está empotrado esféricamente en la superficie cilíndrica arriba. La nuez se fractura en cuatro pétalos y se puede sacar la nuez.

1.2.2 Artículos

Hussain *et al.*, (2018) diseñaron, desarrollaron y evaluaron descascaradoras de nueces kaghazi (de cáscara fina) eléctricas y manuales, el empleo de la técnica consistió en remojar las nueces pre-optimizadas, fueron agrietadas por las descascaradoras desarrolladas. La descascaradora de nueces motorizada cuenta con un cuadro, una tolva, un eje de rotación, motor, sistema de correa y polea. Las nueces fueron sometidas directamente a secado en un secador de túnel solar a una temperatura de 35 a 45 °C y una humedad relativa de 75 a 80 % hasta alcanzar un contenido de humedad de 10 ± 2 %. 100 kg de nueces kaghazi y nueces de cáscara mediana secadas de esta manera fueron descascaradas por medio de una descascaradora eléctrica y una descascaradora manual. Los resultados obtenidos fueron del 100 % de agrietamiento en el método manual y se registraron coeficientes de descascarillado más altos de 95 % y 96,37 % y coeficientes de ruptura de 0,95 y 0,96 para la máquina descascaradora impulsada con motor.

Adetola Olufemi et al. (2022) se realizó un estudio comparativo de las máquinas peladoras de cacahuate desarrolladas por diferentes investigadores, se tomó en cuenta factores como la velocidad del descascarado, cuchillas y el tamaño del tamiz. Con lo anterior se pretende dar como resultado una mejora en la eficacia del descascarado, la eficiencia de limpieza, velocidad terminal, los daños mecánicos y la capacidad de rendimiento. Esto con la finalidad de aportar la información necesaria para que las máquinas peladoras que se construyan próximamente tengan una guía de datos con los cuales puedan diseñar y construir una máquina peladora fiable y económica, para así tener con eso bajo control diferentes aspectos como son: la eficiencia del pelado, los costes de producción y el consumo de energía. Los autores determinaron que el descascarado del cacahuate se ve afectado por factores como la variedad, el tamaño, y el nivel de humedad que contiene. Se pueden aplicar diferentes técnicas, así como también la velocidad con la que se lleva a cabo el descascarado.

Como complemento, en el **Anexo I** se presentan las fichas bibliográficas que fueron consultadas para definir la ruta de este proyecto.

1.3 Conclusión del estado del arte

Con base en la revisión del estado del arte/técnica se puede concluir lo siguiente:

- Existen diferentes medios para llevar a cabo la separación de la semilla de su cáscara o la parte envolvente que es un obstáculo para obtener el núcleo. En el caso particular de la nuez y el cacahuate se requiere de la eliminación de la cáscara para obtener el núcleo.
- Los medios más utilizados en la actualidad para llevar a cabo el descascarado de estas semillas son dos, el método artesanal, donde se utilizan medios mecánicos para lograr obtener el núcleo. El segundo es el medio mecánico, este se lleva a cabo mediante maquinaria. El tercer medio es el uso de algún gas comprimido no dañino para la salud, por medio de un diferencial de presiones o provocando una explosión entre estos gases. Estos medios presentan ventajas y desventajas que se convierten en área de oportunidad para este proyecto.
- El método artesanal se lleva a cabo utilizando una herramienta mecánica que permite a la persona realizar la ruptura de la cáscara y de esa manera obtener el núcleo. Debido a la mano de obra que se requiere para obtener una alta cantidad de semillas descascaradas, es que poco se pone en práctica.

- El método mecánico se lleva a cabo utilizando maquinaria, donde los métodos más utilizados en la industria son con frecuencia son; el método de extrusión y el método de impacto. Los medios mecánicos se utilizan en la industria y cada vez hay más estudios en donde afinan esta parte de mejorar los resultados; sin embargo, no se ha logrado, eliminar del todo, las desventajas que este lleva consigo, como una de las principales es el posicionamiento en la que se debe encontrar la semilla.
- El método por diferencial de presiones utiliza un gas como fluido de trabajo, en algunos casos utilizan aire comprimido u otro tipo de gas. En los estudios encontrados no se ha encontrado una metodología de operación y los diseños mostrados de los prototipos son a nivel industrial. Así mismo, no hay detalles de los resultados que se pueden obtener con los valores de presión que se manejan o las condiciones exactas en las cuales se puede llevar a cabo este método.

Otras de las dificultades que se han encontrado en la literatura son las siguientes

- Existen diferentes tipos de nueces, formas, espesores y durezas, es por ello que los métodos descritos resultan ineficientes, ya que la mayoría se enfoca en un tipo de nuez y a la hora que surge la necesidad de aplicarle el mismo método a otro tipo de nuez resulta incompetente por no cubrir con las características de esta nueva nuez.
- Muchos desarrolladores lo que han hecho para mejorar el descascarado es la combinación de técnicas, como el caso de ondas ultrasónicas y descascarado por molienda. También han sometido a la nuez a diferentes condiciones con el objetivo de obtener un descascarado de mayor calidad y eficiencia.
- A la hora de diseñar y construir una máquina o un dispositivo para pelar nueces y cacahuates, se deben de considerar diferentes criterios para obtener resultados más favorables.
- Para llevar a cabo el descascarado de algunos tipos de nueces se tiene que hacer una clasificación previa, que puede ser manual o automática.
- En el caso particular de los cacahuates se debe tomar en cuenta la variedad del cacahuete que se quiera descascarar.
- Los métodos más utilizados son por medios mecánicos para la nuez y para el cacahuete.
- En algunos casos se han enfocado más en la producción que en la calidad del descascarado.
- Se han tomado en cuenta las propiedades físicas y mecánicas para el diseño y construcción de peladoras de cacahuete como de nueces.

También se observó que hasta la fecha no se ha dado a conocer la metodología de operación que se presenta en el presente proyecto para realizar el descascarado, así mismo no se encontró un diseño semejante del prototipo desarrollado para llevar a cabo el mismo proceso para diferentes semillas. Es por ello que se aplica la técnica recomendada por Petrov, (2015), mediante un diferencial de presiones con la cual se puede obtener la semilla sin importar el tamaño del fruto que este tenga. Sin embargo, respetando la variedad por las características propias que estas tienen, también obtener las semillas con menos daños mecánicos que en las otras técnicas al emplear como recurso natural el aire comprimido del ambiente, o bien algún otro gas comprimido sustituto.

1.4 Objetivo general

Diseñar y construir una cámara neumática para la extracción de semillas de su pericarpio, mediante la fluctuación controlada de perfiles de presión.

1.5 Objetivos específicos

- Diseñar una cámara neumática que soporte altas presiones.
- Construir la cámara neumática.
- Conocer los perfiles de presión a los cuales puede ser sometida la nuez para obtener la semilla.
- Documentar las propiedades que se consideren de relevancia para llevar a cabo el descascarado.

1.6 Alcances

- Poder descascarar el fruto seco seleccionado mediante medios neumáticos.
- Aplicación de un método de descarado para uso doméstico.
- Obtener más del 75 % de granos enteros.
- Determinar los perfiles de depresión que se necesitan dentro de la cámara, para al menos un tipo de semilla.
- Determinar las características fisiológicas y mecánicas de la nuez.

1.7 Limitaciones

- El costo elevado de adquisición de los materiales para la construcción del prototipo.
- El tiempo para realizar los experimentos.
- Información limitada sobre el tema.
- La capacidad de algunos de los materiales, por cuestiones de seguridad que establecen las normas de seguridad.

1.8 Estructura de la Tesis

Esta Tesis está compuesta de cinco capítulos que abordan las actividades más relevantes y hallazgos que se encontraron y desarrollaron a lo largo del período indicado. En el **Capítulo I**, se encuentra la introducción fundamental a este tema, es decir, los antecedentes e importancia económica, de salud, del porqué fue importante desarrollar este proyecto. En el **Capítulo II** se presenta la parte teórica de conceptos, así mismo algunas actividades que se llevaron a cabo, como fue la selección de la semilla, cómo obtener sus propiedades físicas y mecánicas de la nuez pecana y del cacahuete de una sola variedad runner. En el **Capítulo III** se muestra el diseño a detalle de los prototipos preliminares, se usó como herramienta de software Solidwork para el modelado de algunas piezas, por último, en este capítulo se presenta el prototipo final del proyecto de tesis. En el **Capítulo IV** se presentan los resultados de los ensayos experimentales que fueron realizados con diferentes tipos de semillas, a diferentes presiones, condiciones y tiempos. También se presenta un análisis de resultados. En el **Capítulo V** se presentan las conclusiones y recomendaciones generales del proyecto de tesis. Finalmente, se muestran las referencias bibliográficas, los apéndices de relevancia del estudio, y algunas evidencias de los productos relacionados.

Capítulo 2 . Marco Teórico

En este capítulo se presenta la información más relevante de las semillas, así como sus características, partes principales y valor nutricional. También se muestran conceptos considerables y algunas leyes de los gases y de la presión. Por último, se muestran algunos ensayos preliminares para determinar las propiedades mecánicas de la nuez.

2.1 Características generales de las semillas

i) Nuez

La nuez es uno de los frutos secos más consumidos por su alto contenido nutricional y todos los beneficios que conlleva al consumirla. Más allá de ser un fruto seco, es parte de la gastronomía mexicana en sus diferentes vertientes (es decir, entera, quebrada o triturada). De igual manera pasa con otros frutos secos como el cacahuete, pistacho, avellanas, etc.

En México existen seis tipos de nueces que por su importancia económica son de interés, siendo entre estas la pecanera, castilla, macadamia, almendra y pistacho. En el estado de Sonora, existen treinta variedades cultivadas de nogal pecanero, destacando en importancia debido a su producción las variedades de “Western”, “Wichita” y “Mahan” (Miguel Ángel, 1990).

Carya illinoensis, conocida popularmente como pacano o pecán, es una especie de la familia Juglandaceae. La semilla es comestible, y se denomina pacana, nuez de pecán, nuez cáscara de papel, nuez de la isla o nuez encarcelada, entre otros nombres vernáculos.

Durante el proceso de descascarado, el núcleo puede sufrir diferentes afectaciones, es decir, algunos de estos efectos como parte del proceso son que el núcleo puede salir dividido en 2 valvas, inclusive las mismas valvas pueden subdividirse en fracciones, lo cual repercute en su valor agregado. Una semilla que no sufre daños al ser desprendida tiene mayor valor económico en el mercado, comparado con aquellas que tienen el núcleo más fracturado. Sin embargo, los núcleos fraccionados se aprovechan en la elaboración de la repostería (pasteles, galletas) como parte importante de la Gastronomía Mexicana, inclusive también se utilizan en la elaboración de postres como helados, cremas, etc.

Los frutos secos tienen por lo regular la misma estructura, la cual está compuesta por tres partes principales, que son; 1) Pericarpio, es la parte externa de color verde envolvente que protege al endocarpio y núcleo, 2) Endocarpio, es la parte más dura que contiene la nuez, cubre la parte comestible, y 3) Núcleo, es la parte comestible de color café, que se busca obtener lo más completo posible. En la Figura 2-1 se muestran las partes principales de una nuez de castilla.

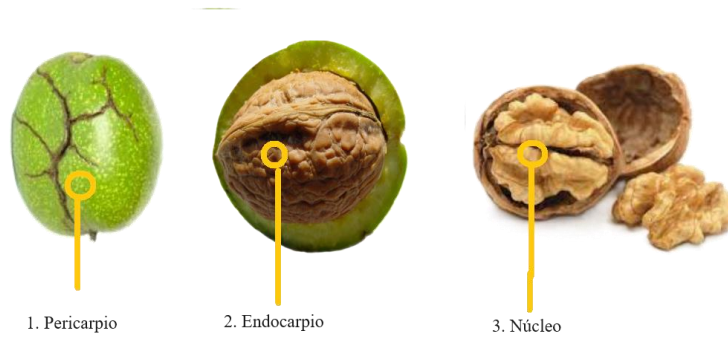


Figura 2-1 Partes principales de la nuez.

2.1.1 Morfología de la nuez

Tomando en cuenta la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) del nogal pecanero (*Carya illinoensis*) con código UPOV: CARYA_ILL mediante directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad, se determinaron las propiedades morfológicas de la nuez pecana, se midió el peso, el porcentaje de esfericidad, los diferentes diámetros, el espesor de la cáscara y su volumen, (Directrices de las nueces). En la Figura 2-2 se muestran las características morfológicas de la nuez. La Figura 2-3 muestra la clasificación por tamaños. La Figura 2-4 muestra la forma del ápice sin la punta. La Figura 2-5 muestra la longitud de la punta.

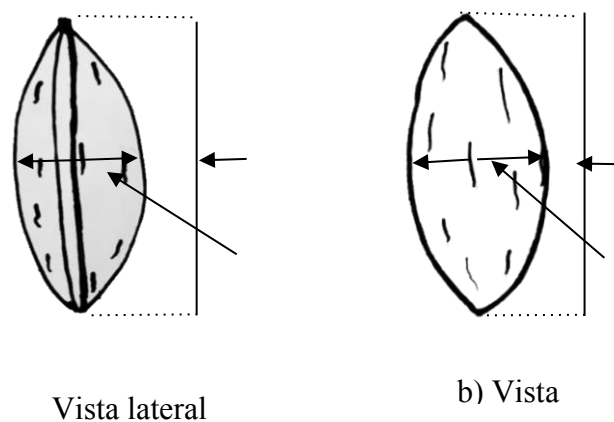


Figura 2-1. Características morfológicas de la nuez (longitudes)



Pequeña

2. media

3. grande

Figura 2-2. Tamaño de la semilla respecto al tamaño de la nuez



1. aguda



2. obtusa



3. redondeada

Figura 2-3. Forma del ápice en vista lateral



1. ausente o corta



2. media



3. larga

Figura 2-4. Longitud de la punta de la nuez

ii) Cacahuates

Otro producto muy consumido en México, pero con diferente valor agregado, es el cacahuete, ya que aporta múltiples nutrientes y su costo de adquisición es inferior al de la nuez. Existen cuatro tipos básicos de cacahuates, cada uno con sus propias características; en cuestión de tamaño, color, sabor y composición nutricional.

El nombre científico de esta leguminosa es *Arachis hypogaea*, esta planta es originaria de América del Sur. En México el primer registro de esta planta se tiene en Tehuacán Puebla, en donde anteriormente lo llamaban “cacao de tierra”. El cacahuete es la botana más conocida a nivel mundial, los 4 tipos básicos de esta planta son los siguientes:

- a) **Corredor.** Es el más popular en América, se cultiva principalmente en los estados de Georgia, Alabama y Florida, en Estados Unidos, y los granos son de tamaño medio y uniforme. Su cultivo necesita un clima cálido y es de crecimiento tardío.
- b) **Virginia o nueces cocteleras.** Se siembra principalmente en Virginia, Carolina del Norte y Carolina del Sur, donde se producen las nueces más grandes que tienen una cosecha larga, de 30 a 180 días.
- c) **Español.** Se cultiva principalmente en Texas y Oklahoma. Sus frutos son pequeños con una piel de color rojo brillante, su crecimiento es vertical y son de cosecha temprana.
- d) **Valencia.** Se conocen como los cacahuates de sabor más dulce, se producen principalmente en Nuevo México, su crecimiento también es vertical y son de cosecha temprana. Se diferencia del cacahuete español por el color oscuro de sus semillas.

En general los cacahuates son ricos en proteínas y calcio, pero si se consumen en grandes cantidades pueden causar problemas digestivos. Otros de los beneficios son los siguientes:

- Es fuente de proteína y ácido fólico.
- Previene enfermedades cardíacas.
- Ayuda a la prevención de la aterosclerosis.
- Combate la anemia.
- Fortalece los sistemas óseo e inmunológico.
- Favorece al sistema nervioso y periférico.
- Evita la pérdida de memoria.
- Previene el desarrollo de diabetes tipo 2.

- Favorece la pérdida de peso.
- Previene el envejecimiento precoz.
- Mantiene la salud de los músculos.
- Disminuye el riesgo de malformaciones en bebés.
- Mejora el estado de ánimo y ayuda a conciliar el sueño.

En México, los estados con mayor producción de cacahuete son: Sinaloa, Chihuahua, Chiapas y Morelos. La producción supera las 80 mil toneladas anuales, más del 50% de la producción nacional, (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gobierno de México, 22 dic 2018).

iii) Tamarindo

El tamarindo es una leguminosa originaria de África, comúnmente se usa con fines gastronómicos. Sin embargo, tiene un importante uso medicinal debido a sus propiedades laxantes, diuréticas, astringentes, antipiréticos y antisépticas. Con las ramas, raíces, hojas, semillas y el fruto se elaboran remedios para enfermedades del hígado, fiebre, asma, intoxicación alcohólica y problemas digestivos. Los productores de los estados de Jalisco, Colima y Michoacán son principalmente quienes nos proveen de esta leguminosa. Tan solo en 2017 se contabilizó una producción nacional que superó las 49 mil toneladas.

iv) Habas

El haba es una planta trepadora que se cultiva en todo el mundo. En México es un ingrediente común de la cocina, si se cosecha verde, se consume como verdura cocida, si se deja secar se conoce como haba grano y se consume como leguminosa en guisados y en la popular sopa de habas. En el Estado de México se siembra una superficie de aproximadamente 5 mil 643 hectáreas de haba verde, con una producción anual de 36 mil 334 toneladas (Agricultura estado de México, 01/0715).

v) Chícharos

El chícharo forma parte de la familia de las leguminosas y es la semilla de una planta trepadora que lleva el mismo nombre. Estas se encuentran dentro de unas vainas verdes que contienen entre cuatro y 10 guisantes.

En México el chícharo se cultiva en 19 estados, la producción de 2017 alcanzó las 63 mil 934 toneladas cosechadas en 11,254.38 hectáreas, en este rubro destacan el Estado de México y Puebla como los líderes productores de esta legumbre con 26 mil 718 toneladas y 11 mil 158 toneladas respectivamente.

Los nutrientes que tiene el chícharo pueden medirse de acuerdo con cierta cantidad de gramaje. Por ejemplo, por cada 100 g se obtienen los siguientes nutrientes.

- Calorías 69.
- Proteínas 5.8 g.
- Hidratos de carbono 10.6 g.
- Fibra 5.2 g.
- Grasas 0.4 g.

Las semillas descritas en los numerales anteriores (i-v), se utilizaron durante las pruebas experimentales para el descascarado de las mismas. Lo anterior debido a que se encontraban disponibles en el mercado de acuerdo con su temporada de cosecha, sin embargo, el estudio puede extenderse para otros tipos de semillas que contengan un endocarpio y/o vaina que rodea o envuelve al núcleo de alguna forma semejante, y que se produzcan en otra temporada de cosecha.

El principio de operación que se utilizó durante el diseño del dispositivo neumático, para el descascarado de las semillas, es por medio de un diferencial de presión. Los detalles en el diseño de este dispositivo se describen en el Capítulo 3. Sin embargo, previo al diseño del dispositivo será conveniente definir algunos conceptos de los principios neumáticos y las leyes que gobiernan ciertos fenómenos de presión y temperatura, así como el cálculo de propiedades termodinámicas utilizando ecuaciones de estado como la del gas ideal.

2.2 Presión y diferencial de presión

Se entiende por presión como la magnitud que se define como la derivada de la fuerza respecto al área, denotado por la Ecuación 2.1.

$$P = \frac{dF}{dA} \quad (2.1)$$

Cuando esta fuerza se aplica de forma normal y con distribución uniforme sobre una superficie dada, esta magnitud de la presión se obtiene dividiendo la fuerza aplicada sobre un área, como se muestra en la Ecuación 2.2.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Dónde:

P = es la presión en Pa.

F = es la fuerza en N

A = es el área en m²

En la Figura 2-6 se muestran las diferentes presiones que existen de manera muy general. En donde se puede apreciar de manera representativa la presión atmosférica, relativa, absoluta y el diferencial de presión.

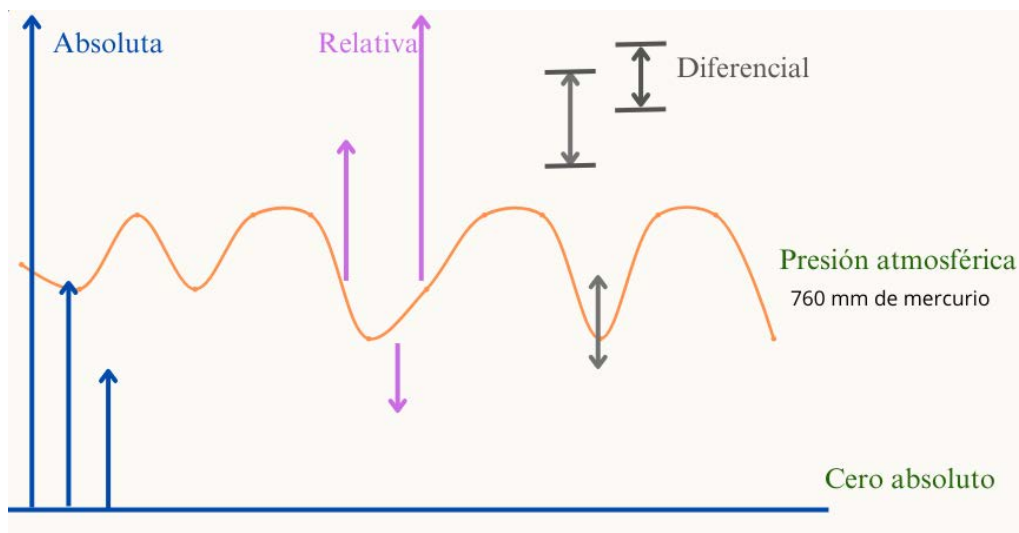


Figura 2-5. Tipos de presión

- a) *La presión absoluta* como, la presión que se mide a partir desde la presión cero de un “vacío absoluto”.
- b) *La presión atmosférica* es la presión que ejerce la atmósfera que rodea la tierra (barométrica) sobre todos los objetos que se hallan en contacto con ella. La presión atmosférica varía con la altura con referencia al nivel del mar y a las condiciones atmosféricas.
- c) *La presión atmosférica normal (estándar)* se define como la presión atmosférica equivalente a una atmósfera e igual a 101,325 Pa.
- d) *La presión relativa* es la presión mayor o menor a la presión atmosférica, es la presión medida con referencia a la presión atmosférica.
- e) *La presión manométrica* es la presión que es mayor a la presión atmosférica local, y se mide con un instrumento llamado manómetro.
- f) *La presión diferencial* es la presión entre dos sistemas aislados (la presión relativa es una presión diferencial en que la presión de referencia es la atmosférica). También se puede definir como la diferencia entre dos mediciones de presión diferentes, esta puede ser denominada como (ΔP), Ecuación 2.3.

$$\Delta P = P1 - P2 \quad (2.3)$$

- g) *Presión de Vacío* es la presión del estado de un gas menor a la presión atmosférica, el vacío también puede medirse con respecto al “cero absoluto” como una presión absoluta menor a la presión atmosférica.

2.2.1 Metodología TRIZ

Adicional a los métodos convencionales y de acuerdo con la teoría de Fundamentos para la solución de los problemas inventivos (TRIZ) existen otras formas o métodos recomendados para la obtención del núcleo de la nuez, es decir, la parte comestible, a continuación, se mencionan las más recomendadas, Petrov (2015):

- a) Se coloca la nuez en vacío.
- b) Se aplica aire a presión mediante un agujero.
- c) Se adhiere gran cantidad de partículas ferromagnéticas, posteriormente se colocan en un

campo magnético intenso.

d) Se coloca la nuez en recipiente hermético, se aplica aire a presión, se deja un tiempo para equilibrar presiones, y se retira la presión abruptamente, de esta manera la presión dentro de la nuez será mayor que el exterior y el endocarpio se partirá.

De acuerdo a esta metodología, las posibles soluciones a esta incentivo de separar el núcleo de la nuez, la técnica aplicada en esta Tesis es mediante el *diferencial de presión*.

2.2.2 Principios neumáticos

La tecnología de la neumática se refiere al estudio del comportamiento y aplicación del aire comprimido. Ciertas características del aire comprimido han hecho este medio bastante adecuado para usarlo en las modernas plantas de fabricación o producción.

Es importante conocer de esta área porque con base al funcionamiento de estos sistemas es cómo funciona el sistema neumático que fue diseñado y construido con el cual se llevaron a cabo los experimentos.

La tecnología neumática se refiere al estudio del comportamiento y aplicación del aire comprimido, hoy en día existe una gran lista de cosas y tareas que se realizan utilizando aire comprimido, esto por las ventajas que ofrece al ser utilizada.

Las características más notables de la neumática son:

1. Amplia disponibilidad del aire.
2. Compresibilidad del aire.
3. Característica del medio de ser a prueba de incendio.
4. Facilidad de transportar el aire en recipientes a presión, contenedores y tubos largos.
5. Construcción sencilla de elementos neumáticos y facilidad en su manejo.
6. Alto grado de facilidad de control de la presión, velocidad y fuerza.
7. Posibilidad de un fácil, pero razonablemente confiable, control a distancia.
8. Mantenimiento fácil.
9. Las características del medio deben ser de prueba ante una explosión.
10. Costo comparativamente más bajo en relación con otros sistemas.

Los elementos principales que conforman los sistemas neumáticos son:

1. Un compresor de aire.

2. Depósito para almacenar el aire comprimido.
3. Sistema de filtro para eliminar las impurezas y la humedad del aire.
4. Válvulas para controlar el flujo de aire comprimido.
5. Interruptores que van a permitir el paso o bloqueo del aire comprimido.

2.2.3 Principios Físicos

El aire

La Tierra está rodeada por aire hasta una altura de aproximadamente de 1600 km, desde la parte superior del suelo. El aire es invisible, incoloro, inodoro e insaboro. Los principales elementos que lo conforman en volumen, son 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno y 1% de bióxido de carbono y otros gases, incluyendo el vapor de agua. Este elemento abundante de la naturaleza cumple con las propiedades de las leyes de los gases, como cualquier otro gas perfecto o ideal.

Como consecuencia, las dos leyes de los gases, conocidas como la Ley de Boyle y ley de Charles, se aplican por igual al aire.

i) Ley de Boyle

Nos dice que, si la temperatura permanece constante, la presión de una masa confinada de gas variará inversamente con su volumen. Si P es la presión absoluta de un gas y V es el volumen, entonces,

$$P \propto \frac{1}{V} \quad (2.4)$$

$$\text{O bien, } PV = \text{constante} \quad (2.5)$$

Por lo tanto, se puede escribir que,

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 \dots P_n V_n \quad (2.6)$$

donde P_n y V_n son la presión y el volumen en las posiciones respectivas. De donde se puede ver que,

$$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} \quad (2.7)$$

$$\text{y, de manera análoga, } P_3 = \frac{P_1 V_1}{V_3} \quad (2.8)$$

ii) Ley de Charles

Nos dice que, si permanece la presión constante, el volumen de una masa dada de gas variará directamente según su temperatura absoluta. Si T_1 y T_2 son temperaturas absolutas inicial y final, respectivamente, y V_1 y V_2 son los volúmenes iniciales y final de una masa dada de gases, entonces,

$$V_1 \propto T_1 \quad (2.9)$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \text{constante} \quad (2.10)$$

$$\text{Por consiguiente, } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ o sea } \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} \quad (2.11)$$

$$T_2 = \frac{(V_2) \times T_1}{(V_1)} = \frac{V_2}{V_1} \cdot T_1 \quad (2.12)$$

iii) Ecuación de estado del gas ideal

Cualquier ecuación que relacione la presión, la temperatura y el volumen específico de una sustancia se denomina *ecuación de estado*. Hay varias ecuaciones de estado, algunas sencillas y otras muy complejas. La más sencilla y mejor conocida para sustancias en la fase gaseosa es la ecuación de estado de gas ideal, la cual predice el comportamiento P-V-T de un gas con bastante exactitud, dentro de cierta región elegida adecuadamente.

Las palabras gas y vapor a menudo se utilizan como sinónimos y comúnmente a la fase de vapor de una sustancia se le llama gas cuando su temperatura es más alta que la temperatura crítica. El vapor normalmente implica un gas que no se encuentra muy alejado del estado de condensación. Los franceses J. Charles y J. Gay - Lussac determinaron de modo experimental que a bajas presiones el volumen de un gas es proporcional a su temperatura. Es decir,

$$PV = TRm \quad (2.13)$$

donde la constante de proporcionalidad R se denomina constante del gas. La Ecuación 2.13 es la ecuación de estado de gas ideal, o sencillamente relación de gas ideal. Un gas que obedece esta relación recibe el nombre de gas ideal.

En la Ecuación 2.13, P es la presión absoluta, T es la temperatura absoluta y v es el volumen específico.

La constante R es diferente para cada gas y se determina a partir de la Ecuación 2.14.

$$R = \frac{Ru}{M} \quad (kJ/kg \cdot K \text{ o } kPa \cdot m^3/kg \cdot K) \quad (2.14)$$

donde R_u es la constante universal de los gases y M es la masa molar (llamada también peso molecular) del gas. La constante R_u es la misma para todas las sustancias y su valor es

$$R_u = \left\{ \begin{array}{l} 8.31447 \text{ kJ/kmol.k} \\ 8.31447 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{ kmol.k} \\ 0.0831447 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{ kmol.k} \\ 1.98588 \text{ Btu/lb mol} \cdot \text{R} \\ 10.7316 \text{ psia} \cdot \text{pie}^3/\text{lb mol} \cdot \text{R} \\ 1545.37 \cdot \text{pie} \cdot \text{1 bf/lb mol} \cdot \text{R} \end{array} \right.$$

La masa molar M se define como la masa de un mol (llamada también gramo-mol, abreviado gmol) de una sustancia en gramos, o bien, la masa de un kmol (llamada también kilogramo-mol, abreviado kgmol) en kilogramos. En unidades inglesas es la masa de 1 lbmol en lbm.

Cuando se dice que la masa molar del nitrógeno es 28, significa que la masa de un kmol de nitrógeno es 28 kg, o que la masa de 1 lbmol de nitrógeno es 28 lbm. Es decir, M igual a 28 kg/kgmol 28 lbm/lbmol. La masa de un sistema es igual al producto de su masa molar M y el número de moles N:

$$m = MN \text{ (kg)} \quad (2.15)$$

La Ecuación de estado del gas ideal se puede escribir de varias maneras diferentes:

$$V = mv \rightarrow PV = mRT \quad (2.16)$$

en donde $P = \text{presión absoluta (kg/cm}^2\text{)(abs) u otras unidades}$

$V = \text{volumen (m}^3\text{)}$

$T = \text{temperatura absoluta (K)}$

$m = \text{masa del gas (kg)}$

$R = \text{constante de los gases}$

Mediante el análisis de los conceptos generales de algunos principios neumáticos básicos, mencionados anteriormente, y previo al diseño del dispositivo neumático, fue necesario realizar algunas pruebas experimentales con algunas semillas previamente seleccionadas, como se describe en la siguiente sección. La finalidad principal radica en probar experimentalmente la teoría de la permeabilidad del endocarpio de algunas semillas.

2.3 Estudio y selección de la semilla

Se realizó un estudio de las propiedades de las semillas con el objetivo de seleccionar la semilla apropiada que fuera apta para la aplicación de la técnica que se plantea en esta tesis. Las

características que se buscaron fueron, principalmente, que cumpliera con la porosidad y dureza, así como que hubiera un espacio de separación entre la cáscara y la semilla, este último con la finalidad de convertir ese espacio en área de trabajo. Se analizaron nueces como los cacahuates, macadamia, marañón, Brasil, y la nuez de castilla. Así como también se estudiaron las cáscaras de algunas nueces, las cuales sirvieron de base para seleccionar la nuez.

La nuez seleccionada fue la Nuez Pecana, por su porosidad y dureza, ya que permite la entrada de aire en un tiempo no demorado.

2.3.1 Verificación de la permeabilidad del endocarpio de manera experimental

De manera experimental se verificó la permeabilidad de la nuez pecana, sometiéndose a una presión manométrica con un compresor de capacidad de 0 a 100 psi (0-7 kg/cm²) mediante una pequeña válvula para inflar balones. De acuerdo con los resultados de estas pruebas previas experimentales, el incremento/decremento de la presión manométrica al interior de la nuez presentó un comportamiento de variación exponencial. El fenómeno anterior es característico de procesos muy bien comportados y puede representarse mediante la ecuación diferencial ordinaria de primer grado como se muestra a continuación.

$$\frac{dP}{dt} \propto P \therefore \frac{dP}{dt} = kP \quad (2.17)$$

Donde

P es la presión (PSI g)

t es el tiempo(s)

k es una constante de proporcionalidad (negativa para el caso decreciente de la presión, positiva para el caso de una presión creciente).

La solución de la Ecuación 2.17 se obtuvo aplicando el método de separación de variables, con sus respectivas condiciones iniciales, la solución general se muestra en la Ecuación 2.18.

$$P_{(t)} = P_0 e^{-kt} \quad (2.18)$$

Para expresar el valor de k se realizaron las diferentes operaciones, quedando de la siguiente manera:

$$k = \frac{\ln \frac{P(t)}{P_0}}{-t} \quad (2.19)$$

Para verificar el modelo, se graficaron los datos teóricos obtenidos del modelo matemático con los valores experimentales, en la Figura 2-7 se observan esta comparación, de color rojo los datos experimentales y de color negro los datos del modelo matemático. Las diferencias máximas encontradas durante los primeros 40 segundos fue aproximadamente de 5%. Después de los 40 segundos las diferencias aumentan, esto puede estar relacionado con la baja sensibilidad de la escala del medidor de presión a presiones menores a las 20 psi, ya que resulta complicado tomar la lectura, la cual se hizo de forma manual.

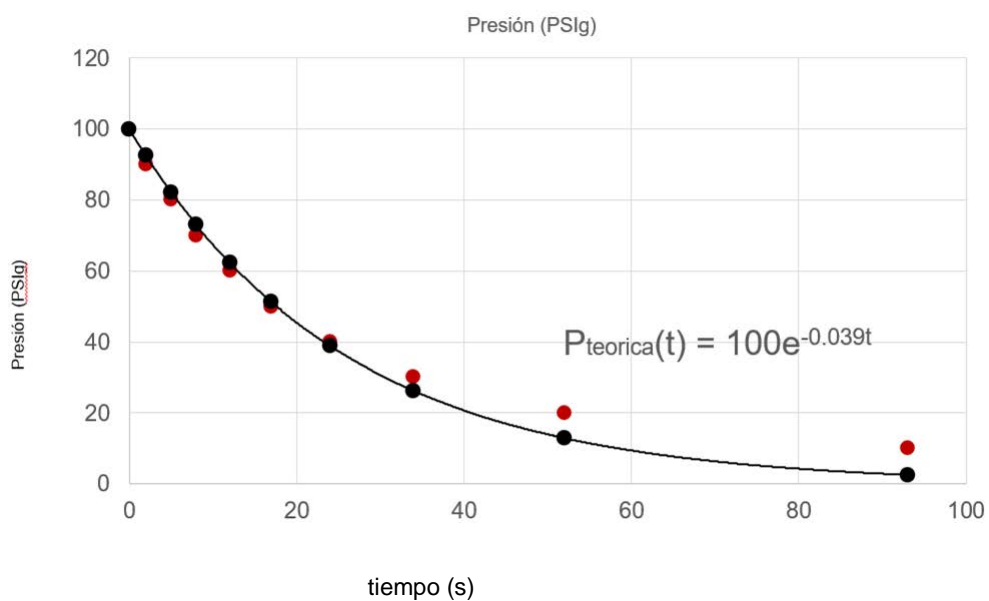


Figura 2-6. Resultados teóricos experimentales

2.4 Obtención de propiedades físicas de la Nuez Pecana

Se tomó una población de 20 nueces pecanas que fueron adquiridas en el Mercado Municipal de Cuernavaca, Morelos, y cuyo origen es del estado de Chihuahua. De las cuales se determinaron algunas propiedades como la densidad, volumen de la nuez, semilla y volumen de la cáscara, su peso, sus diferentes longitudes, y la esfericidad. Se determinó la desviación estándar de cada una de las propiedades. En la Figura 2-8 se observan las diferentes herramientas y equipos que se usaron para esta actividad. Dentro de los equipos y herramientas utilizadas se pueden mencionar un vernier o calibrador, para obtener las diferentes medias de longitud. Así mismo una balanza electrónica de precisión con capacidad de 0 a 3 kg, una resolución de 10 mg, marca Rhino, Modelo BAPRE-3 para obtener el peso de las semillas, una probeta con capacidad de 0 a 50 ml con resolución de 1 ml, entre otros. En las siguientes Figuras se pueden observar accesorios antes mencionados.



A) Volumen de la nuez

B) medición de longitudes

C) peso de la nuez

Figura 2-7. Medidas de las diferentes partes de la nuez

En la Tabla 2-1. Se observan las propiedades que fueron determinadas como valor promedio de la población de nueces, cada una de las medidas con su desviación estándar.

Tabla 2-1. Determinación de las propiedades

Dimensiones	Valor promedio, σ
Largo (cm)	4.21 \pm 0.17
Ancho (cm)	1.98 \pm 0.13
Espesor (mm)	2.02 \pm 0.09
Masa (g)	7.75 \pm 0.57
Volumen (cm ³)	9.65 \pm 0.75
Diámetro geométrico (cm)	2.56 \pm 0.11
Esfericidad (%)	52,02 \pm 8.35
Vol. Total del aire de la nuez (cm ³)	1.78 \pm 0.86

2.5 Propiedad mecánica

La propiedad mecánica que se determinó fue la resistencia que pone el endocarpio al flujo de aire. Se usó la información de los formatos que se presentan en el *Anexo III*, para esto se utilizó la ecuación de estado del gas ideal. Con una ecuación análoga a la ley de Ohm se calculó la resistencia en las diferentes presiones tomando los datos de la primera actividad.

$$R = \frac{\Delta P}{Q} \quad (2.20)$$

Dónde

Q= Caudal (flujo de aire, m³/s)

ΔP = Diferencia de presiones, kPa

R= Resistencia kPa s/m³

Para determinar la resistencia equivalente es importante determinar el caudal de aire, el cual se obtiene con la siguiente ecuación

$$Q_{aire} = \frac{\Delta m_i}{\Delta t_i} (mg/s) \quad (2.21)$$

Para calcular la masa de aire en las diferentes presiones se utilizó la ecuación de estado del gas ideal.

$$P_0V = m_0RT \therefore m_0 = \frac{P_0V_{\text{neto-aire}}}{RT} \quad (2.22)$$

En dónde:

V= volumen de aire de la nuez (m³)

m₀= masa del aire en la nuez (kg)

R= constante de aire (0.2870 kPa m³ kg.K)

P₀= Presión absoluta inicial (Kpa)

T= Temperatura absoluta(K)

Nota: Para el volumen del aire se tomó un valor promedio de las nueces utilizadas en este experimento.

Se calcularon las masas para las diferentes presiones en los diferentes tiempos; m₀, m₁, m₂... m_i. Así como también las diferencias de presiones; Δm_i=m_i-m_{i-1}, y las diferencias de tiempo; Δt_i= t_i-t_{i-1}.

Una vez que se obtuvieron los valores con la Ecuación 2.22, se sustituyeron en la Ecuación 2.21. En la Figura 2-9 se muestran los valores obtenidos de la resistencia respecto al tiempo, en la que se puede observar un comportamiento **exponencial de manera creciente de la resistencia**. A medida que disminuye la presión en el interior de la nuez, se puede observar una mayor resistencia al flujo másico de aire a través del endocarpio, proceso similar o inverso a la variación de presión interna de la nuez.

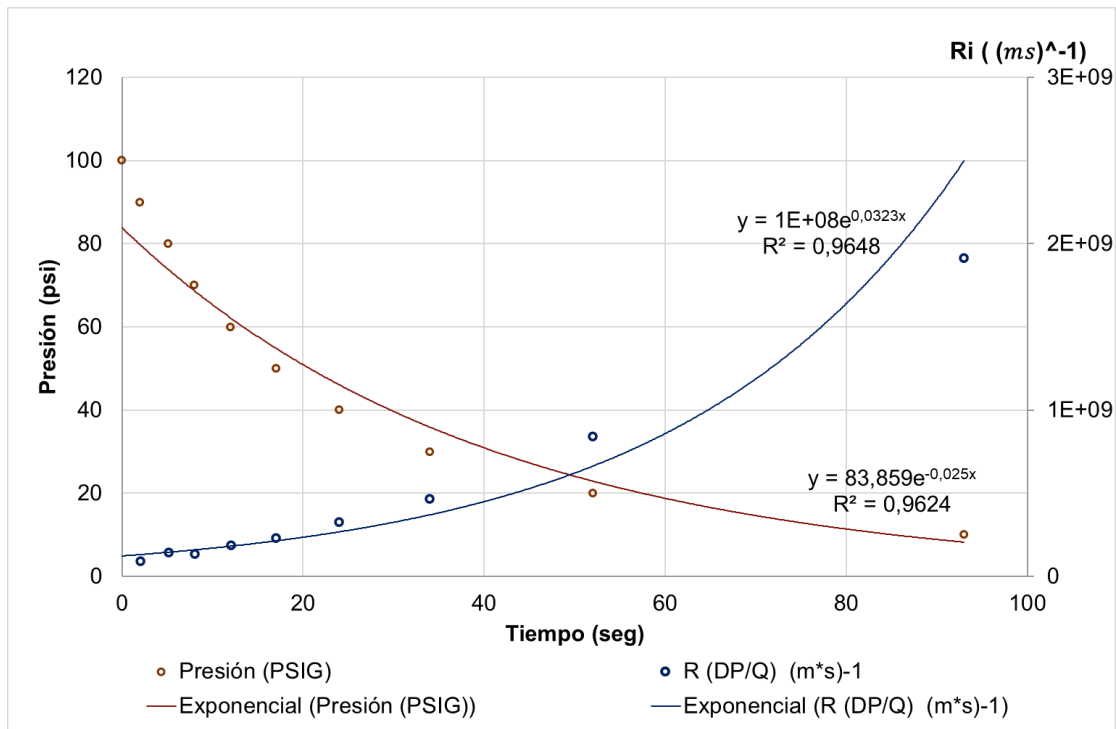


Figura 2-9. Resistencia al flujo másico

2.5 Obtención de las propiedades del cacahuete

De forma similar como para la nuez, se tomó una muestra de 30 piezas de cacahuates, clasificándose de acuerdo al número de semillas que fue desde una semilla hasta tres semillas. De acuerdo al número de semillas que contiene le corresponden “corredor o runner”. Se obtuvieron sus propiedades físicas que se consideran de relevancia para la aplicación de esta técnica. Los cacahuates que se utilizaron para determinar sus propiedades se les aplicó una capa de barniz con la finalidad de hacer impermeable su cáscara o endocarpio, y así poder sumergirlos en una probeta con agua para determinar su volumen, aplicando el principio de Arquímedes, Figuras 2-10 a 2-12.

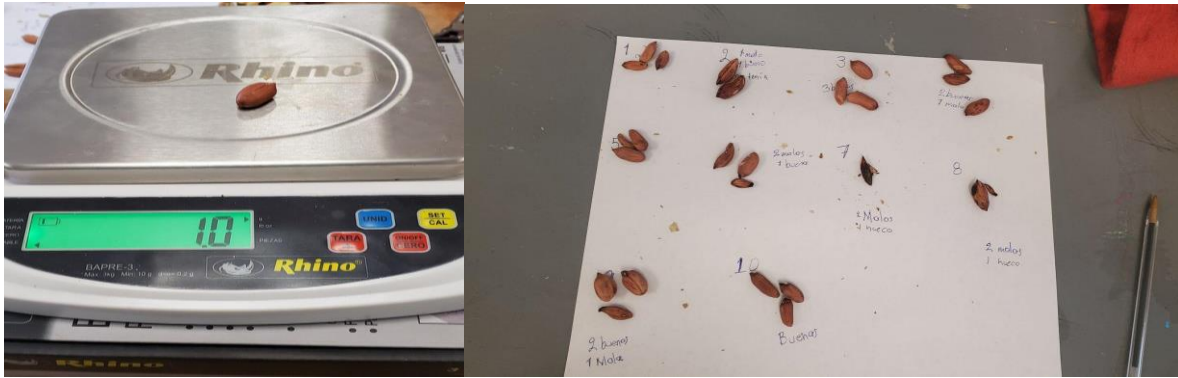


Figura 2-10. Peso de las semillas



Figura 2-11. Cáscaras barnizadas

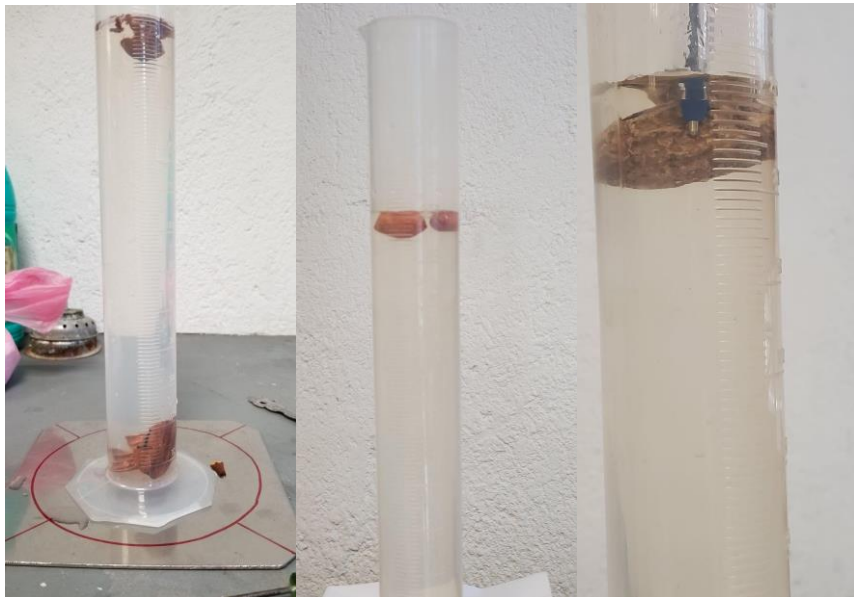


Figura 2-8. Medidas de volumen de las diferentes partes del cacahuate

En la Tabla 2-2 Se muestra el resultado promedio de las propiedades de acuerdo a la clasificación con base al número de granos que contenía la vaina. Una de las propiedades que se consideran de relevancia para esta técnica es el volumen del aire que contiene la vaina del cacahuate.

Tabla 2-2 Propiedades físicas del cacahuete

Propiedad	(1) semilla	(2) semillas	(3) semillas
Volumen de la vaina, (mm ³)	4.50 ±	5.63 ±	6.80 ±
Volumen de la cáscara, (mm ³)	1.87 ±	3.03 ±	2.70 ±
Volumen de la semilla, (mm ³)	0.48 ±	1.20 ±	1.32 ±
Volumen del aire, (mm ³)	1.89 ±	1.48 ±	2.78 ±
Volumen del aire (%)	40.60	31.22	40.90 ±

Las propiedades que se determinaron para las semillas de la nuez y del cacahuete, sirvieron como base para establecer algunos parámetros de diseño del dispositivo neumático. Lo cual se abordará en el Capítulo 3 de esta Tesis.

Capítulo 3 . Diseño y construcción del Sistema Neumático

En este capítulo se explica cómo se diseñó la cámara neumática con la que se hicieron los ensayos experimentales. Se muestra un diagrama del diseño de los prototipos III, IV y V, con sus dimensiones y características propias. También se muestra el diseño del prototipo IV en el software de modelado Solidworks en la V-2017, así como también las tablas de los materiales que conforman las distintas cámaras.

3.1 Diseño de los prototipos I y II.

Durante el diseño del sistema neumático se construyeron cinco diferentes prototipos para generar las condiciones necesarias y poder separar la semilla de su endocarpio por diferencia de presiones. Conocer los elementos principales que puede constituir un sistema neumático fue de gran relevancia para determinar y seleccionar los materiales que se debían adquirir para la construcción del sistema neumático. La ventaja en proponer un mejor diseño y la selección de materiales fue, por un lado, evitar gastos económicos innecesarios, así como también determinar la capacidad de resistencia de todo el sistema, y del volumen de la cámara hermética.

Para el diseño del sistema se tomaron en cuenta ciertas consideraciones que tienen que ver con la forma geométrica de la cámara hermética, ya que esto determinaría la elasticidad del recipiente. La forma más recomendada para construir un recipiente sujeto a presión es la forma esférica. Sin embargo, la construcción de este tipo de recipientes es más laboriosa y el costo es más elevado, por lo tanto, se eligió diseñar y construir una cámara de con forma cilíndrica debido a la facilidad en su construcción. Los recipientes tipo cilíndricos requieren de espesores menores en el material usado, esto respecto a otras formas geométricas como las rectangulares (M.M.J., 2005).

En la Figura 3-1 se muestran las imágenes de los Prototipos I y II de las cámaras neumáticas. Para la construcción de estos sistemas se utilizaron recipientes comerciales de PVC transparentes, los cuales se reforzaron con abrazaderas y tapas en sus extremos fijas con tornillos, cuyas características se muestran en la Tabla 3-1. Con los Prototipos I y II, se realizaron algunas pruebas preliminares, introduciendo nueces y algunos testigos para observar y confirmar los cambios de la presión en el interior de la cámara neumática. En la Figura 3-1 (a) se muestra la cámara, en cuyo interior se observa un globo como testigo y en 3-1 (b) nueces en su interior. Como resultados se pudieron observar cambios de volúmenes en el testigo sensible a los cambios de presión, sin embargo, no se observó algún efecto en las nueces durante el proceso, hasta este momento.

La presión máxima suministrada al prototipo I fue de 25 psi, debido a que a presiones mayores se presentaban fugas de aire y deformaciones en las tapas. En el Prototipo II se utilizó una conexión especial llamada *conector pasa-muros*. Este conector se utilizó para poder medir la

presión interna de la nuez. Los materiales que se utilizaron en el prototipo II son más robustos respecto a los utilizados en el Prototipo I, como se puede observar en la Tabla 3-1. La presión máxima suministrada fue de 60 psi. La capacidad de almacenamiento de la cámara neumática en el Prototipo II fue del doble en comparación con el volumen de la cámara neumática del Prototipo I. Como resultados, se pudo observar el incremento de la presión interna de la nuez a través de un indicador de presión manométrica tipo tubo bourdon.

Tabla 3-1. Características técnicas de los materiales utilizados en las cámaras neumáticas

Item	Material	Volumen cámara	Entrada/Salida (pulg)	Abrazaderas metálicas	Varilla roscada de acero (pulg)	Tapas Metálicas, espesor (mm)
Cam 1	PVC	1178 cm ³	½"	3 x 111 mm	4x1/8x91/2	1 mm
Cam 2	PVC	2270 cm ³	1.0"	3 x 111 mm	4x3/16x91/2	3 mm

En las Tablas 3-2 y 3-3 se mencionan las ventajas y desventajas de los prototipos I y II. Cabe mencionar que esto se observó una vez que se comenzaron a hacer los primeros ensayos experimentales.

Tabla 3-2. Ventajas y desventajas del prototipo I

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permitió ver algunos fenómenos como el cambio de fases del fluido de trabajo (aire) ▪ Se logró poner en práctica las distintas etapas del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se utilizaron algunos materiales provisionales como un recipiente de plástico. ▪ El diámetro de la tubería fue de ½ pulgada. ▪ El sistema presentaba fugas de aire a presiones mayores a las 30 psi. ▪ Se presentaron deformaciones en las tapas (aluminio). ▪ No era posible medir la presión de la cámara ni de la nuez.

Tabla 3-3. Ventajas y desventajas del prototipo II

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento del diámetro de la tubería a 1 pulgada, y con ello menor tiempo de desfogue. ▪ Aumento del espesor de las tapas a 1.7 mm (metal), y con ello mayor presión de trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Una presión máxima de trabajo del sistema de 60 psi. ▪ Se incrementaban las fugas de aire a esta presión de trabajo.

En la Figura 3.1 se muestra las primeras versiones de los prototipos



a) Prototipo I



b) Prototipo II

Figura 3-1. Prototipos de la cámara neumática

Debido a que era necesario incrementar la presión de trabajo en la cámara neumática, y de reducir las fugas de aire en el sistema, fue necesario diseñar y construir nuevos prototipos, tomando como base los diseños anteriores. A continuación, se describen dichos prototipos.

3.2 Diseño de los prototipos III, IV y V.

A continuación, se muestra el diseño base para las construcciones posteriores de los prototipos, con mejoras técnicas en sus componentes, este diseño base se utilizó para los Prototipos III, IV y V, con sus dimensiones y características propias de cada uno. En la Figura 3-2 se puede observar el diseño base y las dimensiones de los diferentes prototipos.

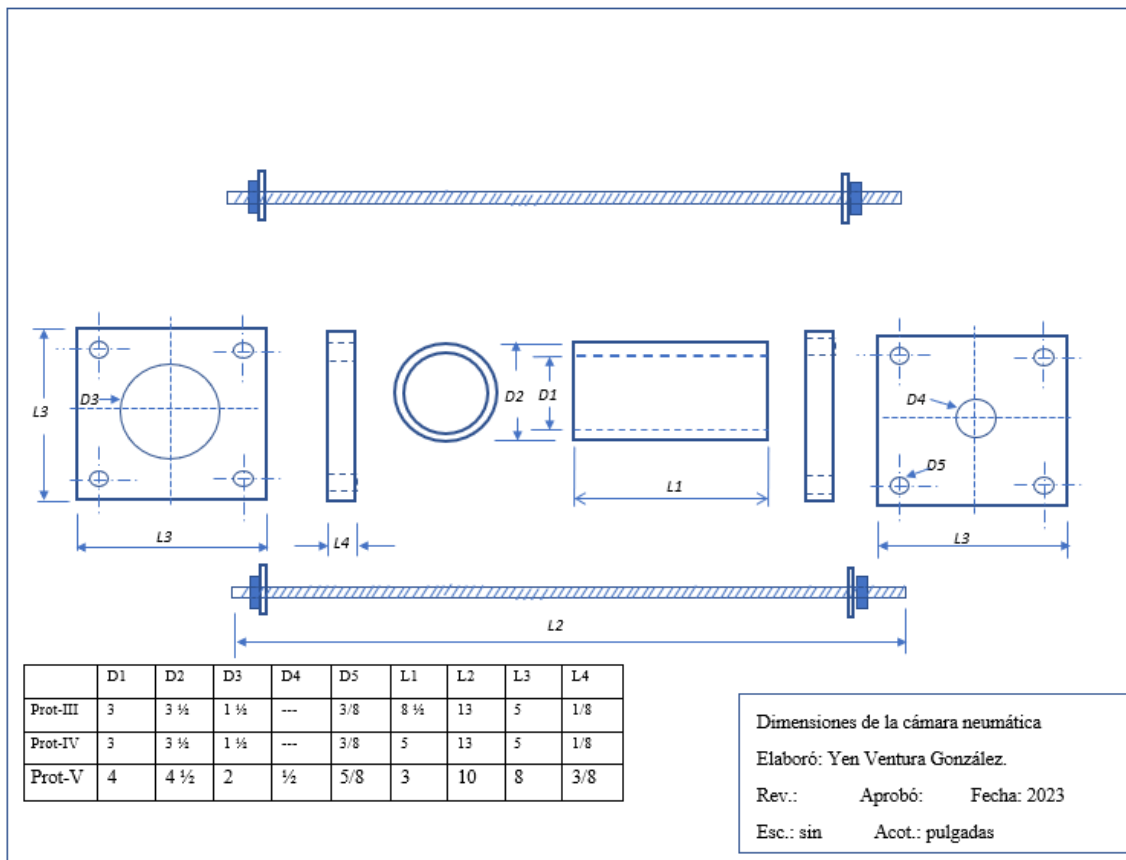


Figura 3-2. Diseño base de los prototipos III, IV y V

En la Figura 3-3 se muestra un diagrama de los materiales representativos que conforman el prototipo III, con las dimensiones de cada uno de los materiales. Las mejoras que se les realizaron a los prototipos III y IV fueron en cuanto a la calidad de los materiales y propiedades

técnicas, con la finalidad de que soporten mayores presiones de trabajo, de acuerdo a lo requerido teórica y experimentalmente.

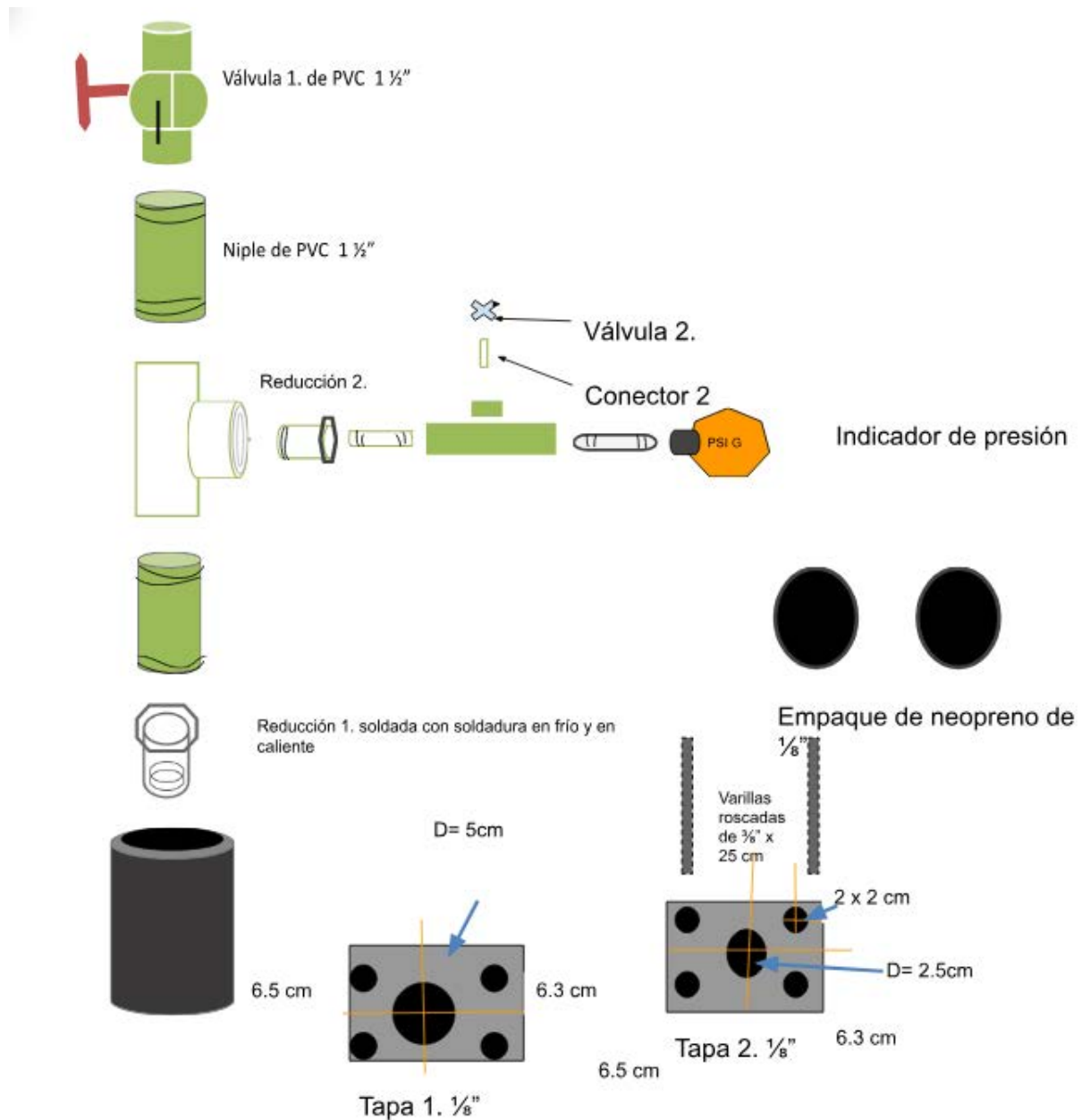


Figura 3-3. Esquema de los materiales que representan los componentes del sistema neumático

En la Tabla 3-4 se muestran las especificaciones técnicas de cada uno de los materiales que conforman la cámara hermética, cabe resaltar que estas especificaciones de materiales corresponden tanto para Prototipo III, como para el Prototipo IV, con la única diferencia del volumen de la cámara neumática.






Tabla 3-4. Especificaciones técnicas de materiales

No. pzas	Nombre	Características	P _{max} Estimada
1	Tee	galvanizada 1/4" NPT, rosca interna	0-150 lbs
1	Tee	galvanizada 1 1/2"	0-200 lbs
2	Niple	PVC 1 1/2" , rosca externa	0-150 lbs
1	Reducción	PVC de 2" a 1 1/2"	0-150 lbs
1	Reducción	PVC de 1 1/2" a 1/2"	0-150 lbs
3	Conector	galvanizado de 1/2"	0-150 lbs
1	Válvula	PVC de 1 1/2"	0-150 lbs
1	Válvula	Esfera	0-250 lbs
2	Tapas de metal	15x 15 cm	0-200 lbs
4	Varillas roscadas	3/8" x 22 cm	0-150 lbs
2	Empaque de Neopreno	1/8" de espesor x 10 cm diámetro	Sin especificaciones
1	Indicador de Presión	0-100 PSI	-----
1	Indicador de presión	0-200 PSI	-----
1	Abrazadera	Hidráulica 75 mm	0-150 lbs

En la Tabla 3-5 se muestran las piezas que conforman el prototipo III y IV con sus características técnicas más relevantes, las piezas mostradas en la tabla fueron diseñadas el software Solidworks V2017 que permite el modelado en 3D mecánico, este software se utiliza bajo licencia; sin embargo, para realizar el modelado se utilizó una versión de estudiante que la misma plataforma permite.

Tabla 3-5. Elementos y características principales del prototipo, modelado en SolidWorks

Cantidad	Nombre	Símbolo (Representación)	Descripción
1	Tee de PVC		Hidráulica de 1 ½" soporte de 0-150 psi
2	Niple PVC		Hidráulicos de 1 ½"
1	Tee acero galvanizado		De 1 ½", soporte de 0-150 psi
1	Válvula		Acero inoxidable de ½", soporte de 0-250 PSI
	Válvula		Acero inoxidable ½"
	Tubo de tuve		soporte de 0-500 psi
1	Tubo de PVC		De 1 ½", soporte de 0-200 PSI / 14 kg/cm ² , hecho de acero al carbón
2	Tapas de metal		Con medidas de 12.5 x 12.5 cm x 1 cm. Soporte de 0-150 psi

12	Rondanas planas		Acero de 3/8"
12	Rondanas de presión		Acero de 3/8"
12	Tuercas		Acero de 3/8"
2	Empaques de neopreno		10 cm de diámetro
4	Varillas roscadas de 3/8		Varillas roscadas de 3/8

En la Figura 3-4 se muestra el prototipo III construido con los materiales antes especificados.

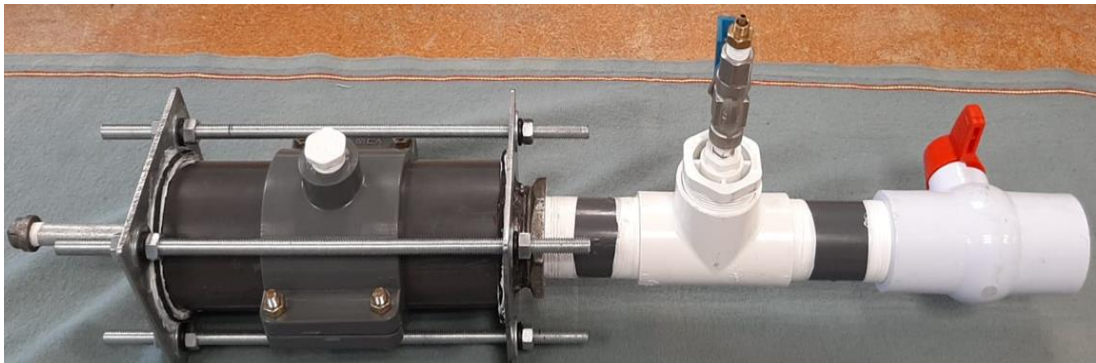


Figura 3-4. Prototipo III construido

La Tabla 3-6 muestra las ventajas y desventajas del diseño del sistema como Prototipo III.

Tabla 3-6. Ventajas y desventajas del prototipo III

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los materiales que se están utilizando son industriales ▪ El sistema soporta hasta 150 PSI ▪ Aumento del diámetro de la tubería a 3" pulgadas ▪ Se puede medir la presión de la cámara y de la nuez. ▪ Se cambió el recipiente de plástico por un tubo de PVC cédula 80 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Para introducir y sacar las muestras se requiere desarmar todo el prototipo ▪ Se requiere de equipo de seguridad para realizar experimentos. ▪ El volumen del aire que atraviesa toda la tubería.

Para la construcción de la versión del Prototipo IV se disminuyó el volumen del prototipo III, con la intención de reducir el tiempo de descarga de aire durante las pruebas experimentales. En la Figura 3-5 se muestra una imagen del diseño en SolidWorks de dicho prototipo. En dicha imagen se muestra la unión de componentes descritos en la Tabla 3-5.

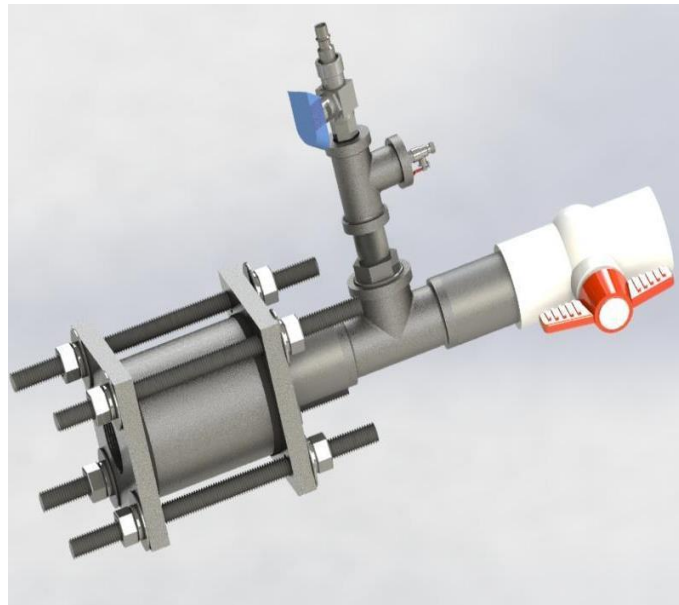


Figura 3-5. Diseño del prototipo IV en SolidWorks

En la Figura 3-6 se muestra la imagen del Prototipo IV construido. En La Tabla 3-7 se muestran sus ventajas y desventajas.



Figura 3-6. Prototipo IV construido

Tabla 3-7. Ventajas y desventajas del prototipo IV

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los materiales que se están utilizando son industriales ▪ El sistema soporta hasta 150 PSI ▪ Aumento del diámetro de la tubería a 3" pulgadas ▪ Se puede medir la presión de la cámara y de la nuez. ▪ Se cambió el recipiente de plástico por un tubo de PVC cédula 80. ▪ Se disminuyó el volumen de aire de la cámara de 1.2 L a 500 ml. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Para introducir y sacar las muestras se requiere de desarmar todo el prototipo ▪ Se requiere de equipo de seguridad para realizar experimentos. ▪ El volumen del aire que atraviesa toda la tubería afectaba los resultados. ▪ El dispositivo no se encuentra fijo, lo cual complicaba su manipulación.

Debido a algunas deficiencias que se presentaron en estas versiones de prototipos, fue necesario diseñar y construir un Prototipo V como última versión. Se calcularon los espesores apropiados de los materiales. Para el diseño se tomó como base las características de los diseños anteriores. Se usaron materiales industriales con mayor capacidad de trabajo.

Diseño del Prototipo V (Versión Final)

Debido al análisis de los resultados que se obtuvieron con el primer lote de semillas, se determinó que era necesario suministrar mayor presión a la cámara, así como también se tuvo la necesidad de diseñar y construir un prototipo más robusto que soportara más de 200 PSI, ya que este valor de presión de trabajo. Por lo tanto, en esta Sección se presenta el último diseño de la cámara neumática y sus accesorios.

Para el cálculo de la presión de diseño de dicha cámara se usó el código ASME VIII, División 2, así como las recomendaciones de la norma mexicana NOM-020-STPS-2011. Esta norma clasifica los recipientes sujetos a presión por categoría, de acuerdo al fluido de trabajo, a la presión de operación, a su volumen y a su orientación, los cuales pueden ser recipientes verticales y recipientes horizontales.

La Ecuación 3.1 permite estimar la presión de diseño de un recipiente cilíndrico.

$$P = \frac{SEt}{R+0.6t} \quad (3.1)$$

Donde:

t = Espesor de pared en pulgadas, (0.25 pulg.)

P = Presión de diseño en psi

S = Esfuerzo permisible en psi, (para el acero 30,000 psi)

E = Eficiencia conjunta, adimensional (0.90)

R = Radio interno del cilindro en pulgadas, (2.0 pulg.)

Nota: La eficiencia máxima permisible de juntas para juntas soldadas con gas y con arco. Junta por ensamble de soldadura simple, con banda de respaldo en su lugar, radiografía completa de 0.90 (E).

Como resultado de aplicar los valores anteriores obtenemos una $P = 3,139.0 \text{ psi}$. Si aplicamos un factor de seguridad de 1.5, recomendado por el código ASME, resulta una presión de diseño o de trabajo de $2,092.0 \text{ psi}$.

En la Figura 3-7 se muestra el diagrama de la cámara neumática en material de acero galvanizado.

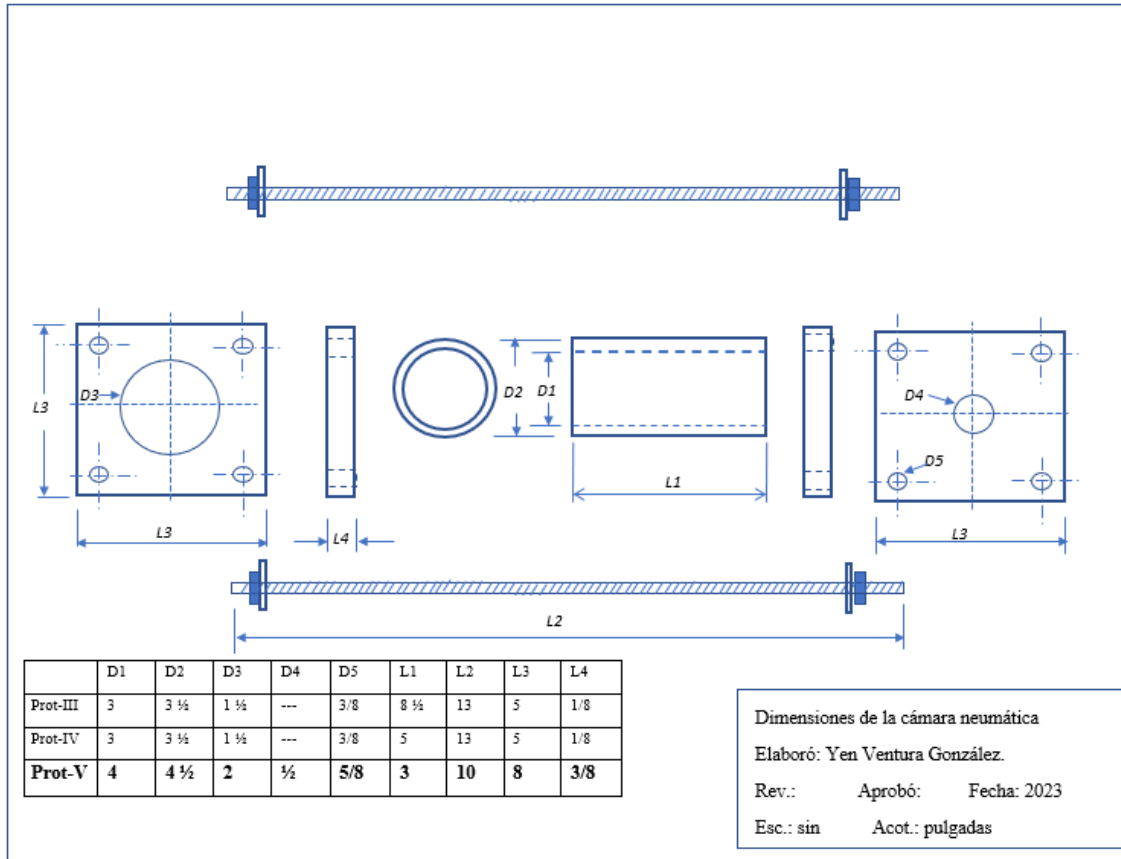


Figura 3-7. Diseño del Prototipo V

En la Tabla 3-8 se muestran con detalle los materiales por los cuales está compuesto el sistema neumático. Estos materiales fueron de acuerdo a las propiedades técnicas requeridas para los intervalos de presión de trabajo con los cuales se realizaron los experimentos. Ya que de acuerdo con la norma de diseño mecánico no se puede someter a esfuerzos a más de 1.5 de su capacidad de diseño, las partes que lo conforman. Por eso fue necesario conocer la capacidad de diseño de cada uno de los componentes principales que se muestran en dicha tabla.

Tabla 3-8. Materiales que integran el sistema neumático V

Elemento/Material	Capacidad de diseño (psi)
(1) Cámara hermética (Acero)	2500
(1) Cilindro de Nitrógeno (N ₂)	2000
(3) Válvulas de entrada/salida de aire (Acero)	600
(1) Indicador de presión (Aleación/Bronce)	0-400
Conexiones especiales (Acero)	4000
Tubería de acero	6000
Manguera de alimentación	5800

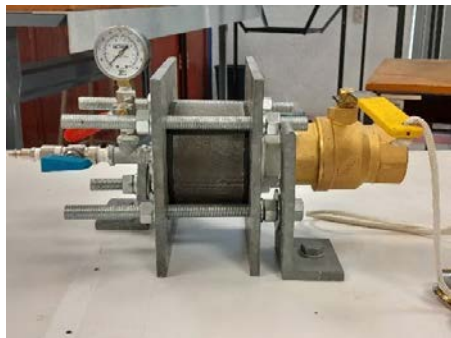
Para el prototipo final se realizaron algunos cambios en los materiales como se muestra en la Tabla 3-9, se describen sus características, así como una representación pictográfica. Los materiales principales por los que está hecho el prototipo son de acero al carbón para el cilindro y acero inoxidable para las tapas de la cámara.

Tabla 3-9. Materiales usados en la versión del Prototipo V

Cantidad	Nombre	Símbolo (Representación)	Descripción
1	Tee de PVC		Hidráulica de 1 ½" soporte de 0-150 PSI
2	Tubo de acero		Acero inoxidable, cédula 40
1	Válvula		Acero inoxidable de ½", soporte de 0-250 PSI
	Válvula de		Acero inoxidable ½"
	Tubo de tuve		soporte de 0-500 PSI
2	Niples de acero inoxidable		De ½", soporte de 0-200 PSI / 14 kg/cm ²

2	Tapas de acero al carbón		Con medidas de 12.5 x 12.5 cm x 1 cm. Soporte de 0-150 PSI
12	Rondanas planas		Acero de 3/8"
12	Rondanas de presión		Acero de 3/8"
12	Tuerca		Acero de 3/8"
2	2 empaques de neopreno		Con medida de 10 cm de diámetro
4	Varillas roscadas de 3/8		Varillas roscadas de 3/8

En la Figura 3-8 se puede observar el prototipo en su versión final (Prototipo V) en el cual se señalan las partes más relevantes que lo conforman.



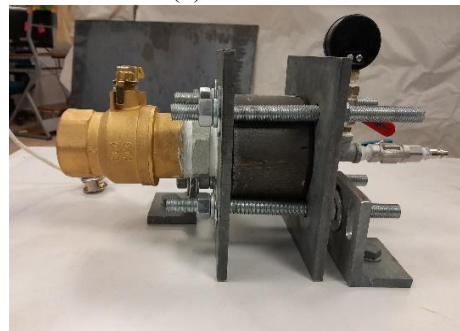
(a) Vista lateral izquierda



(b) Vista frontal



(c) Vista posterior



(d) Vista lateral derecha

Figura 3-8. Diferentes vistas del prototipo V

Una imagen de conjunto del Prototipo V se muestra en la Figura 3-9, donde se señalan en detalle de las partes principales.

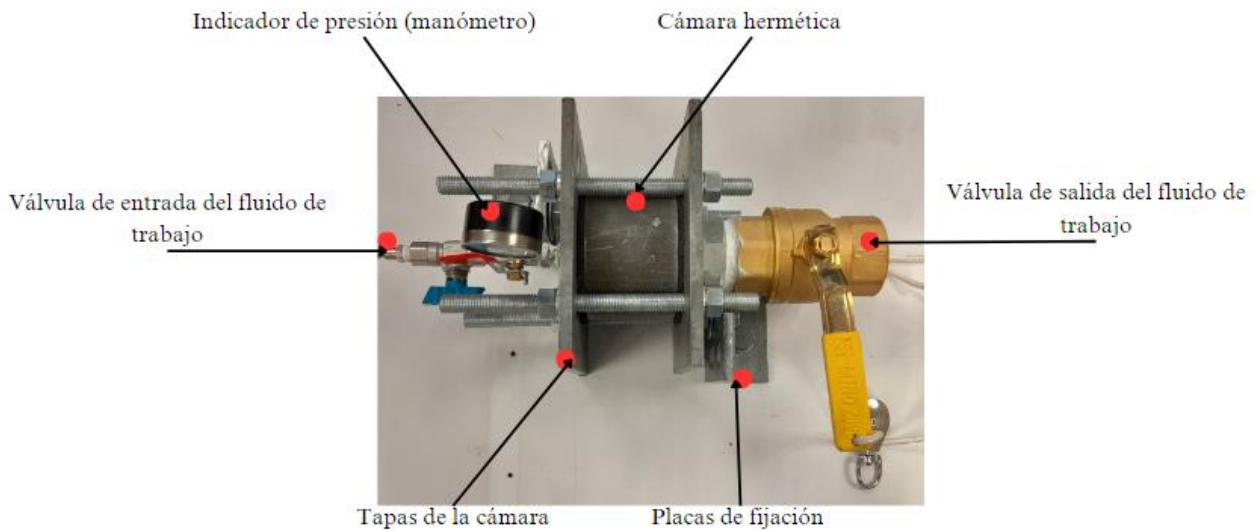


Figura 3-9. Prototipo final versión V

Para la apertura de la válvula de salida del fluido de trabajo, se presenta a continuación el diseño del mecanismo biomecánico del prototipo V.

3.3 Mecanismo biomecánico para la apertura de la válvula de desfogue.

Debido al tamaño de la válvula de desfogue (2 pulgadas) fue necesario diseñar un mecanismo biomecánico de apertura, el cual permitió realizar la apertura de manera normalizada para los ensayos experimentales. Se determinó el ángulo de apertura utilizando la ley de los senos y de los cosenos. Donde se determinó el ángulo de la apertura de la válvula de 63° . En la Figura 3-10 se muestra el diseño del sistema de apertura.

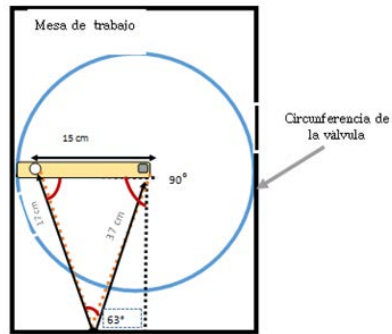
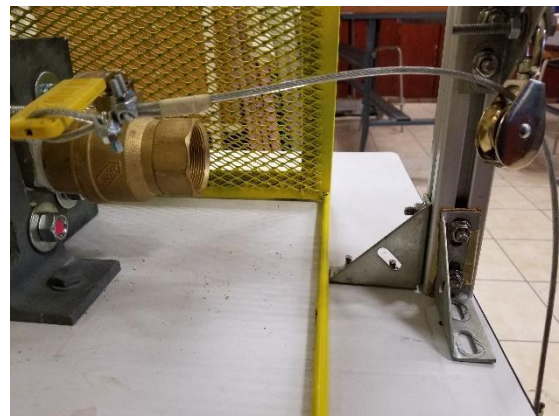


Figura 3-10. Diseño del ángulo de apertura de la válvula

En la Figura 3-11 se muestran las diferentes vistas de dicho mecanismo manual de apertura.



(a) Vista frontal



(b) vista lateral izquierda



(c) vista superior



(d) vista frontal

Figura 3-11. Mecanismo de apertura del sistema neumático

Con este mecanismo es posible abrir la válvula de desfogue de una manera normalizada, es decir, con un tiempo de apertura muy similar entre cada operación del sistema.

3.4 Fuentes de presión

A continuación, se presenta la Tabla 3-10 en donde se muestran todas las fuentes de suministro de presión que se utilizaron en los diferentes ensayos experimentales.

Tabla 3-10. Fuentes generadoras de presión

Ítems	Nombre	Modelo	Presión de placa (PSI)	Presión de trabajo (PSI)	Fluido	Características
1	Compresor	NCA-2	150	0-95	Aire comprimido	12 vcd
2	Compresor	NCA-2	200	0-100	Aire comprimido	12 vcd
3	Compresor	NCA-2	300	0-95	Aire comprimido	12 vcd
4	Compresor HUSKI	395226	200	0-120	Aire comprimido	1.0 HP, 120 V, 9.5 A/60Hz
5	Tanque N2		4000/600	0-400	Nitrógeno	3m ³ , N2NoONU=1066

3.4.1 Aire comprimido

Como fuente de suministro a la cámara neumática, se utilizó aire atmosférico comprimido. Los intervalos de presión comerciales varían un poco; de 0 a 100 psi, de 0 125 y de 0 a 135 psi.

3.4.2 Nitrógeno

Debido a que los compresores comerciales por norma ofrecen una presión promedio de trabajo de 0 a 125 psi, fue necesario recurrir a otras fuentes con las cuales se pudieran realizar experimentos con un intervalo de presiones más elevado. Por la accesibilidad de adquisición y por las propiedades y características que tiene el gas Nitrógeno, se utilizó como fuente alterna de suministro de presión.

El Nitrógeno molecular es un gas incoloro, inodoro e insípido, de fórmula N₂ y que existe en un 74-78% en el aire atmosférico terrestre. De hecho, se trata de un elemento muy común en el universo. El nitrógeno es el séptimo elemento en abundancia de la Vía Láctea y el sistema

solar, y en la Tierra es el elemento más abundante en su forma molecular. En la Tabla 3-11 se muestran las características del recipiente contenedor.



Figura 3-12. Tanque de Nitrógeno

Tabla 3-11. Características de la fuente de presión de Nitrógeno

Fuente	Nitrógeno
Capacidad	2000 psi
Placa	77:27_37-9
Adquisición	Infra-CIVAC
No de placa	N2 No ONU=1066

Otro accesorio que se adquirió y que fue de gran relevancia fue un regulador de Nitrógeno. Esto fue necesario para reducir la presión del cilindro como fuente de Nitrógeno de 2000 psi. El regulador puede tener como alimentación de entrada 2000 psi, y como salida 0-400 psi. Este hecho permitió realizar experimentos en un amplio intervalo de presiones (0-220 psi), inclusive, se podrán realizar experimentos a mayores presiones de ser necesario, tomando en cuenta los aspectos de seguridad, de lo cual se explicará a continuación.

En la Figura 3-13 se muestra el recipiente de nitrógeno, el regulador de presión y el banco de ensayos experimentales.



(a)

(b)

Figura 3-13. Accesorio de la fuente de presión, a) Tanque de N₂, b) Regulador de presión

En la Tabla 3-12 se muestran las ventajas y desventajas del Prototipo V.

Tabla 3-12. Ventajas y desventajas del Prototipo V

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Todos los componentes son tipo industrial. ▪ Se disminuyó notablemente el volumen de la tubería, se eliminaron los niples y el 30 % del volumen de la cámara. ▪ La capacidad de la cámara es de 700 ml. ▪ El material de lo que están hechos los componentes son de acero galvanizado y acero inoxidable. ▪ La válvula de desfogue es de mayor diámetro equivalente a 2". ▪ El dispositivo se encuentra fijo sobre un banco de trabajo. ▪ Cuenta con una guarda de seguridad para mayor seguridad para el operario. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La extracción de la muestra es a través de la válvula de salida.

Un circuito neumático es la representación del cómo están conectadas las partes de cada sistema, se diseñó un circuito neumático que representara las conexiones principales del sistema, como se muestra en la Figura 3-14.

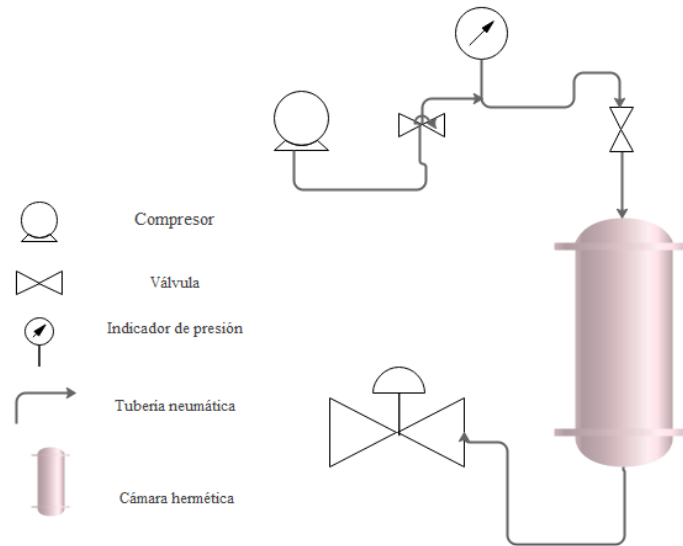


Figura 3-14. Circuito neumático

De la cámara neumática se realizó un análisis de cuánto aire a presión atmosférica se necesita para alcanzar la presión con las cuales se realizaron algunos de los experimentos, se encontró la relación de la presión de trabajo con el volumen de la cámara. Esto pudo ser posible al utilizar la ecuación de estado del gas ideal

$$PV = mRT \quad Ec (3.4)$$

En donde se realizaron los cálculos necesarios y determinar la relación entre el volumen de la cámara, la presión atmosférica y la presión de trabajo. La relación que se encontró entre estas propiedades y dimensiones fue de que se necesita 9.16 veces de aire a presión atmosférica respecto al volumen de la cámara.

Esto mismo también fue determinado por la ley de Boyle la cual establece **que la presión de un gas en un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente, cuando la temperatura es constante.**

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$\text{Ó} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad Ec (3.5)$$

De igual forma la relación que se encontró fue de 9.16 veces de aire a presión atmosférica respecto al volumen de la cámara.

3.4.3 Banco experimental.

El banco experimental para las pruebas contiene una estructura diseñada de tal forma que debe cumplir todas sus funciones con la mayor seguridad, tanto para el elemento (sistema neumático) como para el operario que supervisará y realizará los experimentos. El banco está compuesto por una serie de elementos que en conjunto aportan seguridad y funcionalidad, puesto que cuenta con una estructura fija, lo que permitió fijar el prototipo y agregar el sistema de apertura biomecánico. La estructura está formada por una mesa de metal con madera, ya que ofrecen gran soporte, para permitir la carga durante mucho tiempo, una tarima para evitar posibles deslizamientos de la mesa. Además, deben resistir bien los golpes sin fracturar la estructura.

La razón principal por la cual se consideró construir el banco experimental de pruebas, fue para poder realizar con mayor facilidad los experimentos. Los ensayos experimentales se realizaron en el Laboratorio de propiedades termo-físicas del edificio de la Unidad Académica No. I (Ing. Mecánica). En la Figura 3-15 se muestran las diferentes vistas de dicho banco experimental.



a) Vista frontal del banco de pruebas

b) Vista lateral del banco de pruebas

Figura 3-15. Banco de pruebas

3.4.4 Sistema de seguridad

Se diseñó y construyó una guarda de seguridad como protección para el operador, como para el dispositivo, ante algún posible accidente.

Se tomó en cuenta la norma *OSHA 1910 Subparte O* para la protección del operario y de la máquina, así como los requerimientos con los que deben de cumplir los equipos de seguridad. Para este caso fue una guarda de seguridad. La finalidad es evitar contacto entre la máquina y el operador. La guarda debe asegurar la manipulación de las muestras, no debe generar nuevos peligros, debe permitir la lubricación de las partes móviles y por último no debe interferir en el funcionamiento de la máquina.

Así mismo, la NORMA Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008 contempla los colores y la señalización de aspectos de seguridad e higiene, así como también permite la identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

Para el operario, como accesorios personales (ver Figura 3-16) que son de gran utilidad para realizar las acciones y manipulaciones de proceso, son necesarios los siguientes materiales para su protección.

- Guantes de algodón
- Goggles
- Lentes
- Tapones auditivos



Figura 3-15. Equipo de protección para el operario

Cabe mencionar que en durante el desarrollo de este proyecto de Tesis se ofertó un proyecto de residencia que tuvo por nombre “Diseño y construcción de un sistema de protección para

un dispositivo neumático de alta presión”. El proyecto fue desarrollado como proyecto de Residencias Profesionales por la alumna **Alondra Sánchez del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec**, de la carrera de Ingeniería Industrial.

Esto con la finalidad de cubrir la parte de seguridad recomendada en las normas. En las siguientes Figuras 3-17 y 3-18 se puede observar una ilustración que hace referencia al diseño y construcción de la guarda de seguridad mencionada.

La guarda de seguridad cuenta con las siguientes especificaciones técnicas. El material con el cual fue hecha la guarda es de acero inoxidable, una estructura tipo maya, broches de seguridad y reforzamientos en las orillas de cada una de las partes de la guarda de seguridad.

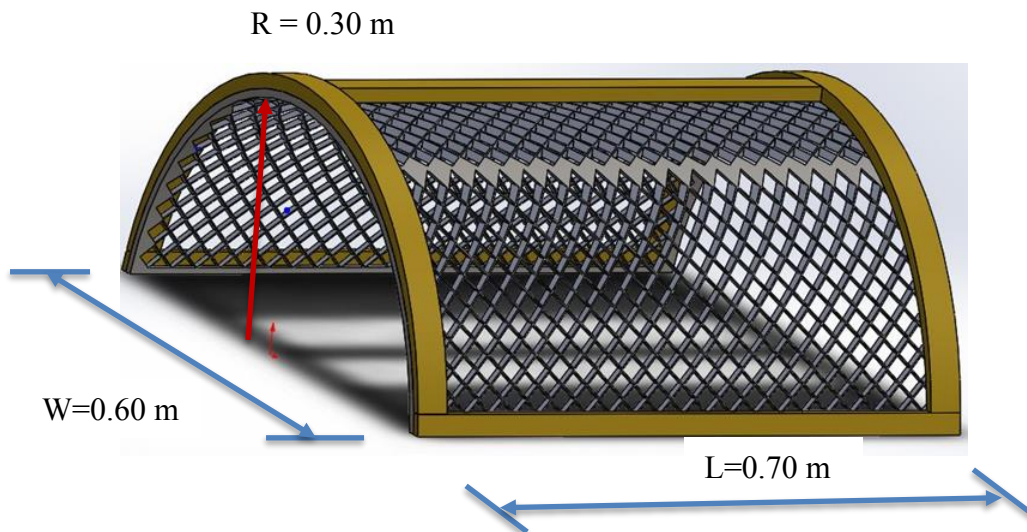


Figura 3-16. Modelado de la guarda de protección en SolidWorks



a) Vista frontal de guarda de protección



b) Vista lateral derecha de guarda de protección

Figura 3-18. Guarda de protección construida, en sus diferentes vistas

El banco de prueba en su conjunto se muestra en la Figura 3-19.



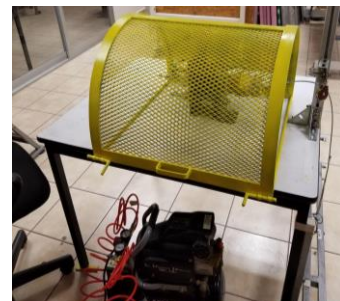
(a) Prototipo fijado en la mesa de trabajo



(b) Vista lateral del banco de trabajo



(c) Guarda de seguridad



(d) Guarda con prototipo en su interior



(e) Mesa de trabajo

Figura -19. Banco de pruebas

Para mejorar el mecanismo de apertura se analizó la posibilidad de utilizar un actuador neumático, con la finalidad de mejorar el tiempo de apertura y estandarizar la apertura. En este análisis se determinó el tipo de cilindro neumático, ya que estos ofrecen un movimiento rectilíneo y uniforme.

De acuerdo a lo estudiado, el cilindro recomendado para complementar el mecanismo de desfogue. Se requiere de un cilindro de doble efecto por cuestiones de seguridad, por el hecho de que el mecanismo que tienen este tipo de cilindro se requiere de doble aplicación de aire para realizar doble movimiento (avanzar y retroceder), de modo que se pueda evitar un impacto en el extremo.

En la Tabla 3-13 se muestran las especificaciones generales del cilindro que se requiere para mejorar el mecanismo, así mismo se mencionan sus características determinadas de acuerdo al estudio previo. Cilindro Neumático Doble Efecto (DAN)(ISO6431).

Tabla 3-13 Fuentes generadoras de presión

Tipo de Acción	Doble efecto
Fluido	Aire Comprimido
presión de trabajo (Mpa)	0.1 ~ 1.0
Velocidad de Operación (mm/s)	5~500
Temperatura Ambiente (°C)	-10 ~70
Puerto (G)	1/4"

En la Tabla 3-14 se muestran las características necesarias con las cuales debe contar el actuador neumático.

Tabla 3-14. Características del actuador neumático

Serie	Diámetro	Carrera	Opciones	Accesorios
DAN	50 mm	170 mm	Magnético	Oscilante hembra HC

Para poder realizar los ensayos experimentales fue necesario fijar el prototipo para una mejor manipulación del mismo.

En la Figura 2-20 se puede visualizar completamente el sistema neumático con sus dos fuentes de gas a presión (aire comprimido y Nitrógeno (N₂)). También se señalan las partes más resaltantes del sistema neumático.



Figura 3-20. Sistema neumático (Prototipo V)

En el *Anexo IV* se presenta el manual de operación del dispositivo neumático.

En el siguiente capítulo se presenta la metodología de operación que se utilizó para la separación de la semilla de su pericarpio.

Capítulo 4 . Resultados de ensayos experimentales

En este capítulo se muestra la metodología de operación del proceso, tanto del dispositivo neumático, como del proceso de descascarado de las semillas al interior del dispositivo. Se muestran los resultados experimentales realizados con las diferentes semillas utilizando distintas fuentes de presión, así como también las condiciones en las cuales se llevaron a cabo cada ensayo experimental. Es importante mencionar que el proceso de descascarado se llevó a cabo con una metodología que se determinó mediante la exploración en los ensayos experimentales. A continuación, se menciona en qué consiste esta metodología de operación.

4.1 Metodología de operación

Se estableció una metodología de operación que permitiera realizar los experimentos de manera adecuada y normalizada. Esta metodología incluye pasos de operación del dispositivo en diferentes tiempos, así como el proceso por el cual pasa la semilla al interior del dispositivo para poder ser separada de su parte envolvente, según sea el caso, pericarpio y/o endocarpio.

Esta metodología se puede explicar brevemente a través de siete pasos, los cuales a continuación se describen.

1. Se hace la carga de la semilla a la cámara que se desee descascarar.
2. Sellar la cámara.
3. Presurizar la cámara con el perfil que se desee hasta llegar a la presión máxima de trabajo.
4. Dejar el tiempo de equilibrio necesario, para que se igualen las presiones de la cámara y de la semilla que se encuentre en el interior, de tal forma que no haya un flujo de aire del interior de la cámara hacia el interior de la semilla.
5. Se realiza el desfogue con un mecanismo biomecánico o manual.
6. Abrir la cámara neumática
7. Obtener la muestra después del proceso

En la Figura 4-1 se muestra de manera esquemática el proceso de operación de esta metodología.

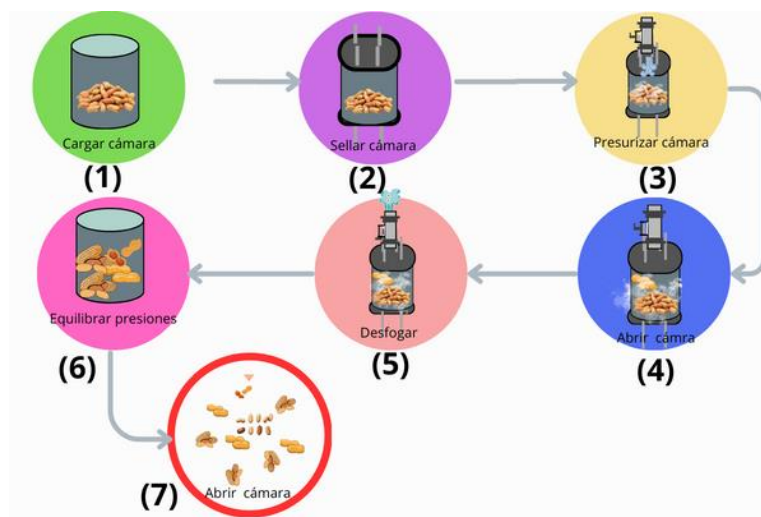


Figura 4-1. Proceso de obtención de la semilla

El proceso de descascarado se puede resumir mediante los siguientes 5 pasos o condiciones de trabajo: (1) primero, se introduce la nuez al interior de la cámara. En este momento la presión de la cámara (P_{cam}) es igual a la presión interna de la nuez (P_{nuez}), y esta a su vez, es igual a la presión atmosférica (P_{atm}), i.e.,

$$P_{cam} = P_{nuez} = P_{atm}.$$

El segundo paso (2) consiste en suministrar aire a la cámara a través de la válvula de entrada a una presión preestablecida, esto permite incrementar P_{cam} . Esta 2da condición de presión se puede expresar como,

$$P_{cam} > P_{nuez} = P_{atm}.$$

El tercer paso (3) consiste en alcanzar *condiciones de equilibrio* entre la presión de la cámara y la presión interna de la nuez, es decir,

$$P_{cam} = P_{nuez} > P_{atm}.$$

Durante el cuarto paso (4) se abre de manera abrupta la válvula de salida de aire, permitiendo que la presión de la cámara se desfogue e iguale con la presión atmosférica, quedando la nuez presurizada. La condición anterior se expresa como:

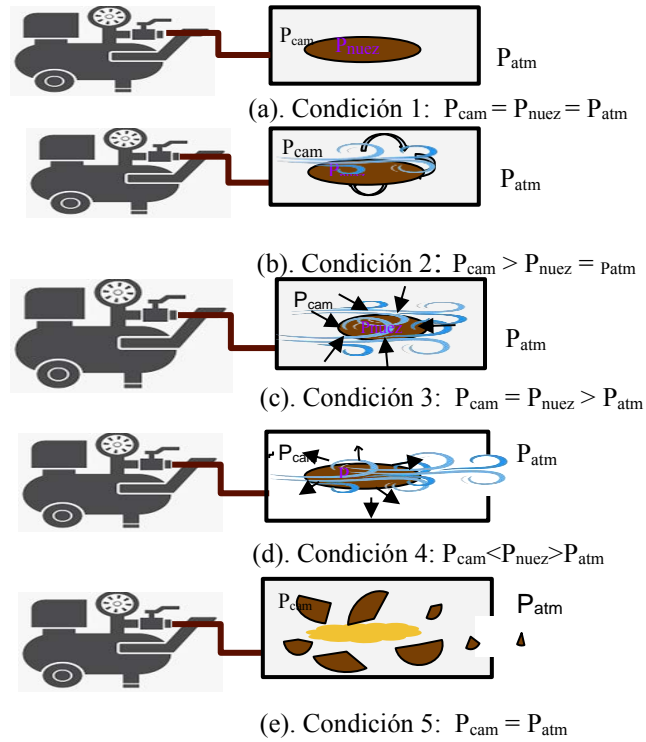
$$P_{cam} < P_{nuez} > P_{atm},$$

lo cual da como resultado la ruptura del endocarpio. El proceso termina en el quinto paso (5), en donde se igualan las presiones

$$P_{cam} = P_{atm},$$

y desaparece P_{nuez} .

En la Figura 4-2, se presenta de manera esquemática el sistema neumático y las condiciones de trabajo.



P_{atm} = Presión atmosférica
 P_{nuez} = Presión interna de la nuez
 P_{cam} = Presión de la cámara

Figura 4-2. Metodología de operación

4.2 Perfil de la presión

Se le llama perfil de la presión a la forma en la que es suministrada la presión a la cámara. Durante los experimentos el suministro de la presión se aplicó de dos formas, una fue de manera continua y la otra en forma de escalón. En los perfiles de aplicación se pueden localizar 3 zonas de tiempo muy importante. El tiempo de presurización, es aquel donde se introduce la presión a la cámara. El tiempo de equilibrio, es aquel donde la presión de la cámara y la presión de la nuez se igualan, por último, el desfogue, en este tiempo se lleva a cabo la apertura de la válvula de salida del aire. Como se puede observar en la Figura 4-3 los perfiles suministrados y su tiempo de equilibrio de cada uno.

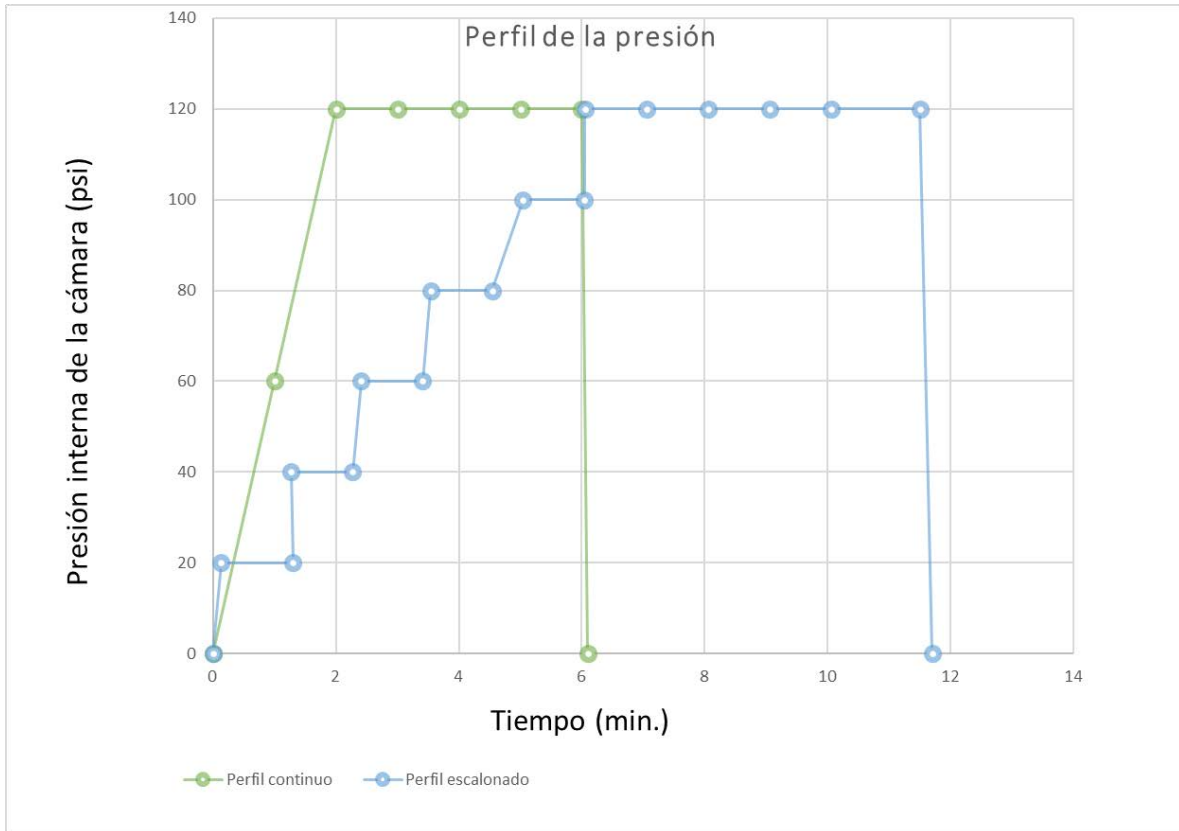


Figura 4-3. Perfiles de la presión aplicados a la cámara

4.3 Representación de los perfiles de presión.

Para representar el perfil de suministro de presión aplicado a la cámara se utilizó el modelo matemático representativo de la ecuación de la recta. La ecuación de la recta se puede expresar a partir de su forma pendiente ordenada al origen $f(x) = mx + b$, y/o a partir de la forma punto pendiente $y - y_1 = m(x - x_1)$. Se determinaron los valores e intervalos de cada una de las rectas que conforman el proceso. Para el perfil de presión continua se muestran las ecuaciones correspondientes, Ecuaciones 4.1-4.3.

$$P(t) = 60t \quad \text{para } 0 \leq t < 2.000 \quad (4.1)$$

$$P(t) = 120 \quad \text{para } 2 \leq t < 6.000 \quad (4.2)$$

$$P(t) = -780t \quad \text{para } 6 \leq t < 6.166 \quad (4.3)$$

Donde $P(t)$ es la presión manométrica suministrada a la cámara en psi, y (t) es el tiempo expresado en minutos.

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos experimentales que se realizaron con las diferentes semillas y las diferentes fuentes de presión.

4.4 Ensayos experimentales con aire comprimido

En el capítulo anterior se presentaron las dos fuentes de presión que fueron adquiridas y que se utilizaron para el desarrollo de los experimentos. Durante los experimentos que se presentan a continuación se usó aire comprimido como fluido de trabajo. Se usaron los compresores Mod. NCA-200 psi y el Mod. Husky-395226-200 psi, y utilizó el prototipo IV.

4.4.1 Ensayos con semillas de cacahuates

Los primeros experimentos que se realizaron fueron con semillas de cacahuates de la variedad runner. Se hicieron un total de 39 experimentos bajo diferentes criterios de operación, es decir, diferentes valores de presión de suministro de aire y de tiempo de equilibrio. También se tomó en cuenta el lugar de procedencia de las semillas, entre otros aspectos.

Los lugares de procedencia son los estados de Morelos y Guerrero. Para cada experimento realizado se tomaron en cuenta diferentes criterios, como la calidad en la que se encontraba la semilla del cacahuete, en algunos casos también el número de semillas que contenía la vaina.

En la Tabla 4-1 se muestran los resultados de los experimentos realizados con el prototipo IV y las condiciones a las cuales fueron sometidas las diferentes muestras.

Tabla 4-1 Experimentos con cacahuates de Xoxocotla Mor.

No.pzas	P. T.Max	Colapsadas	Agrietadas	s/c	R. semilla	T.P.
3	30	1	0	2	----	10
5	40	1	1	3	entera	10
4	40	1	3	0	mitad	5
6	45	1	3	2	entera: 1 mitad:	4
6	46	2	2	2	entera: 3 mitad: 3	4
14	60	1	10	3	mitad	40 s
15	70	0	12	3	---	1 min
20	80	4	13	3	entera 5 mitad 3	2 min

En donde

- Semilla/oleaginosa, corresponde al tipo de la semilla, en este caso el cacahuete.
- No. Pzas, es el número de semillas con las que se hizo el experimento
- P.T. Max, el valor de la presión máximo con la que se hizo el experimento
- Colapsados, semillas que fueron completamente o casi separadas de la cascara que la envuelve.
- Agrietadas, semillas que sufrieron algún cambio en su cascara o envoltura
- S/C, son semillas que no sufrieron cambio en su endocarpio mediante el proceso
- TP, es igual al tiempo de presurización.

Los resultados de estos experimentos muestran que la semilla después de pasar por el proceso de descascarado se puede encontrar en diferentes condiciones o estados, como entera o dividida en dos partes, a medida que se aumentó la presión de suministro de la cámara.

Para los siguientes experimentos se tomó una muestra de 250 gr de cacahuates de la misma procedencia anterior. La muestra anterior contiene cacahuates en diferentes estados, es decir, cacahuates con agujeros, cacahuates agrietados, entre otras deformidades de su pericarpio.

En la Tabla 4-2 se muestra la clasificación de los cacahuates. Así como también las condiciones a las que fueron sometidos y los resultados obtenidos en los diferentes experimentos.

Tabla 4-2 Ensayos experimentales con cacahuates que tienen afectaciones en su pericarpio, Xoxocotla Morelos

No. semillas	Tipo	Características	P. T. Max (psi)	Colapsados	Agrietado	S/C	T.P(min)
1	A	Son cacahuates con agujeros muy grandes	40	0	2	13	3
1	C	Grietas separadas	50	2	1		10
3	A	3 buenos de 3 semillas	50	1	1	1	10
3	B	3 buenos de 2 semillas	50	1	1	1	10
3	C	3 buenos de 1 semilla	50	1	0	2	10
2	B	al menos un orificio3	50	1	1	4	10

Mediante estos experimentos, se puede determinar o tener una visión de los posibles resultados. Los cacahuates que son previamente afectados, no tienen resultados significativos mediante la aplicación de este método.

En el siguiente experimento se tomó en cuenta la clasificación anterior de los cacahuates con la presión de la cámara que se indica en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Ensayos con Cacahuates afectados de acuerdo al número de semillas que contiene, Xoxocotla Morelos

No. de Semilla	Clase	No de pzas	P. cámara (psi)	T. de presurización (seg)	Resultados		
					Colapsados	Agrietados	S/C
3	A	3	60	40	0	3	0
2	B	2	60	40	1		1
3-2	A	3	60	40	0	2	1
3	B	2	60	40	0	2	0
2	B	4	60	40	0	3	1

Donde A= es agrietado y B= bueno

De igual manera, se puede observar que los cacahuates que son previamente afectados por otras situaciones, mediante la aplicación de este proceso, no tiene algún cambio significativo en su pericarpio.

Para el experimento de la Tabla 4-4, se agruparon muestras de acuerdo con el número de semillas que contenía la vaina, ya sea de 1 semilla y dos semillas.

Tabla 4-4. Ensayos con cacahuates que se encontraban en buenas condiciones y clasificados de acuerdo al número de semillas, Xoxocotla, Morelos

No. de pza.	No. Semilla	P. cámara (psi)	T. de equilibrio (min)	Resultado		
				Colapsado	Agrietado	S/C
15	1 semilla	95	5	5	6	4
21	2 semillas	95	5	1	13	7
15	2 semillas	95	5	2	11	2
29	variado	95	5	3	20	6
20	variado	95	5	3	16	1
20	variado	95	5	0	17	3

Como resultado de estos experimentos se puede observar que los cacahuates de 1 semilla son más afectados a los cambios de presión y los cacahuates de 2 semillas presentan mayores afectaciones, es decir se tiene un mayor número de cacahuates agrietados y colapsados.

El siguiente experimento fue con cacahuates que fueron adquiridos en Ometepec, Guerrero, la variedad *runner*, pero con diferentes características físicas, y mecánicas. En la Tabla 4-5 se

muestran los ensayos que se realizaron por la cantidad de semilla que contenía la vaina de una y dos semillas.

Tabla 4-5. Ensayos con cacahuates de procedencia de Ometepec, Guerrero

N. pza.	No. semillas	P. cámara (psi)	T. equilibrio	Colapsado	Agrietado	S/C
15	1	95	5	7	0	8
15	2	95	5	5	9	1

Los cacahuates que tienen una semilla colapsaron el 50 % y el 50 % restante no sufrió cambio alguno en su pericarpio. Los cacahuates de 2 semillas colapsaron un 33 %, el (60%) sufrió cambios en su pericarpio (grietas) y el resto (7 %) no sufrió cambio alguno.

A continuación, se muestran algunas imágenes con las semillas después del proceso (Figuras 4-1 a-f). Se puede observar semillas completamente colapsadas, agrietadas y algunas sin cambio en su pericarpio

En donde

- No. pzas, es el número de semillas en el experimento
- Pmax = el valor de la presión máximo con la que se hizo el experimento
- C = Colapsados, semillas que fueron completamente o casi separadas de la cáscara que la envuelve.
- A = Agrietados, semillas que sufrieron algún cambio en su cáscara o envoltura
- S/C = Son semillas que no sufrieron cambio en su endocarpio mediante el proceso
- T.E. = Tiempo que se deja en reposo la semilla en el interior de la cámara para que se equilibren las presiones de las dos zonas.

Se revisaron cuidadosamente las condiciones en las que se encuentra la semilla después del proceso de descascarado. Los resultados de estos experimentos muestran que la semilla después de pasar por el proceso de descascarado se puede encontrar en diferentes condiciones o estados, como entera o dividida en dos partes. A medida que se aumentó la presión de suministro de la cámara, se pudo observar un aumento en el número de cacahuates agrietados. La Figura 4-4 muestra el estado de una semilla después del proceso.



a) Semilla entera después del proceso



b) semilla con envoltorio rojizo

Figura 4-4. Estado en el que se puede encontrar una semilla después del proceso de descascarado

Se pudo observar que los cacahuates de una semilla son menos susceptibles a los cambios de presión y los cacahuates de dos semillas presentan mayores afectaciones, es decir, se tiene un mayor número de cacahuates agrietados y colapsados.

Para el caso de los experimentos con cacahuates de Ometepec, Guerrero, los que tienen una semilla colapsaron el 50 %, mientras que el 50 % restante no sufrió cambio alguno en su pericarpio. Los cacahuates de dos semillas colapsaron un 33 %, el 60% sufrió cambios en su pericarpio (grietas) y el resto 7 % no sufrió cambio alguno. En la Figura 4-5 se muestran las imágenes correspondientes.



a) Experimentos con cacahuates de Ometepec, Gro.



b) Experimento con cacahuates de Mor.



c) Muestra de cacahuates después del proceso



d) Muestra procesada

Figura 4-5. Cacahuates procesados

Los cacahuates que presentan afectaciones por el diferencial de presión, como la provocación del colapso o grietas, presentaron pérdida de pericarpio superficial como se muestra en la Figuras 4-6.



a) Cacahuete agrietado con pérdida de pericarpio



b) Cacahuete agrietado

Figura 4-6. Cacahuates con pérdidas de pericarpio superficial

4.4.2 Ensayos con otros productos agrícolas

Con la finalidad de observar el comportamiento de este método aplicado a otra variedad de semillas, se llevaron a cabo otros ensayos experimentales con otros productos agrícolas, y de esta manera no descartar la posibilidad de aplicar dicho método. En la Tabla 4-6 se muestran los resultados obtenidos de los diferentes experimentos con diferentes productos agrícolas como el tamarindo, chícharo, haba y chile cascabel. Estos productos fueron seleccionados por dos características esenciales que tienen en común: la primera es que, para obtener el producto comestible, se requiere de una separación de la cáscara y la segunda es que existe una

separación entre la parte comestible y la cáscara. Esta medida fue sumamente relevante, dado que dicha área de separación se convierte en un área de trabajo al momento de aplicar el método descrito y utilizado en esta tesis.

Tabla 4-6. Resultado de experimentos con diferentes productos agrícolas

Producto agrícola	P. cámara (PSI)	T. Equilibrio (min)	Colapsados	Agrietados	S/C
Tamarindo (10 pzas.)	90	5	6	1	3
Chicharo (12 pzas.)	90	5	8	2	2
Haba (10 pzas.)	90	5	7	3	1
Chile cascabel (8 pzas.)	90	5	5	2	0
Nuez de castilla (2)	200	10	2	0	0

Los experimentos realizados con los dichos productos agrícolas mostraron que el producto donde se tuvo mejor éxito fue con el chile cascabel debido por una parte a que su cáscara es más delgada y por otra debido al bajo porcentaje de humedad de la muestra. En los otros productos, debido al concentrado de agua que tienen en su cáscara, no se logra una separación por completo entre la cáscara y la semilla. En la Figura 4-7 se pueden observar algunas imágenes de los productos agrícolas.



a) Muestra de productos procesados



b) Productos procesados



c) Chile cascabel



d) Tamarindo procesado



e) Haba procesada



f) Chicharo procesado

Figura 4-7 Resultado de los experimentos con otros productos agrícolas

4.4.3 Experimentos con Nuez Pecana

La primera población de nueces con la que se realizaron los experimentos, fue adquirida en el Mercado municipal de Cuernavaca, Morelos, con procedencia del estado de Hidalgo. Como fuente de suministro de presión aire se utilizó el compresor No. 4, el cual fue descrito en el capítulo 3. Estas nueces fueron sometidas a diferentes temperaturas con la finalidad de encontrar algún efecto positivo a la hora de aplicar el método de diferencial de presión. En la Tabla 4-7 se muestran los resultados de los experimentos y las condiciones en las que se llevaron a cabo cada uno.

Tabla 4-7. Experimento con nuez pecana del estado de Hidalgo.

No. Experimento	Condición	Presión (PSI)	Resultado
1.	-14 °C /48 h	90	Sin efectos favorables
2.	250° C/ 3 min	90	Sin efectos favorables
3.	Remojada/ 5 min	90	Sin efectos favorables
4.	Hervida/ 5 min.	90	Sin efectos favorables
5.	Expuesta al sol/ 3 días	90	Sin efectos favorables
6.	Temperatura ambiente	110	Colapso
7.	Temperatura ambiente	120	Colapso

Los siguientes experimentos fueron realizados con nueces de procedencia del estado de Puebla. En la Tabla 4-8 se muestran las condiciones con las cuales se llevaron a cabo los experimentos y los resultados que se obtuvieron.

Tabla 4-8. Nueces de procedencia del estado de Puebla y Morelos

No. de piezas	Origen	T. de equilibrio	P. Cámara (psi)	Resultados		
				Colapsados	Agrietados	S/C
10	Mor.	11	120	1	5	5
10	Mor.	10	110	0	4	6
10	Mor.	5	120	2	4	4
5	Puebla	5	110	1	2	2
5	Puebla	10	110	2	2	1
10	Puebla	5	120	2	5	3
10	Puebla	10	120	4	3	3
10	Puebla	10	120	4	3	3

En la Figura 4-8 se muestran las imágenes del estado del producto después del proceso durante los experimentos que se realizaron con las nueces de diferentes procedencias. Se utilizó la misma variedad pecana, donde se pueden observar, semillas descascaradas, endocarpios agrietados y endocarpios que no sufrieron cambios.



a) Nueces en el interior de la cámara

b) Nuez colapsada

c) Nueces y cacahuates procesados



d) Nueces con endocarpio agrietado

e) Semilla entera

f) Muestra de nueces después del proceso

Figura 4-8. Resultado de las nueces procesadas

A continuación, se presenta la segunda parte de los experimentos en dónde se utilizó otra fuente de presión. El fluido de trabajo que se utilizó fue Nitrógeno (N), así como la variedad de nuez pecana “navideña” con origen del estado de Puebla (nuez pecana cáscara de papel). Así mismo se realizaron experimentos con nueces del estado de Hidalgo y Puebla.

4.5 Experimentos realizados con Nitrógeno

Se utilizó otra fuente de aire comprimido, debido a las restricciones que hay para adquirir una fuente de aire comprimido con intervalo alto de presión de trabajo.

4.5.1 Perfil de la presión con Nitrógeno

Con base a los resultados anteriores de los experimentos y con la finalidad de mejorar los resultados, se suministró un nuevo perfil de aplicación de la presión a la cámara con el gas Nitrógeno. Se aumentó gradualmente la presión máxima de trabajo hasta 220 psi, así mismo se aumentó el tiempo de equilibrio entre los escalones a 5 minutos y un aumento regulado de la presión mediante un minuto. En la Figura 4-9 se puede observar el perfil de la presión con la presión máxima de trabajo, así mismo se puede visualizar el tiempo total que dura la prueba experimental.

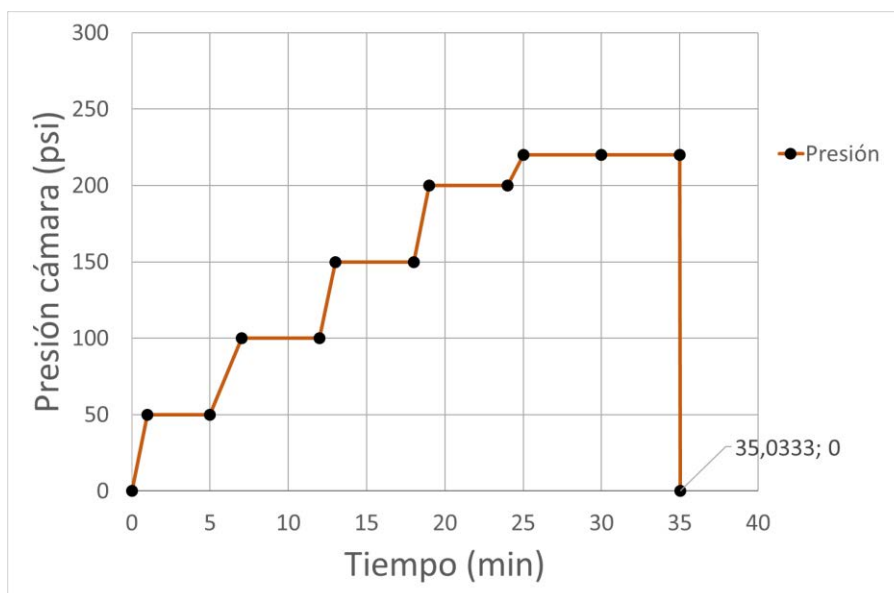


Figura 4-9. Perfil de la presión para el Nitrógeno

El tiempo que dura el experimento puede cambiar con base a la presión de trabajo máxima que se quiere realizar el experimento.

4.5.2 Experimentos con nueces

En la Tabla 4-9 se muestran los experimentos hechos con Nitrógeno, con nueces del primer lote que fue adquirido en mayo, son nueces que en los experimentos anteriores no sufrieron ningún cambio en su endocarpio y algunas que son del segundo lote, de la variedad navideña adquirido en el estado de Puebla. En el *Anexo IV* se encuentran los formatos que se utilizaron para realizar la clasificación previa de cada una de las nueces con base en su tamaño.

Tabla 4-9. Experimentos de nueces realizados con Nitrógeno

No Exp.	No pzas.	Tamaño	Semilla	Δp (psi)	Δt (min)	Tiempo Equilibrio	P.max (psi)	Resultados		
								C	A	S/C
1	3	Ch	Pecana	50	3	10	150	0	0	3
2	3	Ch	Navideña	50	3	10	150	0	2	1
3	5	Ch	Pecana	50	5	10	175	4	0	1
4	5	Ch	Pecana	50	5	10	180	2	1	2
5	5	Ch	Pecana	50	5	10	185	5	0	0
6	5	M	Pecana	50	5	10	185	2	0	3
7	5	M	pecana	50	5	14	190	3	0	2
8	5	M	Pecana	50	5	12	200	2	3	0
9	3	Ch	Pecana	50	5	10	200	3	0	0
10	5	M	Pecana	50	5	12	220	4	0	1
11	5	G	Pecana	50	5	12	200	4	0	1
12	5	G	Pecana	50	5	10	190	4	1	0
13	5	Ch	Pecana	50	5	10	190	1	3	1
14	5	Ch	Navideña	50	5	10	200	3	2	0
15	5	Ch	Navideña	50	5	10	220	4	1	0



g) Nuez navideña procesada

d) Nuez en el interior de la cámara

i) Nuez pecana regular

Figura 4-10. Nueces procesadas



a) Clasificación de nuez tamaño chico

b) Nueces tamaño grande

c) Nueces tamaño mediano



d) Nueces poblanas Medianas

e) Nueces poblanas grandes

f) Nueces poblanas en el interior de un costalito

Figura 4-11. Clasificación de nueces de acuerdo a sus dimensiones

En las Figuras 4-10 y 4-11 se muestran los resultados de los experimentos descritos en la tabla 4.9. La Figura 4-12 muestran las nueces ya procesadas.



a) Experimento 7



b) Experimento 8



c) Experimento 9



d) Experimento 10



e) Experimento 11



f) Experimento 12



g1) Muestra de nueces procesadas



g2) Muestra procesada



g3) Muestra procesada

Figura 4-12. Resultados de las nueces procesadas

Un punto importante que se tomó en cuenta para realizar los experimentos, fue una clasificación previa de la población de nueces de acuerdo a su tamaño, como grande, mediana y chica. También se pueden visualizar muchas áreas de oportunidad en dónde se puede mejorar el proceso.

4.6 Análisis de resultados

Con respecto al proceso de descascarado de los cacahuates, los porcentajes que colapsan es relativamente bajo. Los cacahuates adquiridos en el estado de Morelos, en promedio colapsaron el 18 %, se agrietan cerca del 60% y el resto 27% no les sucede nada. La presión de trabajo que se usó fue de 90 psi. Para el caso de los cacahuates de Ometepec, Gro. Colapsaron el 50%. Las características físicas permitieron que haya un mayor número de cacahuates colapsados y agrietados. En la Figura 4-13 se pueden observar de manera representativa los resultados de los experimentos con cacahuates y nueces

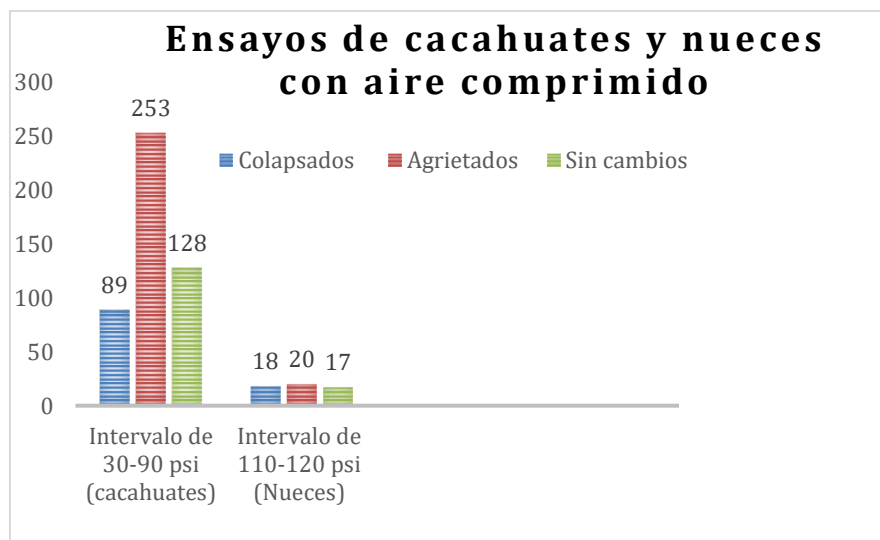


Figura 4-13. Resultados de los ensayos de cacahuates y nueces con aire comprimido

Respecto a los resultados de los experimentos realizados con nueces, el análisis es el siguiente: Trabajar con presiones menores a 100 psi, no permitió ver algún efecto en el endocarpio de la nuez. Sin embargo, al aumentar la presión a valores de 110 -120 psi se comienzan a ver efectos en el endocarpio, como son el colapso en algunos casos, y el agrietamiento en otros. El porcentaje de nueces colapsadas es relativamente bajo, y queda un alto porcentaje de nueces que no sufren cambio alguno en el proceso de descascarado.

Cuando se aumentó la presión a 150 psi (usando nitrógeno), se pudieron visualizar un aumento en nueces agrietadas y colapsadas, pero aún quedan nueces sin cambios en su endocarpio. El aumento de la presión a 175 psi aumentó a 80% el número de colapsadas, siendo el 20% de nueces sin cambios para el tamaño chico que fue con el que se realizaron experimentos a esta presión. Con 185 psi para el tamaño chico, se tuvo un 100% de nueces colapsadas. Para el tamaño mediano se tuvo un 40% de nueces colapsadas y 60% sin efecto en su endocarpio. La presión de trabajo de 190 psi para el tamaño mediano da como resultado un 60% de piezas colapsadas y el 40% sin cambios en su endocarpio. Con esta misma presión, pero para el tamaño grande, se obtuvo un 80% de nueces colapsadas y el 20% de nueces agrietadas. Para el caso de 200 psi, y el tamaño grande de nueces, se obtuvo un 80% de nueces colapsadas y un 20% de nueces. En la Figura 4-14 se pueden observar los resultados que se obtuvieron con nitrógeno en el intervalo de presión de trabajo de 150-220 psi.

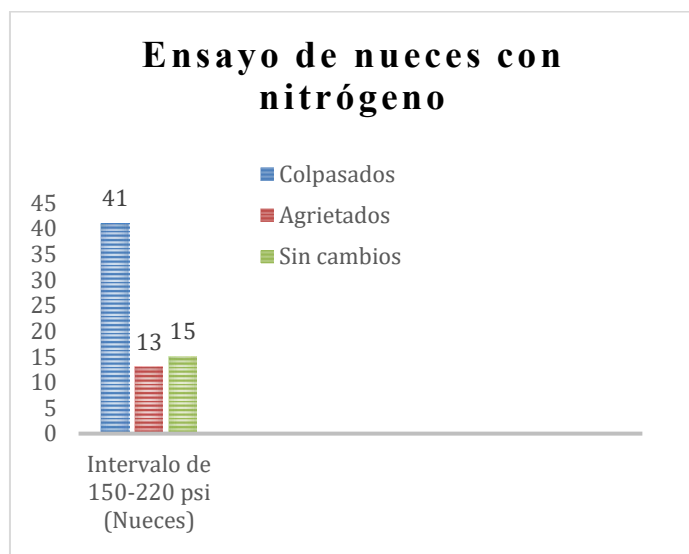


Figura. 4-14. Resultados de ensayos de nueces con nitrógeno

Los resultados de los experimentos prometen gran futuro para la técnica aplicada en esta Tesis, debido a que se lograron resultados favorables de acuerdo a la presión de trabajo que se realizaron los experimentos, con base a lo anterior se cree que si se aumenta la presión se puede lograr un resultado más favorable. Otra de las cosas que se pudieron observar es que la semilla es afectada, ya que la fuerza actúa en todas las partes de la misma. También se observó que la vaina del cacahuete es afectada con grietas o pérdida de pericarpio superficial en el momento que por la dureza de la cáscara no hay un colapso. Debido al aumento de presión que se efectuó para los últimos experimentos con nueces y cacahuates, se logró ver que a partir de 110 PSI ya se comienzan a observar efectos en las nueces como el colapso del 40 % de las nueces que son sometidas a esa presión y un 60 % de nueces afectadas en total. Así mismo, disminuye el

número de cacahuates que anteriormente quedaban sin efecto alguno y aumenta el número de cacahuates agrietados.

4.7 Determinación de parámetros

Con base en los experimentos hechos a lo largo de este proyecto se han podido determinar los parámetros que se consideran de gran importancia, los cuales se deben de tomar en cuenta para cualquier semilla o producto que se le requiera aplicar la técnica de *diferencial de presión*.

A continuación, se numeran los parámetros de acuerdo a la importancia que tienen:

1. Espacio de separación entre la semilla y la cáscara.
2. Volumen del aire, que se encuentra en el interior de la semilla.
3. Porosidad de la cáscara.
4. Humedad que contiene la cáscara (se recomienda que sea un fruto seco).
4. Espesor de la cáscara al igual que el parámetro anterior hablando de la cáscara.
5. Forma del fruto como tal al cual se le quiere aplicar la técnica.
6. Tiempo de presurización, este va a depender de los parámetros anteriormente mencionados, es el tiempo al cual se someterá la semilla de acuerdo a la presión que haya sido determinada.
7. Presión del fluido de trabajo, es la presión a la cual se someterá la semilla, esto dependerá del tipo de semilla y sus características propias.

La determinación de los parámetros anteriores servirá de guía para futuros experimentos con otro tipo de semilla o frutos del que se quiera obtener el fruto comestible de la misma manera.

En el siguiente capítulo se presentarán las conclusiones generales de este trabajo de investigación.

Capítulo 5 . Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se presentan las conclusiones y recomendaciones más relevantes del trabajo de investigación. Las recomendaciones hechas son con respecto al uso y manejo de prototipo, así como obligaciones para el operario.

La separación de la semilla de su pericarpio se llevó a cabo con diferentes frutos secos, como fueron las nueces, los cacahuates y otros productos agrícolas. En todos los casos se pudieron observar efectos favorables. Para el caso de la nuez pecana se pudo llevar a cabo la separación de la semilla de su endocarpio por medios neumáticos al 100%.

5.2 Conclusiones

Cuando la semilla de la nuez se sometió a 110 y 120 psi de presión con aire comprimido, se comenzaron a ver resultados favorables, es decir, semillas colapsadas y agrietadas. Se presentaron casos de semillas de nuez que no sufrían cambio alguno en su endocarpio a ese valor de presión. Sin embargo, al aumentar la presión de suministro, usando Nitrógeno como fluido de trabajo, se obtuvieron resultados más favorables. Esto sucedió entre una presión de 150 a 220 psi. Para el caso de las nueces del tamaño chico, se tuvo el 100% de nueces colapsadas con 200 psi. Respecto al tamaño mediano, el 80% de nueces colapsaron y 20% se agrietaron, para una presión a 220 psi. Para el tamaño grande, con 200 psi se obtuvo el 80% de nueces colapsadas y el 20% agrietadas.

En lo que respecta a la variedad Navideña de las nueces, los experimentos realizados a 150 psi, no sufrieron cambios en su endocarpio, sin embargo, a 200 psi se obtuvo un 60% de nueces colapsadas y 40% de nueces agrietadas. Cuando la presión se aumentó a las 220 psi se obtuvo un 80% de nueces colapsadas y 20% de nueces agrietadas.

Para los experimentos con semillas de cacahuete, se comenzaron a tener resultados favorables, es decir, cacahuates, colapsos o agrietamientos, desde una presión de 30 psi. Y conforme se fue aumentando la presión hasta 90 psi, el número de cacahuates colapsados y agrietados, fue aumentando hasta un 60%. Lo anterior para las muestras de cacahuates procedentes de Ometepec, Guerrero.

Para los casos de usar otros productos agrícolas, como el haba y el chícharo, se comenzaron a tener resultados favorables a una presión de 90 psi. Respecto al chile cascabel, el resultado fue satisfactorio con 100% de piezas afectadas, para la misma presión de 90 psi.

Para el caso de las nueces pecanas, se observó que con esta técnica de aplicar un diferencial de presiones se ve afectado el núcleo, en el sentido de que se obtienen núcleos con fracturas o mermas, para presiones de trabajo que sobrepasan cierto límite de presión. En otras palabras, la técnica utilizada es efectiva en el sentido que se pueden colapsar al 100% las nueces, independientemente del tamaño de que se trate, sin embargo, las fracturas del núcleo o mermas son considerables. Este proceso abre una ventana de investigación, debido que, hasta el

momento, no ha sido posible obtener un 100 % en el colapso y una calidad del 100% en el núcleo. Lo que sí fue posible, es suministrar una presión inferior a las 220 psi, pero suficiente para agrietar al 100% de las cáscaras de las semillas, cuidando que el núcleo permanezca casi intacto. Esto garantiza una alta calidad en el producto final con un mínimo de merma, mediante un preproceso para terminar de retirar la cáscara de la nuez.

5.2.1 Alcances y Limitaciones del prototipo

El prototipo diseñado y construido en este proyecto de Tesis, tiene la capacidad de trabajar a altas presiones como límite 2090 psi con base al diseño recomendado por el código ASME. Esta capacidad de trabajo da margen para realizar experimentos con nueces que requieren de más presión para fracturar o romper el endocarpio como es el caso de la macadamia. También tiene la capacidad de trabajar con diferentes fluidos como Nitrógeno y Aire comprimido. Sin embargo, el número de muestras que se pueden introducir a este no debe ser mayor a 300 gr. Nueces y de cacahuete a 250 gr.

5.2.2 Aportaciones

El aporte de este proyecto es tecnológico para mejorar el proceso de descascarado de la nuez, así como se desarrolló una metodología de operación y el análisis de los datos de todos los experimentos que fueron realizados. Así como el conocimiento en que frutos o legumbres puede funcionar mejor este método.

5.3 Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones corresponden al uso del dispositivo y las semillas con las que se pueden realizar los experimentos.

- I. Se recomienda hacer experimentos los frutos secos y cáscara quebradiza.
- II. Para el caso de la nuez, someterla a más de 110 psi para tener más facilidad de obtener el grano.

5.4 Trabajos futuros

- I. Mejorar el diseño para tener más facilidad de introducir y sacar las muestras.
- II. Automatizar todo el proceso de descascarado que va desde encender el compresor en caso de que se utilice, así como ir aumentando la presión de acuerdo a los tiempos establecidos en los perfiles aplicados a la cámara.

Referencias

- Dumitru, I., Nenciu, F., Vladuț, V., Voicea, I., Oprescu, R., Teliban, G. C., & Grădilă, M. (2022). Equipment and technologies used in walnut processing. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 20(2), 131-137.
- Hassan, MHA y Geasa, MM (2021). Una investigación de las propiedades de ingeniería de las vainas y granos de maní relacionadas con el diseño de máquinas poscosecha. *Revista Archivos de Ciencias Agrícolas*, 4 (3), 143-159.
- a, I. A.-V., & J.V. M'endez-M'endez a, e. a. (2022). Effect of calcium oxalate crystals on the micromechanical properties of. *Plant Physiology and Biochemistry*, 249-254.
- A, M., P, M., M, K. y U, K. (2020). Máquina peladora y descascaradora de maní. *Revista internacional de investigación sobre Advanced Science Hub*, 2 (6), 136-139. doi: 10.47392/irjash.2020.51
- Adanelly Ávila Arce, D. d. (22 de junio de 2020).
- Ávila Arce, A., Gonzalez Milan, D., Montañó Mendez, I. E., & Vizcaino Villareal, L. A. (2020). Análisis de la competitividad y comercialización de nuez pecanera mexicana en el mercado internacional. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 11(4), 895–904. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2292>
- ADETOLA, O., AKINNIYI, O. y OLUKUNLE, E. (2022). Estudio comparativo de las máquinas descascaradoras de maní desarrolladas. *Revista turca de investigación en ingeniería agrícola*, 3(2), 380-396. <https://doi.org/10.46592/turkager.1116725>
- Adrián , O. T., Laura Berenice , F. T., Ramón Gerardo , G. G., Enrique , R. G., & Genaro Martín, S. Z. (octubre-2021). Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.
- Arbore, L. N., Marino, R. A., & Requena, C. E. (s.f.), *Los 40 principios de inventiva de TRIZ : metodologías para el desarrollo de la creatividad en Ingeniería.*, Buenos Aires, ARGENTINA. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1Ynxn4xY-S_UYTN3gAWqmODtcNhaQCGP2/view?usp=sharing
- Arce, j. (2021). chimeneas solares . *energy*, 12-14.

- Raghtate, A. S., & Handa, C. C. (2014). Design and fabrication of groundnut sheller machine. *IJIRST-International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1(7).
- Sánchez Astete, V. Y. (2019). Caracterización microestructural y mecánica de cáscaras de semillas chilenas.
- Bernik, R., Stajniko, D. y Lakota, M. (2009). El impacto de la vaporización en la trituración de nueces (*Juglans regia* L.). *Pomologia Croatica: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva*, 15 (1-2), 15-26.Br.
- Huaman Lucero, J. C. (2019). Diseño de una máquina peladora de maní con capacidad de 500kg/h para la empresa RAFAIN SAC.
- Cacahuete tipos y variedades*. (s.f.). Obtenido de Frutas y Hortalizas : <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Tipos-variedades-Cacahuete.html>
- calero*. (06 de octubre de 2020). Obtenido de Partidora de Almendras Industrial: cómo funciona - Blog Calero -: <https://www.calero-group.com/partidora-almendras-industrial/>
- Castillo, I. O., Sangerman-Jarquín, D. M., Hernández, M. F., Vázquez, C. V., & Robles, M. A. (2019). Producción y comercialización de nuez pecanera (*Carya illinoensis* Koch) en el norte de Coahuila, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 1797-1808. doi:10.29312/REMEXCA.V4I3.1207
- Chamorro, V. C. (s.f.). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3755/1/04%20MEC%20044%20Art%C3%ADculo%20Cient%C3%ADfico.pdf
- Chegini, G., & Makarichian, A. (2013). Diseño y construcción de una peladora de nueces . *ISSN*.
- Corbella, M. J. (Mayo 1 2008). Frutos secos. Análisis de sus beneficios para la salud. *ÁMBITO FARMACÉUTICO nutrición*, 27, 100-107.
- Dening Pablo Agustín, P. A. (2017). Máquina Descascaradora de Nuez Tipo Pecán”.
- Dening, P. A., & Peralta, A. J. (28 de 08 de 2017). *UTN - RIA - Máquina descascaradora de nuez tipo pecán*. Obtenido de <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/2151>

- Descaradora neumática y cámara PCA-10 | Agromay.* (s.f.). Obtenido de AGROMAY: <https://agromay.es/producto/descascaradora-neumatica-y-camara-hr10-dde/>
- Devora mancha urbana cultivos de cacahuete en Xoxocotla.* (26 de 06 de 2016). Obtenido de Panaroma Agrario: <https://panoramaagrario.com/2016/06/devora-mancha-urbana-cultivos-cacahuete-enxoxocotla/#:~:text=Aun%20as%C3%AD%2C%20actualmente%20en%20Xoxocotla%20hay%20dos%20tipos,el%20primero%20y%20para%20las%20pi%C3%B1atas%20el%20segundo.>
- Ekinci, K., & Savran, E. (2018). Effect of Pre-Shelling Treatment on Physical and Mechanical Properties of Cashew Nut. *Materials Science and Engineering Conference Series*.
- Fathollahzadeh, H., Mobli, H., & Beheshti, A. (2008). Effects of moisture content on some physical properties of apricot kernel (Cv. Sonnati Salmas). *Agricultural Engineering International: The Cigr Journal Of Scientific Research And Development*, 10. Obtenido de <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=197978>
- Garibay, A. S., Sánchez, I. R., Andrade, J. E., & Solís, I. I. (junio de 2015). Análisis Mecánico y Geométrico de la Nuez de Macadamia Previo al Diseño y Construcción de una Quebradora. *Innovación y Desarrollo Tecnológico, Revista Digital*.
- Hamman, M. Y. (2004). Determinación de algunas propiedades físicas de diferentes variedades de cacahuates. *Nigerian Journal of Technology*.
- Hong, Z., Zhongcheng, H., Shaohui, M., & Rui, Z. (2014). Diseño del husillo de una descascaradora de cacahutes, holgura y análisis modal. *International Conference on Logistics Engineering, Management and Computer Science*.
- Hull, S., Roberta, R., Chambers, L., Echaniz, A., & Wickham, M. S. (2015). A mid-morning snack of almonds generates satiety and appropriate adjustment of subsequent food intake in healthy women. *European Journal of Nutrition*, 803-810.
- Hussain, A. B. (2018). Design and development of technology for walnut cracking. *Journal of food science and technology*, 4973-4983.
- Hussain, S. Z. (2016). Development of walnut dehulling machine and assessment of its performance using Ethephon and Tween-80 as pre-treatments for hull loosening. *Journal of Food Science and Technology*, 2835.

- jiannan wang¹, 2. H. (2022). ptimización de material para componentes y parámetros clave de desgranadora de maní basada en la teoría de Hertz y el diseño de Box-Behnken. *Agricultura*, 12.
- Jiménez, P. V., Silva, D. A., Umlandt, M., Gatani, M., & Medina, J. C. (2019). Caracterización de cáscara de maní procedente de la provincia de Córdoba Argentina. . *Revista argentina de ingeniería. Consejo federal de decanos de ingeniería de la república argentina*.
- Kabas, O., & Vladut, V. (16 de noviembre de 2016). Determination of Some Engineering Properties of Pecan. *Erwerbs-Obstbau*. doi:10.1007/s10341-015-0255-5
- Kilanko, O., Ojolo, S. J., Inegbenebor, A. O., Ilori, T. A., Leramo, R. O., Babalola, P. O., . . . Onwordi, P. N. (2019). Development of Cashew nut Shelling Machine. *Journal of Physics: Conference Series*, 042091.
- Kohli, D. C. (9 de Agosto de 2021). Advaces in peeling techniques for fresh produce. *Food Process Engineering*. doi:<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpe.13826>
- Koyuncu¹, ". A., & Ekinci², K. (2004). Cracking Characteristics of Walnut. *Biosystem Engineering* .
- Llachua, A. Y. (Julio de 2019). *Design of a mahan pecan cracking machine with a waste percentage under 25 %*. Obtenido de https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/114/1/Llachua%20Garcia_Tesis.pdf
- Gatani, M. P., Arguello, R. G., & Sesin, S. D. (2010). Materiales compuestos de cascara de maní y cemento: Influencia de diferentes tratamientos quimicos sobre las propiedades mecanicas.
- M.M.J. (2005). *Diseño de una columna de DME, Cálculo de recipientes a presión*. Cartagena.
- Majumader, S. (1998). *Sistemas neumáticos (Principios neumáticos)*. México : Cámara Nacional de la de la industria Editorial Mexicana .
- Marey, S., Drees, A. M., Ibrahim, M. M., & Aboegela, M. A. (2017). Design, construction and performance evaluation of an almond kerewel extraction machine. *Internacional: CIGR*

- Journal*, 19, 133-144. Recuperado el 01 de 06 de 2022, de <http://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/4147>
- Marida Di Matteo, D. A. (2011). Método alternativo para pelar nueces. *Food Bioprocess Technol.* doi: 10.1007/s11947-011-0509-7
- Méndez, P. L. (2019). *Las plantas, partes y funciones (II) - Escolar - ABC Color.*
- Navid Karimi, S. M. (2008). Parámetros implicados en el proceso de pelado de nueces. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Revista de ciencia de maquinaria agrícola)*, 4, 389-393.
- Petrov, V. (2015). *Fundamentos de la teoría para la solución de los problemas inventivos .*
- Rabhi, N. (2019). *Biblioteca digital IPB.* Obtenido de Instituto politecnico de Braganca: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/23244>
- rural, F. (2010). *Monografía del cacahuete .* México .
- Rural, S. d. (07 de Octubre de 2021). *México segundo exportador mundial de nuez pecanera sin cáscara.* Obtenido de Gobierno de México : <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-segundo-exportador-mundial-de-nuez-pecanera-sin-cascara?idiom=es>
- SAGARPA. (2017). *Planeación agrícola nacional 2020-2030.*
- Savage Equipment Silverline Pecan Processing Equipment en Español.* (s.f.). Obtenido de SAVAGE: <https://www.savageequipment.com/sp-silverline.html>
- SECRETARIA DE AGRICULTURA, G. D. (2002). *Producción de cacahuete del estado de Morelos .* Morelos, México .
- secretaria de agricultura.Ganaderia, D. r. (Junio de 2002). <https://docplayer.es/>. Obtenido de https://docplayer.es/39327979-Produccion-del-cultivo-de-cacahuete-en-el-estado-de-morelos.html#show_full_text
- SMATTCOM. (27 de 11 de 2019). *México, productor y exportador mundial de nuez .* Obtenido de SMATTCOM: <https://smattcom.com/blog/mexico-productor-y-exportador-mundial-de-nuez>
- Vinod Choudhary*, R. M. (Agosto de 2020). Propiedades técnicas de las vainas y los granos de cacahuete: Un papel clave en el diseño del equipo de procesamiento postcosecha.

International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.
doi:<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.202>

Yang, M. L. (25 de Noviembre de 2020). Equipos de procesamiento de frutos de nuez: conocimientos y perspectivas académicas. *Revisones de ingeniería en alimentos*. doi:10.1007/s12393-020-09273-6

Zhao, X., Chen, J., & Du, F. (28 de junio de 2011). Uso prtencial de los subproductos del cacahuete en la elaboración de alimentos: una revisión. *Asociación de científicos y tecnólogos de la alimentación* . doi:10.1007/w13197-011-0449-2

Zhang Zhongxian, Z. Q. (2012). Técnica de pelado de nueces (Patent Núm. CN102960834A). En *Patent* (Núm.CN102960834A).<https://patents.google.com/patent/CN102960834A/en?scholar>

Anexos

Anexo I

Estado del arte y de la técnica

En este apéndice se encuentran las fichas de los artículos, tesis, páginas web, entre otros, que fueron consultados, que fueron de mucha ayuda para entender y mejorar la orientación del proyecto. Las fichas presentadas a continuación fueron clasificadas según el tipo de fuente, los cuales algunos fueron mencionados anteriormente.

Artículos

Diseño y evaluación del rendimiento de un dispositivo descascaradora de nueces por extrusión multipunto (Zhang et al., 2022) Diseñaron y fabricaron una máquina para romper nueces, que incluye el marco, el panel de control, el motor de regulación de velocidad, la tolva de alimentación, el cilindro clasificador, el deflector y el dispositivo para romper nueces. También las nueces son clasificadas según su tamaño de acuerdo a ello caían en sus espacios correspondientes. La máquina cuenta con un rodillo giratorio para el craqueo, con el fin de garantizar el cizallamiento en la nuez se agregaron varias púas a la superficie del rodillo de craqueo giratorio y la placa de extrusión para aumentar las áreas de concentración de la tensión. La máquina llevaba a cabo de manera paralela la clasificación y el cascado de las nueces. El mejor rendimiento de la máquina se obtuvo con un rendimiento óptimo con un ángulo de agrietamiento de 0.47° y una velocidad del rodillo de 108 rpm. Para la nuez 'Wen-185', la tasa de agrietamiento de la cáscara, la tasa del núcleo completo, y el consumo de energía fueron 97.24 % frente al 98.40 % previsto, 92.03 % frente al 92.94 % previsto y 1,88 kJ/kg frente a los 1,80 kJ/kg previstos, respectivamente. Las pruebas de adaptabilidad de la variedad mostraron que el dispositivo de craqueo se adaptó bien a las variedades 'Wen185', 'Xinwen-179' y 'Zha-343'. El dispositivo de cascado tuvo excelentes resultados de cascado para nueces con un grosor de la cáscara (h) $< 1,2$ mm y un espacio entre la cáscara y el núcleo de la nuez (d) y 1,6 mm.

Efecto de los cristales de oxalato de calcio sobre las propiedades micromecánicas del tejido esclerénquima de la cáscara de nuez pecana (*Carya illinoensis*) (Arzate Vázquez *et al.*, 2022,) Evaluaron la presencia de cristales de oxalato de calcio (CaOx) sobre las propiedades micromecánicas del tejido de esclerénquima de la cáscara de la nuez pecana, se examinó mediante microscopía óptica (LM) y microscopía de fuerza atómica (AFM). Se utilizó el sistema de indentación instrumentado con una carga máxima de 500 mN, se estudiaron el número de cristales presentes en el área evaluada, así como el tamaño de los cristales. Los resultados mostraron que las áreas examinadas con 1, 2 o 3 cristales presentaron valores de dureza y módulo elástico significativamente mayores ($P < 0.05$) en comparación con el esclerénquima sin cristales, de la misma manera no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los valores de las propiedades micromecánicas de las áreas evaluadas en función del número de cristales. El tamaño de los cristales no mostró correlación directa. Los cristales de CaOx fortalecen la estructura al aumentar las propiedades micromecánicas.

Estudio comparativo de las descascaradoras de cacahuate desarrolladas (Adetola Olufemi, 2022) realizaron un estudio comparativo de las máquinas peladoras de cacahuate desarrolladas por diferentes investigadores, tomando en cuenta factores como la velocidad del descascarado, cuchillas y el tamaño del tamiz. Estos darán como resultado la eficacia del descascarado, la eficiencia de limpieza, velocidad terminal, los daños mecánicos y la capacidad de rendimiento, esto con la finalidad de aportar la información necesaria para que las máquinas peladoras que se construyan próximamente. Para tener una guía de datos con los cuales puedan diseñar y construir una máquina peladora fiable y económica para así tener con eso bajo control diferentes aspectos como la eficiencia del pelado, los costes de producción y así mismo el consumo de energía. Determinaron que el descascarado del cacahuate se ve afectado por factores como la variedad, el tamaño de este, el nivel de humedad que este contiene, las diferentes técnicas pueden ser aplicadas, la velocidad con la que se lleva a cabo el descascarado. Así mismo se discriminó algunos materiales que aún siguen usando a pesar de que hay mejor tecnología para implementarse.

Investigación de propiedades de las propiedades de ingeniería de las vainas y los granos de cacahuate en relación con el diseño de las máquinas postcosechas (A & M.M., 2021) El objetivo de esta investigación es estudiar las principales propiedades físicas, mecánicas y aerodinámicas de las vainas y granos de cacahuate (variedad Giza 5) con un contenido de

humedad (8,2 % db). Las propiedades mecánicas de carga en diferentes orientaciones son importantes en el diseño de la unidad de molienda, manipulación, almacenamiento y transporte. La fuerza de ruptura de las vainas con dos granos fue superior a la de otras vainas de 1 y 3 granos en posición horizontal, sin embargo, la fuerza de ruptura para vainas de un grano fue superior para las otras vainas que contienen 2 y 3 granos en posición vertical.

“Savage Equipment Silverline Pecan Processing Equipment En Espanol”, 2021, la empresa Savage Equipment, desarrolló 2 máquinas *modelo El Cracker 238S y el Cracker 244S* que se utiliza para agrietar el endocarpio de las nueces. Para el sistema de agrietamiento emplea presiones de aire precisas para sostener la nuez y romperla en el momento preciso. Funciona con cualquier tipo y tamaño de nuez, permite grietas consistentes y un alto porcentaje de mitades completas de nueces, *El Cracker 238S es capaz de agrietar 400 nueces por minuto y el Cracker 244S es capaz de agrietar 1200 nueces por minuto.*

Calero, 2020, diseñaron y construyeron una máquina quebradora de almendra industrial. Lo primero que se realiza para llevar a cabo el proceso de descascarado es clasificar la almendra por su tamaño y de acuerdo a su tamaño se depositan en diferentes tolvas, esto se logra por medio de tamizadoras utilizando cilindro con lectores ópticos. También tiene un eje excéntrico, este es el que se encarga de partir la almendra, lo hace girando en sentido contrario al giro del motor y mediante una plancha metálica se va aproximando poco a poco a la almendra hasta producir una rotura limpia y controlada para no dañar al fruto, también cuenta con una mesa cribadora para separar el fruto del resto de la cáscara. Usan motores de paso porque requieren movimientos de gran precisión.

Equipos de procesamiento de frutos de nuez, conocimientos y perspectivas académicas (Yang 2020) clasifican y resumen las características del mecanismo central de los dispositivos para cada enlace de procesos preliminar, luego evalúa y analiza los dispositivos mecánicos típicos existentes de acuerdo a su clasificación. Finalmente, se analiza la regla de influencia de los dispositivos para cada eslabón (eliminación de la cáscara verde, secado de la nuez, clasificación del tamaño de la nuez, rotura de la cáscara de la nuez, separación de la cáscara y la nuez y eliminación de la piel de la nuez) en el procesamiento preliminar como medio para asegurar nueces de alta calidad. Los efectos colaborativos de dos pares de fuerzas concentradas son más beneficiosos para romper completamente la cáscara de nuez. Además de la cantidad

de carga, la dirección de carga, la velocidad de carga, el contenido de humedad y el grosor de la cáscara de nuez pueden afectar la fuerza de ruptura de la cáscara hasta cierto punto.

Propiedades técnicas de las vainas y los granos de cacahuete: Un papel clave en el diseño del equipo de procesamiento postcosecha (Vinod Choudhary*, 2020) realizaron un estudio de la vaina y del grano del cacahuete de la variedad TAG-24, de algunas de sus propiedades mecánicas y físicas, con el objetivo de describir brevemente las propiedades de ingeniería mencionadas anteriormente para un diseño adecuado de los equipos agrícolas, se tomó una muestra de 10 kg de la variedad TAG-24, de los cuales se seleccionaron 100 granos al azar, para determinar sus propiedades físicas se utilizó un vernier digital, para las propiedades mecánicas, donde se aplicaron fuerzas desmesuradas para romper las vainas sin dañar el grano, se utilizó una máquina universal de ensayos (UTM) modelo: UTB9052 y capacidad de 5kN), la vaina fue colocada en diferentes posiciones longitudinal, vertical y lateral, esta resultó ser de 62,37 N, 250,21 y 32,74 N con un contenido de humedad del 6,28 % (db) Las fuerzas de rotura máximas y mínimas fueron 80,86 y 37,27 N, 250,21 y 250,02 N, 43,41, y 28,19 N en orientación longitudinal, lateral y vertical.

Llachua et al., 2019, diseñaron una máquina para romper el endocarpio y separarlo más fácilmente del fruto comestible de la nuez pecana. El objetivo del proyecto fue obtener menos del 25 % de merma. El método que se utilizó fue el de compresión radial de 6 milímetros al diámetro de la pecana peruana de diámetro, fue lo óptimo para que no hubiera tanta merma. Los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios por 22.6 y 16.0 % de mermas. No obstante, si la semilla pasa por un proceso de secado previo, esta compresión puede alcanzar mermas mayores al 60 %.

Rabhi, 2019, diseñó una máquina que tiene como función principal partir, clasificar nueces, almendras, avellanas y enseguida transportarlas mediante una cinta transportadora. La máquina consta de dos cilindros que giran en sentido contrario para romper las nueces. La deformación de la nuez se llevó a cabo bajo una compresión de 200 N y la deformación es de 1mm. Dado que la máquina no fue fabricada, no pudo ser evaluada, pero se consideraron los parámetros mecánicos de la nuez, se prevé que la máquina funcione satisfactoriamente.

Kilanko et al., 2019, desarrollaron una máquina descascaradora de nueces de marañón (anacardos), en este trabajo se utilizó el método de impacto para mejorar la eficiencia de descascarado y obtener granos enteros para nueces tostadas en aceite caliente. La máquina opera bajo el principio de energía cinética óptima del impulsor giratorio para romper la nuez. La unidad de descascarado consta de un impulsor y un recipiente de descascarillado con una pared interior hexagonal. El impulsor giratorio proporciona la fuerza de impacto necesaria para romper la nuez. Se manejan 3 niveles de humedad (7.00 % en peso, 8.46 % en peso y 9.83 % en peso), 3 niveles de velocidad del impulsor y tres tamaños de nuez (chica, mediana y grande). La máquina era impulsada por un motor eléctrico trifásico de 1 HP y 1800 rpm.

Efecto del tratamiento previo al descascarado sobre las propiedades físicas y mecánicas del marañón (Oluwaseun Kilanko et al., 2018) Este estudio se realizó para investigar el efecto del tostado en aceite caliente sobre las propiedades físicas y mecánicas de anacardos grandes (26-35 mm), medianos (23-25 mm) y pequeños (18-22 mm) con un contenido de humedad de 7.0 % wb. Las propiedades que se consideraron del marañón fueron densidad, ancho, espesor, diámetro medio geométrico, esfericidad, porosidad, masa, coeficiente de fricción. Los resultados de compresión mostraron que la fuerza de ruptura disminuye con la disminución de tamaño para las 3 direcciones de carga (longitudinal, sutura y espesor), para nueces medianas y grandes se necesitó más energía para dirección de carga transversal. seguida de la dirección de carga lateral. La compresión a lo largo de la dirección longitudinal tiene la menor deformación para los tres tamaños de nuez. Para los tres tamaños de nuez, el módulo de Young más alto se mostró en la dirección de carga longitudinal seguida de la dirección de carga transversal.

Dening Pablo Agustín, 2017, elaboraron una máquina prototipo cascanueces eléctrica. La ruptura de la cáscara se produce por fricción entre el rodillo de la máquina y una placa. El producto se introduce manualmente por la parte superior de la máquina. El rodillo tiene estrías. El rodillo se encuentra horizontalmente apoyado sobre dos rodamientos a bolas y solidario a una polea, la cual por medio de un juego de correas transmite el par motor proporcionado por el motor. Para sostener la placa en su posición de trabajo se colocó una articulación sobre su borde contrario a la curvatura cóncava. Esta articulación permitirá regular la proximidad de la placa con el rodillo para distintas luces dependiendo del tamaño de la nuez pecana. En este método el producto sale junto con el endocarpio.

Marey et al., 2017, diseñaron, fabricaron y evaluaron localmente una máquina extractora de almendras (*Prunus dulcis*) de bajo costo. Se utilizó un mecanismo de craqueo de rodillos. El descascarador de rodillos consta de dos cilindros (rodillos) con diferentes tipos de revestimiento, uno con goma y el otro con malla metálica que giran en sentido contrario para romper las nueces. El espacio entre los rodillos se establece de acuerdo a la nuez más pequeña hasta la más estrecha. El objetivo fue romper la nuez sin dañar la semilla. Los contenidos de humedad que contenía la nuez fueron de 4.5 %, 8.8 % y 16.6 % db. Se manejaron 3 diferentes valores de holgura entre rodillos (14,16 y 25 mm) y 3 velocidades de rodillos diferentes (0,5, 0,8 y 1 m s⁻¹). En los resultados concluyeron que el aumento de velocidad del rodillo de 0,5 a 1,00 ms⁻¹ se encontró que aumenta el valor medio de la máquina con una productividad del 98.8 %. Sin embargo, provocó una disminución de los valores medios de la ruptura del grano y agrietamiento. Por otro lado, en todos los niveles de velocidad de los rodillos y ambos materiales de carcasa, la holgura entre rodillos de 16 mm dio como resultado los menores valores de requerimiento energético y valores máximos de productividad de la máquina. Y, por último, la holgura entre rodillos de 14 mm resultó con valores máximos de eficiencia de craqueo 68.54 %. Utilizando la carcasa de goma, la eficiencia del craqueo y la productividad de las máquinas aumentaron un 18,73 % y un 4,3 % la rotura del grano.

Mudasir et al., 2017, desarrollaron y evaluaron una descascaradora de nueces, motorizada, basada en cortar la cáscara de la nuez verde, mediante la fuerza de cizallamiento. Se obtuvo una mejor eficiencia en el descascarado cuando las nueces fueron apiladas. La máquina consistía en dos carcasas, una fija y la otra giraba sobre el eje de transmisión. El espacio libre entre la carcasa estacionaria y la carcasa giratoria, entre las cuales se realizaba el descascarillado de las nueces, era ajustable en el rango de 10 a 45 mm para adaptarse a diferentes tamaños y formas de nueces. El descascarado de las nueces verdes dependía de la naturaleza y madurez de la cáscara verde. Se observó que con el aumento del período de amontonamiento antes del descascarado, la eficiencia media del descascarado y el porcentaje de nueces completamente descascaradas aumentaron, mientras que el porcentaje medio de nueces parcialmente descascaradas disminuyó.

Hussain et al., 2016, desarrollaron una máquina descascaradora de nueces persian (*Juglans regia* L), accionada con motor, esta se por días y el aumento de velocidad periférica del cilindro giratorio de 6,41 ms⁻¹. La eficiencia del descascarillado fue de 79.5%. evaluó para el descascarillado después de aplicar Thephon y Tween-80 a nueces verdes mediante métodos de

inmersión y rociados, los resultados fueron positivos hubo un aumento en el porcentaje de nueces descascaradas, la eficiencia de descascarado, y la capacidad de producción fue efectiva, esto por el aumento de tiempo inmersión y el tiempo posterior a la inmersión/pulverización. La unidad de descascarillado de la máquina constaba de un eje cilíndrico, dieciocho barras de descascarillado, cada una de 140 mm de largo, se ranuraron 20 costillas en la parte inferior del eje giratorio para retirar el casco. El espacio libre entre el eje giratorio y las nervaduras era ajustable para acomodar nueces de diferentes tamaños. Una bandeja colectora de forma rectangular estaba ubicada en la parte inferior de la unidad descascaradora para la recolección de cascos. La máquina utiliza potencia mecánica para su funcionamiento.

Desarrollo de máquina para romper nueces de palmiste para uso rural (Adisa et al., 2015,) *Diseñaron*, construyeron y probaron el rendimiento de una máquina para romper nueces de palmiste de todo tipo y diferentes tamaños, para uso local a un costo accesible. Se realizaron muestras para probar la máquina, las cuales estuvieron en función de la velocidad del eje (r/min), el método que se utiliza para el principio de impacto para el descascarado. Los resultados mostraron que las nueces no partidas fueron 2.50%, 2.00%, 1.50%, 1.25% y 1.00 %, las parcialmente partidas fueron 2.75%, 2.75%, 2.25%, 2.00% y 1.75 %, las semillas no partidas fueron 93 %, 94 %, 95 %, 94.5 % y 94 %, los de granos partidos fueron 1.75 %, 1,50 %, 1.50 %, 2.50 % y 3.25 % a velocidades establecidas de 800, 1200, 1600, 2000 y 2400 r/min respectivamente. El rendimiento de la máquina aumentó de 10,91 a 38. 00 g/s cuando la velocidad de la máquina aumentó de 800 a 2400 r/min. Asimismo, las eficiencias de rendimiento de la máquina desarrollada fueron 93 %, 94 %, 95 %, 94.5 % y 94 %, mientras que las eficiencias generales fueron 90.86 %, 92.12 %, 93.58 %, 93.08 % y 93.06 % para las velocidades establecida.

Ghafari A. et al. 2011, diseñaron y construyeron un prototipo para partir nueces *Juglans regia* L.) Chandler, Hartley. La máquina crackeadora consta de una tolva equipada con un dispositivo de control caudal, una unidad de craqueo, un clasificador y un sistema de potencia, funciona según el principio de desgaste empleando la fuerza de trituración de un cilindro y una hélice. El porcentaje de granos enteros fue de 66,66 %. La capacidad de la máquina se estimó en unos 25,2 kg/h.

Benrik et al. 2009, llevaron a cabo la técnica de vaporización para la nuez *franquette* (*juglans regia* L) posteriormente se pasó al proceso de descascarado utilizó un cascanueces centrífugo

que contiene un rotor que permite en la parte superior el paso de las nueces mientras que, en la parte inferior, el cilindro se divide en dos partes y se ensancha en la dirección de rotación. Y, debido a la fuerza centrífuga, salen por la parte inferior y golpean la carcasa del rotor con una fuerza considerable. La técnica de vaporización se utilizó un vapor saturado que alcanzó una temperatura de 106 °C, para lo cual se utilizó una caldera equipada con termómetro. Se llevaron a cabo 3 pruebas respecto al tiempo, una de 5 minutos, la otra de 15 minutos y la última con su proceso de secado normal. Por lo que se determinó que las nueces sumergidas durante 15 minutos se utilizó una fuerza mínima de 171,35 N. La vaporización ayudó a determinar que la nuez puede ser agrietada con menor fuerza a diferencia cuando la nuez tiene su proceso de secado normal. Se descubrió; cuanto menor era el espacio entre el grano y la cáscara, mayor era la probabilidad de dañar el grano al romper la cáscara. Por lo tanto, cuanto mayor era el espacio vacío en una nuez, mayor era la probabilidad de que la nuez permaneciera intacta mientras se rompía la cáscara, ya que, en el caso de una mayor distancia de la cáscara, la nuez tiene más espacio para evitar la cáscara rota.

Características de agrietamiento de la nuez (Ma Koyuncu et al., 2004) Comprimieron nueces de la variedad Yalova-3 (*Juglans regia* L.) la técnica que utilizaron fue compresión entre dos placas paralelas a una velocidad de 50 mm por minuto (máquina universal), la fuerza, la energía y la deformación específica antes de la ruptura inicial y la calidad de la extracción del grano se investigaron en función del grosor de la cáscara y el diámetro medio geométrico en diferentes posiciones de compresión (largo, ancho y sutura) El resultado que obtuvieron fue que la energía de ruptura aumenta conforme aumenta el espesor del endocarpio. La menor fuerza requerida fue en la posición longitudinal y la mejor extracción del embrión. 244 N longitudinal y 149 N sutura.

Patentes

Aparato y Método para partir nueces de frutas de hueso (Anthony Walter & Harwood Geoffrey, 2018) Se describe un aparato y un método para romper nueces de frutas con hueso. El aparato comprende un marco que soporta un conjunto de mordazas separadas que comprenden una primera mordaza y una segunda mordaza que definen entre ellas un espacio, que se estrecha hacia abajo desde la entrada hasta la salida. La primera mordaza está asegurada de manera ajustable al marco para ajustar el tamaño del espacio. La segunda mordaza está

sostenida de manera móvil por el marco y asegurada a medios de accionamiento configurados para mover giratoriamente la segunda mordaza con respecto a la primera mordaza con un movimiento tangencial que resulta en el cambio continuo del tamaño del hueco. Para romper la cáscara, la nuez se coloca entre las mordazas y se presiona repetidamente y se hace rodar entre las mordazas desde la entrada hasta la salida.

Método consiste en condicionar las nueces, sumergirlas a una temperatura 0-15 °C, de preferencia 7°C, por un tiempo de 1 a 12 hr, el tiempo de preferencia son 6 horas. También se prevé que el método incluye un intercambio de agua en el que se sumergen las nueces, de preferencia que el agua se recicle y filtre para eliminar enzimas y contaminantes, como penúltimo paso, pasar las nueces por agua hirviendo, así como por un chorro de vapor y como último paso se rocían con aire las nueces antes del descascarado. El paso adicional es preseleccionar las nueces de acuerdo con el ancho en un rango predeterminado con un ancho mínimo y un ancho máximo, y ajustando el tamaño del hueco en el juego de mordazas para que el hueco en la entrada sea mayor que el ancho máximo y el hueco en la salida sea menor que el ancho mínimo.

Aparato para romper nueces eficientemente y método para usar el aparato (Mahlon, 2015) La invención, describe un aparato y un método para romper nueces de cáscara dura proporcionando varios pares de tubos cilíndricos opuestos espaciados y alineados axialmente combinados con un dispositivo de compresión lineal. Al alinear un par de tubos cilíndricos dentro de un dispositivo de compresión lineal y colocar una nuez de cáscara dura entre los tubos cilíndricos, se aplica una fuerza de compresión lineal al par de tubos cilíndricos. Con una nuez de cáscara dura ubicada entre las aberturas del par de tubos, las cubiertas exteriores de la cáscara de la nuez de cáscara dura se separan de las partes internas de la nuez, con daños mínimos en la parte interna de la nuez durante el proceso. El método consiste en los siguientes pasos, a) colocar la nuez de cáscara dura entre dichos extremos proximales de dichos tubos cilíndricos; b) proporcionar una fuerza de compresión a dichos extremos distales de dichos tubos cilíndricos; c) eliminar la fuerza de compresión cuando la cáscara de la nuez de cáscara dura se desacopla de la pulpa interior de la nuez; d) separar la cáscara de la nuez de cáscara dura del embrión.

Máquina para cortar nueces de hierro (Yang Gangbo et al., 2014) una máquina para cortar nueces de hierro consta de una cremallera, un motor y un cabezal de la máquina. El motor está

instalado en el medio de la cremallera, el cabezal de la máquina está instalado de forma fija en la superficie de una bancada de la cremallera, el extremo del eje que se extiende del motor está conectado con un eje principal y un engranaje reductor a través de correas de transmisión. El engranaje reductor impulsa un bloque deslizante cortador dispuesto en la cara frontal del cabezal de la máquina a través de una biela para moverse hacia arriba y hacia abajo en un modo alternativo, y el extremo inferior del bloque deslizante del cortador está conectado rígidamente con un cortador. Una base de sujeción de hierro y nogal está dispuesta frente al cortador y puede moverse linealmente hacia adelante y hacia atrás a lo largo de un riel guía, y el riel guía está instalado de manera fija en la superficie de la placa base. Cuando el cortador se mueve hacia abajo, la base de sujeción de nueces se opera para moverse hacia la parte inferior del cortador, de modo que se corta una cáscara de una nuez de hierro, donde la nuez de hierro se sujeta en el extremo delantero de la base de sujeción de nueces

Dispositivo para romper la cáscara de la nuez (Jiangang & Lijun, 2013) La invención proporciona un dispositivo para romper cáscaras de nuez, pertenece a una herramienta y tiene como objetivo principal resolver el problema del diseño de la estructura. El dispositivo para romper cáscaras de nuez se compone de una barra transversal, un eje de pasador, una barra de presión de superficie curva, una columna de protección de seguridad, una base redonda y un marco de ubicación en forma de loto. El dispositivo para romper cáscaras de nuez se caracteriza porque la varilla transversal y la varilla de presión de superficie curva están conectadas a través del eje del pasador. La varilla de presión de superficie curva puede girar alrededor del eje del pasador, el marco de ubicación en forma de loto y la columna de protección de seguridad están ubicados en la cara del extremo superior de la varilla transversal. El marco de ubicación en forma de loto se compone de seis bloques trapezoidales con superficies de arco circular y puede lograr la función de auto centrado en una nuez colocada en el marco de ubicación en forma de loto. La columna de protección de seguridad puede evitar que el núcleo de una nuez se agriete debido a demasiada fuerza externa. Y, mientras tanto, puede proteger aún más las palmas de las manos para que no se sujeten, y la base redonda está ubicada en la cara del extremo inferior de la barra transversal y puede agregar una fuerza aplicada soporte auxiliar. Cuando se sujeta la nuez, el dispositivo para romper la cáscara de la nuez se coloca en un escritorio horizontal, la nuez que se sujeta se coloca en el marco de ubicación en forma de loto, la barra transversal y la barra de presión de superficie curva se sujetan simultáneamente con las manos. De modo que la barra de presión de superficie curva puede girar en cierto grado en el sentido de las

agujas del reloj alrededor del eje del pasador. De esta forma se puede lograr la operación de agrietamiento de la cáscara de nuez. El dispositivo de craqueo de cáscara de nuez tiene las ventajas de tener una alta confiabilidad en la ubicación de la nuez, conveniente para operar y de estructura simple.

Modelos de Utilidad

Dispositivo para romper cáscara de nuez (WANG-LI, 2020) El modelo de utilidad da a conocer un dispositivo para romper cáscaras de nuez. El dispositivo comprende una estructura de cuerpo de máquina de acero, dos placas de presión están dispuestas en la estructura de cuerpo de máquina en un modo de simetría bilateral. Se forma una abertura de sujeción entre la placa de presión y la pared interior de la estructura del cuerpo de la máquina; el extremo superior de la placa de presión se inclina hacia el centro de la estructura del cuerpo de la máquina para formar una parte de placa inclinada; se forma un puerto de alimentación entre la parte de la placa inclinada y la pared interna de la estructura del cuerpo de la máquina, la distancia entre la cara del extremo frontal y la cara del extremo posterior de la placa de presión y la pared interna delantera y la distancia entre la cara del extremo posterior de la placa de presión y la pared interna trasera de la estructura del cuerpo de la máquina son ambas de 1 mm-1. 25 mm, y una pluralidad de varillas guía están dispuestas en la cara frontal, lejos de la abertura de sujeción, de la placa de presión. El dispositivo de ruptura de caparazón de doble canal puede realizar una ruptura rápida de caparazón de doble canal.

Dispositivo para descascarar nueces (Bin, 2020) El dispositivo descascarillador de nueces comprende un cuerpo de dispositivo descascarillador. El dispositivo comprende una base, soportes, una placa de presión y una placa de fijación. El soporte va soldado a un lado del extremo superior de la base. La placa fija está soldada en un lado de la pared lateral del soporte; un tubo fijo está incrustado en la parte superior del soporte; la varilla roscada está dispuesta en el tubo de fijación, el extremo inferior de la varilla roscada está conectado con una placa de presión a través de un cojinete; se forma una ranura en el medio de la superficie superior de la placa fija; se forman orificios deslizantes en los dos lados de la ranura; un asiento deslizante está dispuesto en el orificio deslizante de manera deslizante; se inserta un eje fijo en el extremo inferior del asiento deslizante; en comparación con el estado de la técnica, según el cascanueces.

Máquina descascaradora de frutos secos para mejorar la calidad del producto (Xu Liang, 2015) Una máquina peladora de nueces para mejorar la calidad del producto, que incluye una carcasa desgranadora, la carcasa está provista de un puerto de alimentación y un puerto de descarga; el interior de la carcasa descascarilladora está provisto de un dispositivo descascarillador, un dispositivo soplador y un dispositivo colector; se caracteriza porque el dispositivo de descascarillado descrito comprende una parte de tratamiento ultrasónico, y el puerto de alimentación descrito está comunicado con el interior de la sala de tratamiento ultrasónico; En la parte de tratamiento ultrasónico descrita, debe contar con entrada de agua, salida de agua, puerto de descarga y una pluralidad de transductores ultrasónicos, la entrada de agua y la salida de agua están conectadas al tanque de agua periférico, la entrada de agua, la salida de agua y la descarga. Todos los puertos están provistos de válvulas electromagnéticas, y el tanque de agua periférico está provisto de una bomba de agua. Se caracteriza porque se dispone una cámara de secado entre el puerto de descarga de la cámara de tratamiento ultrasónico y la cinta transportadora, y el exterior de la cámara de secado está conectado al calentador fuera de la caja de la máquina.

Novedosa máquina rompedora de cáscaras de clasificación de nueces (Shu Jiping & Lei Chunli, 2014) El modelo de utilidad revela una novedosa máquina trituradora de cáscaras de nueces. La novedosa máquina clasificadora para romper cáscaras de nueces comprende un rodillo clasificador y un dispositivo para romper cáscaras, en el que el rodillo clasificador está dispuesto horizontalmente; la pared periférica del rodillo clasificador consiste en una pluralidad de cuerpos de varilla con espacios ajustables; los cuerpos de las varillas son paralelos al eje del rodillo clasificador; los diales están dispuestos respectivamente en los dos extremos del rodillo clasificador; los dos extremos de cada cuerpo de varilla están respectivamente conectados con los diales; una placa raspadora está dispuesta verticalmente en la superficie superior del rodillo clasificador; la longitud de la placa rascadora coincide con la longitud de cada cuerpo de varilla; los sinfines espirales están dispuestos en el rodillo clasificador; el dispositivo para romper cáscaras se coloca debajo del rodillo clasificador; dos rodillos para romper cáscaras que están dispuestos horizontalmente están dispuestos en un dispositivo para romper cáscaras, en el que un rodillo para romper cáscaras es un rodillo excéntrico; las ranuras y las nervaduras están dispuestas respectivamente en la superficie del rodillo de los dos rodillos rompedores de cáscara a lo largo de la dirección axial; cepillos están dispuestos respectivamente en la

superficie inferior del dispositivo para romper cáscaras; una cinta transportadora está dispuesta debajo de la abertura de descarga de material de la superficie inferior del dispositivo para romper cáscaras.

Tesis

Caracterización microestructural y mecánica de cáscaras de semillas chilenas (Sánchez Astete, 2019) Realizó un estudio a 3 diferentes nueces y 4 tipos de almendras, caracterizadas por cáscara dura y cáscara blanda, en la cual se buscó una relación entre microestructura y propiedades mecánicas. Mediante tres técnicas, ensayos de impacto Charpy, microscopía electrónica de barrido (SEM) y técnica de excitación por impulso (IET). La relación hay entre geometrías densas/porosas con respecto a la resistencia mecánica: la capacidad para soportar esfuerzos parece incrementar con geometrías densas y disminuir con geometrías porosas.

Diseño de sistema para la optimización del proceso de descascarado de macadamia en Finca Sierra Fecunda, S.A. (Llarena Greñas, 2018) El diseño de la descascaradora lleva por nombre Macamutter macadamia, la cual es una máquina que busca hacer más eficiente y óptimo el proceso de descascarado de macadamia. Esta máquina funciona desconectando el motor del eje central y también por medio de una fuente de energía eléctrica de 220 v 60Hz, la que funciona por medio de un motorreductor de 1/2 caballo con una relación de 40:1, que funciona por medio de un tablero electrónico con el cual se puede encender, apagar y retroceder, por seguridad por si se llega a trabar alguna macadamia. El mecanismo de descascarado está compuesto por un eje dientes afilados de diferentes tamaños para que de esta manera pueda transportar y quitar la cáscara, también cuenta con cuatro rampas con tres filas de dientes afilados, las cuales se mueven dependiendo del tamaño de macadamia que vaya pasando. Estas se mueven por medio de unos resortes que se pueden regular dependiendo de la fuerza que se quiera utilizar. La utilización de la solución permite que aumente la eficiencia en la tarea de descascarado, logrando de manera automática ser 14 veces más productiva de manera automática y 20 veces de manera manual.

Determinación de algunas propiedades de ingeniería de Pecan (Carya illinoensis) para el nuevo diseño del sistema de craqueo (Onder Kabas & Valentín Vladut, 2016,) Estudiaron las propiedades de resistencia y fricción de la nuez pecana fueron determinadas en función de la humedad. Se cargaron las nueces entre dos placas paralelas para determinar la fuerza de

ruptura, así como la fricción estática y dinámica. Se sometieron las nueces a cinco contenidos de humedad, 5.23%, 10.36%, 15.78%, 20.08%, 25.42% db y en los tres ejes Y, X y Z. La dureza más alta se obtuvo con el contenido de humedad de 25.42% db, la firmeza disminuyó a un valor mínimo cuando hubo un aumento de humedad de 5.36 a 10.36% a 25.42%.

Diseño y construcción y validación de un dispositivo extractor de la nuez de marañón (Quijada et al., 2016) Diseñaron y construyeron un dispositivo electromecánico, que se encarga de extraer la nuez de la semilla del marañón de forma continua y automática, y con mínimo de nuez dañada o destruida, esto da nuevas oportunidades a la industria del procesamiento del marañón. El método que se utilizó en esta máquina es el de cizallamiento donde la semilla es presionada contra un par de cuchillas, para luego ser rotada una de las cuchillas, manteniendo fija la otra, con este movimiento se logra dividir la cáscara en dos partes, manteniendo intacta la nuez. En términos operativos la máquina tiene una eficiencia del 75%. Para el diseño del dispositivo se tomaron como valor nominal de operación de 60 semillas por minuto, distribuidas en dos herramientas de corte (30 semillas por minuto cada una) y para la fuerza de corte el valor máximo de 60 lb. El dispositivo está clasificado como de mediana producción (27.22 kg/h), y en condiciones normales, un operario es capaz de procesar como máximo 100 lb de semilla por jornada de ocho horas, por lo que el dispositivo cubriría el trabajo de 4.800 operadores manuales.

Anexo II Conceptos

Nuez: Fruto del nogal. Es una drupa ovoide, de tres o cuatro centímetros de diámetro, con el epicarpio fino y liso, de color verde con pintas negruzcas, el mesocarpio correoso y caedizo, y el endocarpio duro, parduzco, rugoso y dividido en dos mitades simétricas, que encierran la semilla, desprovista de albumen y con dos cotiledones gruesos, comestibles y muy oleaginosos. También se le denomina al fruto que dan algunos árboles y que, por la naturaleza de su pericarpio, se asemeja a la nuez.

Pericarpio: Parte exterior del fruto de las plantas, que cubre las semillas.

Endocarpio: Capa interna de las tres que forman el pericarpio de los frutos, que puede ser de consistencia leñosa.

Presión: Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie y cuya unidad en el sistema internacional es el pascal.

Aire: Gas que constituye la atmósfera terrestre, formado principalmente de oxígeno y nitrógeno, y con otros componentes como el dióxido de carbono y el vapor de agua.

Neumática: La neumática es la tecnología que emplea un gas (normalmente aire comprimido) como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos y/o máquinas.

Diferencial de presión: Es la diferencia entre dos valores de presión medidos o es la comparación de dos presiones arbitrarias.

Sistema neumático: Está constituido principalmente por válvulas, filtros, compresor, pistón y tubos para el recorrido, y las direcciones del fluido gaseoso, aunque existen muchas que son derivadas de cada elemento

Compresor: Un compresor es una máquina, cuyo trabajo consiste en incrementar la presión de un fluido. Al contrario que otro tipo de máquinas, el compresor eleva la presión de fluidos compresibles como el aire y todo tipo de gases.

Sistema de seguridad: Consiste en la protección del personal o de los activos de la planta contra daños o muerte.

Fuente de presión

Nombre del gas:

Capacidad del cilindro:

Densidad del gas:

Lugar de adquisición:

Precio:

Tiempo de renta:

No. de placa:

Responsable del experimento:

Anexo IV Manual de operario para accionar el sistema neumático

El sistema del cual se describen los pasos específicos para manipularlo, es un sistema neumático, el cual fue hecho para separar la semilla de su pericarpio o endocarpio, a través de un diferencial de presión.

Las características mecánicas de sistema son las siguientes, estas características son importante para tomarlas en cuenta para la presión de trabajo que se vaya a trabajar. En la Tabla 6-1 se muestran las características de la cámara neumática.

Tabla 0-1 Propiedades de la cámara neumática

Propiedad	Capacidad
Volumen (ml)	700 ml
Resistencia	2100 psi
Fuente de alimentación	AC
Volts	150

Se puede utilizar cualquier fuente que genere presión mediante un gas. Los gases utilizados en este proyecto fueron aire y nitrógeno. Las características de la fuente dependerán de las presiones de trabajo que se quieran utilizar.

A continuación, se mencionan los pasos que se deben tomar en cuenta a la hora empezar a utilizar sistema neumático

1. Desarmar el prototipo para poder poner la muestra en el interior de la cámara
2. Poner la muestra en el interior de la cámara y sellarla con sus respectivas tuercas y rondanas
3. Encender el compresor hasta llegar a la presión deseada y posteriormente apagarlo
4. Cerrar la válvula de paso (la que permite suministrar la presión)
5. Dejar un tiempo en el cual la presión interna de la nuez como la de la cámara se encuentren en equilibrio, el cual también puede variar, como en el paso anterior.
6. Cerrar la válvula del manómetro
7. Abrir la válvula de desfogue de manera instantánea
8. Desarmar el prototipo

9. Obtener la muestra

Para un buen manejo del equipo es necesario seguir las siguientes recomendaciones, previo a realizar algún experimento es necesario llevar a cabo las siguientes indicaciones

1. Abrir la válvula de desfogue
2. Abrir válvula del manómetro
3. Abrir válvula de paso del fluido
4. Verificar que la válvula de la fuente de gas comprimido esté cerrada
5. Verificar que la válvula del indicador de la fuente de fluido se encuentre cerrada

Para realizar el experimento los pasos son los siguientes:

- 1) Cerrar la válvula de desfogue
- 2) Verificar que la válvula del indicador de presión de la cámara este abierta
- 3) Verificar que la válvula de paso esté abierta
- 4) Abrir la válvula del indicador de la fuente del fluido
- 5) Comenzar abrir la válvula de la fuente del fluido e| ir incrementado según sea la necesidad

En la Figura A4-1 se muestran las válvulas de las fuentes que fueron utilizadas y el modo de operación. También se menciona a continuación la función de que tiene cada una de las válvulas.

Válvula 1, es la fuente de gas a presión (Nitrógeno).

Válvula 2, Válvula reguladora del gas a presión 0-400 psi, con indicadores de presión de entrada/salida.

En las Figura A4-2 y A4-3 se muestran las válvulas 3 y 4 del dispositivo neumático.

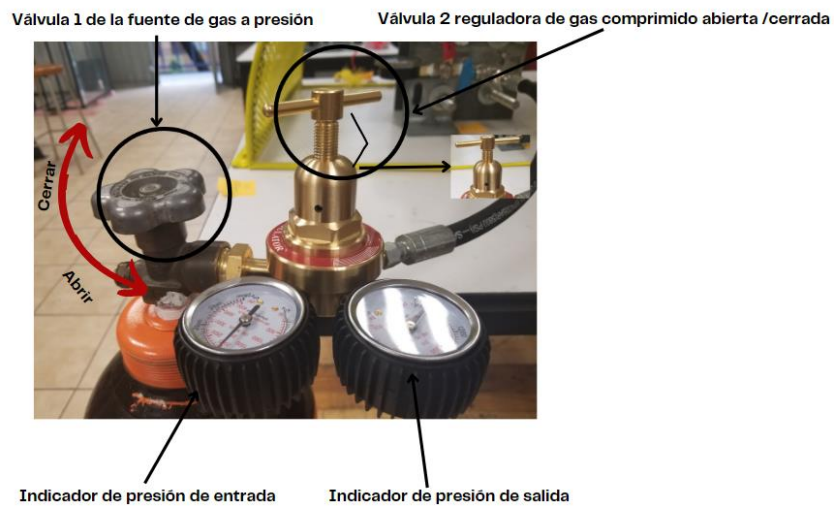


Figura A4-0-1 Estados de operación de las válvulas 1 y 2

Válvula 3, permite la entrada del gas a presión a la cámara

Válvula 4, permite la lectura al manómetro de la presión de la cámara

-  Válvula 3 de entrada de gas
-  Válvula 4 de manómetro

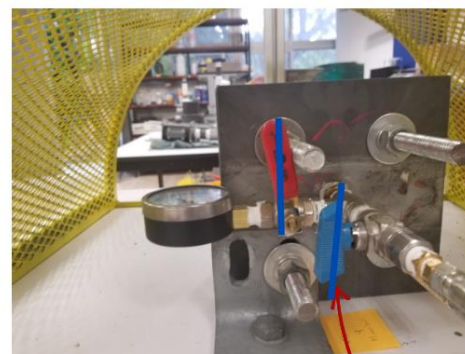
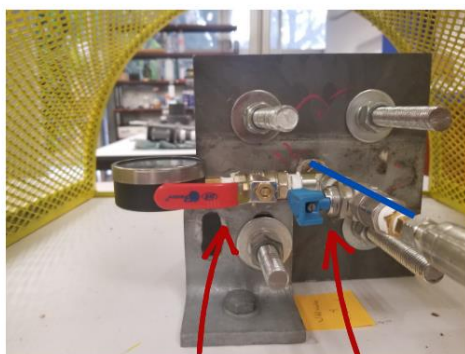
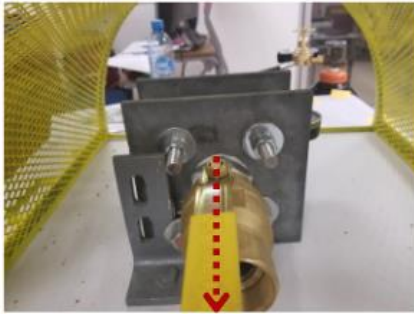
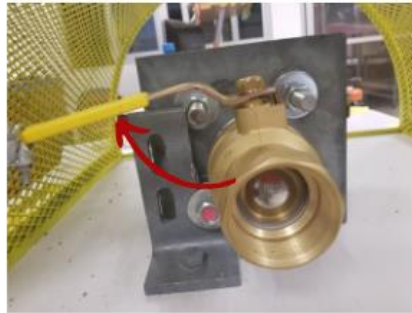


Figura A4-2. Manipulación de válvulas 3 y 4

Válvula 5. Salida de aire, se puede encontrar en dos estados, abierta o cerrada, está válvula permite la introducción de las muestras y la salida de las mismas. También permite realizar el desfogue de la cámara hermética.



Manija alineada a la tubería = válvula abierta



Mover la manija 90° a posición vertical = válvula cerrada

Figura A4-3. Válvula de salida/entrada de muestras y desfogue de la presión

¡Advertencia!

1. Para realizar los experimentos es necesario que el operario principalmente cuente con su equipo de seguridad, que son guantes, goggles y tapones auditivos.
2. También se deben de verificar el estado de las válvulas para evitar accidentes
3. Si se tiene otra fuente de aire comprimido a la que se utilizó, verificar que no rebase el límite de capacidad del sistema

Anexo V comprobante de eventos



Regiduría de Educación

"Soy Mujer y Hago Ciencia"
FERIA NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
JOJUTLA 2023



Mujer tejiendo

EL AYUNTAMIENTO DE JOJUTLA, A TRAVÉS DE LA REGIDURÍA DE EDUCACIÓN OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

Al: Yen Ventura González

POR SU INVALUABLE LABOR DESEMPEÑADA EN LA IMPARTICIÓN DE LA FERIA NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN. "SOY MUJER Y HAGO CIENCIA"

Jojutla, Mor., 11 de Febrero de 2023

ATENTAMENTE



LIC. JUAN ÁNGEL FLORES BUSTAMANTE
PRESIDENTE MUNICIPAL DE JOJUTLA, MORELOS



MTR. PATRICIA LUNA DOMÍNGUEZ
REGIDORA DE EDUCACIÓN





**EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
A TRAVÉS DEL
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO**

OTORGA EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A

YEN VENTURA GONZÁLEZ

Por su destacada participación en la etapa Local de la Cumbre Nacional de Desarrollo Tecnológico, Investigación e Innovación InnovaTecNM 2023 con el Proyecto: TEPATECH en la Categoría: Industria Eléctrica y Electrónica

Cuernavaca, Morelos, 8 de junio de 2023

DR. ARTURO ERNESTO MARES GARDEA
DIRECTOR DEL TecNM/CENIDET

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Sello Digital:

jKR/q/vBTEZHcr1DUTkfsQ38tLr2aGsFlosOWdBEP1R/KTGs6/zOydXDgYPYZ5F0tS1Ry5uRN
1tHomagW8yMRYggBuE433u+NdNtI5mNrSDkP0QMp6EuWX+NbZjj66Ivpizf1aQF2odc5+9WoR
VMfveAeH2x0a+cWN79Fwo9MnIa7T8b955CRgssyK3T+brFt0CLXQqjv01FCXT4epyZSUuyVrx
LmhScJVu jDSmdti7Q2g5Lpp6B59rOwSWxYRWy+CbDHO+PbXPx/bPEE+NdcTzar1XV9AB0d6M2
cGV968n2dHnmje1Eu2A8PwClRNXWs34P4VxsOpehIUwi+01sZA==



Y072823

<http://constancias.cenidet.tecnm.mx>





EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

OTORGA EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A

YEN VENTURA GONZÁLEZ

POR SU DESTACADA PARTICIPACIÓN PRESENTANDO
EL PROYECTO TEPATECH

DE LA CATEGORÍA INDUSTRIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA (NIVEL POSGRADO), EN LA
**CUMBRE NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
INNOVATECNM 2023**
ETAPA REGIONAL, REGIÓN 5

MARCO ANTONIO TRUJILLO MARTÍNEZ
**DIRECTOR DE VINCULACIÓN
E INTERCAMBIO ACADÉMICO**





