



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

Facultad de Ciencias de la Electrónica

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE COMPACTACIÓN PARA  
BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS DE SEGUNDA GENERACIÓN  
(BRIQUETADORA)

TESIS

Para obtener el grado de:

Licenciada en Ingeniería en Energías Renovables

Presenta:

Michelle Bouchan Gámez

Directores de tesis::

Dra. Laura Alicia Paniagua Solar

Dr. Javier Flores Méndez

Puebla, Pue.

Agosto 2025



**BUAP**

**Of. No. FCE/SEAC/TIT-237/2025**

**OFICIO DE MODALIDAD DE TITULACIÓN POR  
EXAMEN PROFESIONAL POR TESIS**

**Mtro. Juan Manuel Rosas Tapia**  
**Director de Administración Escolar**  
**de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**PRESENTE**

**At'n: Psic. Marcela Juárez Zenteno**  
**Jefa del Departamento de Titulación**

Por este medio, me permito hacer de su conocimiento que el alumno:

Nombre completo del alumno: Michelle Bouchan Gámez  
Matrícula: 201735726  
Sustentante de la carrera: Ing. en Energías Renovables  
Fecha de examen profesional: 19/08/2025 a las 10:00 horas

<b>NOMBRE</b>	<b>CARGO</b>
DRA. ESTEVEZ SÁNCHEZ KAREN HARIANTTY	<b>Presidente</b>
DRA. GRANIEL GARCÍA BEATRIZ EUGENIA	<b>Secretario</b>
DR. MORENO CORIA LUIS ARMANDO	<b>Vocal</b>

**NOTA: ESTE DOCUMENTO TIENE VIGENCIA POR 6 MESES A PARTIR DE LA FECHA DE SU EXPEDICIÓN.**

**Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su atención y apoyo me despido.**

**Atentamente**  
**"Pensar bien, para vivir mejor"**  
**H. Puebla de Z., a 1 de septiembre de 2025**

  
**M.C. David César Malpica Moreda**  
**Secretario Académico**

C.c.p-Archivo  
JFPR/DCMM



## PARA ELLAS



Para todas las versiones que ya no soy, pero que me trajeron hasta aquí.

Para la niña de ocho años que, con cuadernos llenos de sueños, decidió que quería estudiar la universidad, prometiéndose un futuro que aún no podía imaginar, y para cada una de las mujeres en las que se convirtió después.

Para las que se derrumbaron en silencio y, con manos temblorosas, aprendieron a recoger cada fragmento para reconstruirse, forjando la fortaleza, la valentía, el coraje y la resiliencia que hoy me sostienen.

A ti, mi dulce niña: este es el primero de los muchos títulos que soñaste escribir antes de tu nombre.

*[...] "Haz que el sacrificio valga la pena" – y lo hizo.*

# **AGRADECIMIENTOS**

A la **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**, por abrirme sus puertas y permitirme formar parte de su comunidad académica. Esta institución, que en su momento representó un sueño, me brindó la oportunidad de crecer profesional y personalmente. Los retos que me planteó, tanto en el aula como fuera de ella, fueron determinantes en mi desarrollo.

Agradezco profundamente al cuerpo académico, a los laboratorios y a las aulas que fueron escenario de aprendizajes y superaciones; a los doctores que, con su exigencia y compromiso, contribuyeron a mi formación como ingeniera y como persona. De manera especial, expreso mi reconocimiento a mi tutor, cuyas palabras en un momento de duda —“¿*Qué historia quieres contar el día de mañana?*”— me impulsaron a continuar. Agradezco también al entonces secretario académico, quien confió en mí y me brindó la oportunidad de corregir el rumbo. Gracias Dr. Gregorio, gracias Dr. Coria por su apoyo y por ser parte esencial de este logro.

A la **Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial**, por la oportunidad de integrarme a su equipo y contribuir al objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas a través de proyectos que impulsan el desarrollo sostenible del Estado. Ser parte de esta institución me permitió reafirmar mi vocación, acercarme a comunidades alejadas y constatar que la ingeniería puede transformar realidades.

Agradezco las facilidades brindadas para la realización de este trabajo, así como la valiosa colaboración de las **2,809 personas** que compartieron su experiencia y conocimiento. Este contacto directo demostró que el verdadero desarrollo no solo se encuentra en los libros, sino en el trabajo de campo, en el diálogo con las comunidades y en la aplicación práctica del conocimiento.

Agradezco con especial cariño y profundo respeto a mi **jurado y asesores** por dedicar su tiempo, compartir su experiencia y acompañarme con paciencia y compromiso en este camino. Sus observaciones, consejos y aportes no solo enriquecieron este trabajo, sino que también me brindaron claridad y motivación para seguir aprendiendo. Su apoyo ha dejado una huella significativa en mi formación académica y personal, y siempre llevaré conmigo las enseñanzas que me regalaron en este proceso.

**A mi familia**, gracias a ustedes soy la persona que soy. A mi madre, porque si de personas resilientes y valientes hablamos, tú eres de los grandes ejemplos de mujer que cumple con tal descripción. Tu coraje, resiliencia y valentía me inspiran a seguir tu ejemplo. Gracias por no permitir que me rindiera y por tu apoyo. Si tú nunca te has rendido, yo nunca lo haré.

A mis hermanos, porque con cada uno de ustedes aprendí que nadie es igual al otro, que cada quien elige su propio camino y construye su propia realidad. Comprendí que uno nunca debe ser ejemplo del otro, pues cada historia es única. Con ustedes aprendí a amar más a mi prójimo que a mí misma. Los quiero más que a mí, y cuidarlos me enseñó más que cualquier lección universitaria.



**A mi Parabatai**, con quien crecí de la mano, un día me prometí enseñarte que los sueños se construyen con trabajo y esfuerzo. Nunca es tarde para volver a empezar: yo tardé ocho años, pero al final todo se puede lograr. Mil veces quise rendirme y, aun así, nunca lo hice. Conquista tus sueños y alcanza tus metas: tú puedes, lo vas a lograr.

**A mi pollito rompiendo el cascarón**: vuela, cumple tus sueños, lucha por tus metas y no te detengas por nadie, ni siquiera cuando tú mismo te digas que no. Solo tú puedes llevarte a los lugares que anhela tu corazón. Cuidarte me dejó mil aprendizajes. Gracias. Tiburoncín, tú puedes, lo vas a lograr; solo decide intentarlo y no te detengas hasta conseguirlo.

*Hermanos, son fuertes, son generosos, son valiosos, son valientes. Los amo.*

**A Edgar**, por todas las veces que me brindaste tu apoyo, por escucharme y darme aliento cuando más lo necesitaba. Rendirme nunca fue una opción. Cumplí lo que un día prometí: cueste lo que cueste, lo voy a lograr. En ti encontré un pedacito de lo que no tuve. Gracias.

**A mis abuelitos**, por cuidarme, enseñarme y amarme. Los amo. Abuelito Pablo, deseo que la vida me premie con un hombre tan bueno, íntegro, valiente y admirable como tú. Con cada una de tus historias aprendí que la vida se debe disfrutar, respetar y vivir plenamente. Mil gracias. Abuelita Lupita, los tiempos cambian, y tu historia y oportunidades fueron la semilla que hoy hace florecer mi realidad. Me ayudaste a crecer y me escuchaste cuando más lo necesité. Gracias por todo.

**A mi editor**, por su paciencia, compromiso, compañía y apoyo incondicional en todo momento. Por escucharme incluso cuando yo misma no alcanzaba a oír mis propios pensamientos, y por entenderme cuando ni yo comprendía lo que mi mente intentaba decir. Por ser testigo de las veces que esta autora se quebró al no saber hasta dónde era “suficiente”. Gracias por estar, por tu amistad, tu respaldo moral, tu guía, tu sabiduría, tu buen juicio y tu perspectiva. Gracias, porque al escucharme me ayudas a reconocer mi voz interior y a mantenerme fiel a mis principios.

**A Arantzita**, por apostar por mí y darme la oportunidad de cumplir una de mis metas. Gracias por esa llamada que me hizo consciente de lo afortunada que soy y por recordarme que, aunque a veces digan “NO”, los planes de Dios son perfectos y, cuando es para ti, todo se acomoda para ser un “SÍ”. Gracias por la condición que me impulsó a seguir adelante. Hoy por fin puedo decirte que cumplí y que no defraudé tu confianza. *Cuentas claras, amistades largas*. Qué buena suerte conocerte y aprender de ti.

**A las Labubas**, por su paciencia en aquellos días en que los desvelos y el mal humor propios de escribir tesis se apoderaban de mí. Por sus consejos, sus preguntas y la emoción compartida. Sin duda, todas ustedes fueron parte esencial del camino, ya sea por las risas, los chismecitos, los ánimos o por simplemente escucharme; porque cuando explico y me escuchan, puedo descubrir lo que aún hacía falta. Ustedes cuatro son las lucecitas que me han enseñado a disfrutar incluso del trabajo godín.

A mi familia Cinemex, por enseñarme la magia del cine y por cada oportunidad y facilidad que pusieron en mi camino. **A mi jefazo**, porque con su apoyo y confianza, el “trabajar y



estudiar” se convirtió en un salvavidas que me ayudó a crecer y construirme. De ti aprendí que de poco sirve todo el esfuerzo si no nos damos también un respiro. **A Cam**, por todas esas pláticas en las escaleras que me ayudaron a desahogar lo que en su momento me dolía, y por mostrarme que tenía una habilidad que desconocía. Tu amistad hizo que mi “*primer trabajo*” fuera una experiencia inolvidable y amena. **A Lu**, porque sin aquellas conversaciones en la azotea, con un café y las luces del centro como testigos, no habría comprendido que, por mucho que nuestro corazón anhele una meta, si el esfuerzo se vuelve doloroso y nos apaga más de lo que nos hace brillar, entonces no lo vale. Contigo aprendí que todo merece la pena si, al final del día, el corazón se siente tranquilo y en paz con las cosas más sencillas de la vida.

A mis amigos, a todos los que conocí en el camino y que hoy forman parte de quien soy. **A mi jefecito**, por enseñarme que la “sana competencia” sí existe y por demostrar que todas esas asesorías en álgebra rindieron frutos. **A Chema**, porque con un proyecto estudiantil de prepa me diste pistas del camino que estaba destinado para mí, y porque la “energía infinita” de una amistad adolescente iluminó mi camino más de una vez a lo largo de todos estos años.

**A mi Lis**, que, a pesar de la distancia, siempre has estado junto a mí. Tu valentía, nobleza y ejemplo me inspiran a ser tenaz para alcanzar mis sueños sin importar la distancia ni los retos que impliquen los nuevos comienzos; porque quizá lo que hace verdaderamente feliz a nuestro corazón se encuentre al otro lado del mundo. Eres la hermana que la vida me permitió elegir. *Te quiero*.

**A Diana**, porque tú eres lo bonito que la pandemia trajo a mi vida. Gracias a ti aprendí que el apoyo se puede construir a distancia y que siempre es posible compartir lo bueno y lo malo de las situaciones para encontrar luz en el camino. De ti también aprendí que no importa ir contra corriente si, al llegar a tierra firme, alcanzamos nuestras metas contra todo pronóstico.

A mis profesores, a todos aquellos que trascendieron más allá de sus clases. Para esa maestra que me enseñó que el cielo es el límite y, aun así, nos impulsó a conquistar la Luna. Para aquellos profesores que me enseñaron el amor-odio por los números y me maravillaron con su entusiasmo y pasión por enseñar.

**A mi papi Javi**, por querer enviarme a la Sor Juana y ponerme frente al álgebra, aunque eso me hiciera desesperar por cada ejercicio que no sabía resolver. Gracias por obligarme a esforzarme más de lo que creía posible. Usted me enseñó que lo que no sé, lo aprendo; lo que no me sale, lo practico; y que, *para ser huevones, hay que ser huevones con éxito*. Que el triángulo de la vida importa y que, para llegar a lo más alto, es necesario tener buenos cimientos. Usted forma parte de los míos. Profe, fui rebelde y no quise aprender corte y confección, pero me obligué a aprender y a ser buena en ingeniería. De todos ustedes, algún día espero llegar a ser tan buena como maestra.

A **Educación Continua**, todos y cada uno de ustedes fueron el “curita” que necesitaba, aunque no supiera dónde encontrarlo. Todos tenemos una historia, pero cuando la compartimos, descubrimos que en este camino llamado *universidad*, la empatía, la



solidaridad, el compañerismo, el trabajo en equipo y la amistad nos enseñan y nos forjan aún más que un salón de clases y dos horas de diapositivas. Gracias por las oportunidades, la confianza y la amistad. Me ayudaron a descubrir parte de mi vocación y lo que realmente me hace feliz. A quienes me apoyaron con dudas y conocimientos que no tenía: gracias por su disposición, por los desvelos y las horas de trabajo, por la paciencia y el cariño. Sin su apoyo, este camino hubiera sido más largo y oscuro. De todo corazón, mil gracias.

*“Si quieres ir rápido, ve solo; si quieres llegar lejos, ve acompañado.”*

A la familia, amigos y personas que no tienen su nombre de manera textual aquí, pero que sin duda fueron parte de mi camino: mil gracias. Formaron parte de mi historia y ahora son parte de mí. Con su ejemplo, su apoyo y su cariño, me ayudaron a llegar hasta aquí y a cumplir la primera parte de mi proyecto de vida.

*A Dios, por las oportunidades, las bendiciones, la fortuna y mi existencia.*

*Porque los tiempos de Dios son perfectos y todo sucede según su plan.*



## **RESUMEN**

*El agotamiento de los combustibles fósiles y la persistente pobreza energética en zonas rurales han impulsado la búsqueda de soluciones sostenibles basadas en energías renovables. En este contexto, las briquetas elaboradas a partir de biomasa de residuos agroindustriales representan una alternativa viable para la producción de biocombustibles sólidos de segunda generación. No obstante, su implementación en México enfrenta limitaciones importantes, principalmente debido a la falta de maquinaria accesible que permita una compactación eficiente en contextos rurales.*

*Esta investigación tuvo como objetivo diseñar una briquetadora artesanal con sistema de desmolde integrado, adecuada para su uso en economías familiares rurales. Para ello, se empleó una metodología mixta que combinó el análisis técnico del proyecto desarrollado por la SMADSOT (Proyecto B) con herramientas de simulación por Elemento Finito. A partir de las oportunidades de mejora identificadas en campo, se propuso una solución optimizada que integra un mecanismo de tornillo sin fin como sistema de compresión, seleccionado por su eficiencia, simplicidad mecánica y bajo costo. Además, se incorporó una innovación incremental: un sistema de desmolde funcional ausente en modelos previos.*

*El diseño fue modelado en SolidWorks y evaluado con el Método del Elemento Finito bajo el criterio de Von Mises. Las simulaciones se realizaron considerando un usuario promedio de 74 kg, validando una presión de compactación de 5 MPa y un desmolde efectivo de briquetas de hasta 1.69 kg. Los resultados confirmaron que los componentes operan dentro de márgenes seguros, con tensiones inferiores al límite elástico y factores de seguridad superiores a 1.3.*

*El costo estimado de fabricación, de entre \$4,930.00 MXN y \$10,045.60 MXN, evidencia su viabilidad económica. Esta briquetadora es segura, accesible y replicable, contribuyendo al fortalecimiento de la producción local de biocombustibles sólidos en Puebla, promoviendo el aprovechamiento energético sostenible de la biomasa, la economía circular y la autonomía energética en comunidades rurales.*



# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES .....</b>	<b>14</b>
INTRODUCCIÓN.....	15
PROBLEMÁTICA.....	17
ANTECEDENTES.....	19
JUSTIFICACIÓN .....	21
HIPÓTESIS.....	22
OBJETIVOS.....	22
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos.....	22
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>25</b>
2.1 Biomasa.....	26
2.1.1 Clasificación de la biomasa.....	27
2.1.2 Ventajas y desventajas de la biomasa.....	30
2.2 Biocombustibles.....	31
2.2.1 Historia de los biocombustibles.....	32
2.3 Briquetas.....	34
2.3.1 Tipos de aplicación.....	35
2.4 Control de calidad de una briqueta.....	36
2.4.1 Forma.....	36
2.4.2 Tamaño.....	37
2.4.3 Densidad aparente .....	37
2.4.4 Apariencia.....	38
2.4.5 Contenido de humedad.....	38
2.4.6 Granulometría .....	39
2.4.7 Tiempo de humo.....	39
2.4.8 Presión de compactación.....	40
2.5 Historia de las briquetas.....	40
2.6 Tipos de máquinas briquetadoras y métodos de briquetado.....	41
2.6.1 Tecnología manual-artesanal.....	42
2.6.1.1 Ventajas y desventajas.....	44



2.6.1.2	Moldes para briquetas.....	45
2.6.1.2.1	Molde de PVC ranurado vertical.....	46
2.6.1.2.2	Molde de PCV perforado.....	47
2.6.1.2.3	Moldes grandes de PVC.....	48
2.6.1.2.4	Prensa y molde para pistola de calafateo.....	48
2.6.1.2.5	Molde de PVC partido.....	50
2.6.1.2.6	Moldes de madera.....	50
2.6.1.3	Costos aproximados en el mercado.....	52
2.6.2	Tecnología semiindustrial.....	55
2.6.3	Tecnología industrial.....	55
2.6.3.1	Ventajas y desventajas.....	56
2.6.3.2	Costos aproximados en el mercado.....	57
2.7	Factores para escoger una briquetadora.....	59
2.8	Indicadores de eficiencia energética en briquetadoras artesanales.....	60
2.9	Tipos de materiales para la fabricación de una briquetadora.....	62
2.10	Análisis de viabilidad económica para la implementación de tecnología de briquetado en productores agrícolas.....	64
2.11	Pobreza energética.....	67
2.12	Justicia climática.....	69
2.12.1	Justicia climática en México y Puebla.....	70
2.13	Objetivo de Desarrollo Sustentables 7.....	71
2.14	Adopción de tecnologías en medios rurales.....	75
2.15	Solidworks.....	78
2.15.1	SolidWorks Simulation.....	79
2.15.2	SolidWorks Motion.....	79
2.16	Tornillo sin fin.....	80
2.17	Análisis de Von Mises.....	82
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>		<b>83</b>
3.1	Diseño de la máquina.....	84
<b>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>		<b>95</b>
4.1	Análisis mecánico.....	96
4.2	Análisis por el Método del Elemento Finito.....	106
4.2.1	Base principal, molde y pared.....	107
4.2.1.1	Análisis de tensiones.....	107



4.2.1.2	Análisis de desplazamiento.....	108
4.2.1.3	Análisis del Factor de Seguridad (FDS).....	108
4.2.2	Tornillo.....	109
4.2.2.1	Análisis de tensiones .....	109
4.2.2.2	Análisis de desplazamiento .....	110
4.2.2.3	Análisis del Factor de Seguridad (FDS) .....	111
4.2.3	Boca móvil.....	112
4.2.3.1	Análisis de tensiones .....	112
4.2.3.2	Análisis de desplazamiento .....	112
4.2.3.3	Análisis del factor de seguridad .....	113
4.3	Consideraciones para el correcto funcionamiento de la máquina .....	114
4.4	De la referencia al rediseño: comparativa técnica .....	116
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....</b>		<b>120</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>123</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>125</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>132</b>
ANEXO I.....		133
ANEXO II.....		147
ANEXO III.....		150
ANEXO IV.....		154
ANEXO V.....		165



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Origen de la biomasa a partir de la energía solar directa mediante captación fotoquímica. Adaptado de [14].....	27
Figura 2. Clasificación de la biomasa según su modelo de negocio. Elaboración propia a partir de [17].....	28
Figura 3. Clasificación por composición, origen y estado de la biomasa. Elaboración propia a partir de [18].....	29
Figura 4. Producción de briquetas a partir de método artesanal (máquina amarilla) [25].....	35
Figura 5. Mujeres locales elaborando briquetas de pasto, con el uso de una briquetadora de tipo semiindustrial [26].....	35
Figura 6. Moldeadores manuales para la producción de briquetas en Etiopía [28] ..	36
Figura 7. Formas de briquetas [18].....	37
Figura 8. Prensa de husillo antigua [101]. .....	40
Figura 9. Método de compactación más sencillo [35]. .....	41
Figura 10. Principios de la tecnología artesanal. Elaboración propia a partir de [36], [37] y [38].....	43
Figura 11. Molde de PVC con ranuras verticales para drenar el aglutinante y anillo de retención [42].....	46
Figura 12. Proceso de briquetado con moldes de PVC con ranurado vertical. [42] .....	46
Figura 13. Moldes para la producción de briquetas sólidas y con orificio central [42] .....	47
Figura 14. Se pueden usar moldes perforados sólidos o divididos (A), o moldes de ranuras horizontales (B). [42].....	47
Figura 15. Molde grande de PCV [42].....	48
Figura 16. En (A) se observa el riel de briquetas de prensa grande y en (B) prensa de palanca compuesta grande [42].....	48
Figura 17. Molde ranurado vertical y molde perforado de cuatro ranuras con anillo de retención y tapa final. [42].....	49
Figura 18. (A) libro abierto, (B) inclinación abierta, (C) diapositiva abierta [42].....	50
Figura 19. Molde múltiple de madera ranurado cuadrado [42] .....	50
Figura 20. (A) molde de madera ranurado cuadrado (versión de cuatro briquetas), (B) briquetas expulsadas con poste, (C) elementos desmontables poste, espaciadores y briquetas [42].....	51
Figura 21. Molde de madera ranurado casi redondo [42].....	51
Figura 22. Moldes ranurados y pistones de madera [42] .....	52
Figura 23. Prensa de briquetas para compactar periódico. Costo comercial \$1922.21 MXN. Venta en línea [43].....	52
Figura 24. Exprimidor casero para frutas. Costo comercial \$5, 990.00 MXN. Venta en línea [44].....	53
Figura 25. Exprimidor casero fabricado para extraer jugo de frutas [45].....	53
Figura 26. Modelo de briquetadora manual de palanca [46].....	53



Figura 27. Modelo de briquetadora artesanal diseñado por la SMADSOT. Elaboración propia. ....	54
Figura 28. Briquetadora semi industrial marca GOMINE [7]. ....	55
Figura 29. Briquetadora industrial para madera y biomasa marca Ostargi [47]. ....	55
Figura 30. Máquina briquetadora modelo GM-50V de la empresa GOMINE [7]. ....	57
Figura 31. Consumo energético por tipo de combustible [70]. ....	72
Figura 32. Diagrama de economía lineal a circular. Basado en [71]. ....	74
Figura 33. Tornillo sin fin comúnmente utilizado en prensas [104]. ....	80
Figura 34. Ejemplo de aplicación de tornillo sin fin con uso de transportación (A) [81] y mezcla (B) [82]. ....	81
Figura 35. Uso de un torillo sin fin en briquetadora por el proceso de extrusión [83].	81
Figura 36. Tipos de torillos de banco o prensas manuales [103]. ....	81
Figura 37. Diagrama de flujo del Proyecto B. Elaboración propia. ....	86
Figura 38 Diagrama de flujo de la máquina briquetadora de este trabajo. Elaboración propia. ....	90
Figura 39. Partes del torillo de banco tipo Pony [102]. ....	90
Figura 40. Base principal .....	91
Figura 41. Orificios para empalmar el tornillo sin fin y las guías. ....	91
Figura 42. Molde. ....	92
Figura 43. Pieza pared de reforzamiento. ....	92
Figura 44. Pieza vástago .....	93
Figura 45. Tornillo sin fin, pieza completa .....	93
Figura 46. Sistema de expulsión .....	94
Figura 47. Briquetadora completa 1. Boca fija, 2. Boca móvil, 3. Guías, 4. Base, 5. Manivela, 6. Tornillo, 7. Mecanismo .....	94
Figura 48. Área del espacio de compactación .....	97
Figura 49. Partes que componen al miembro superior del cuerpo humano [97]. ....	100
Figura 50. Sistema de expulsión instalado en la pieza base principal. ....	102
Figura 51. Palanca de primera clase [99]. ....	102
Figura 52. Partes que componen del miembro inferior del cuerpo humano [97]. ....	104
Figura 53. Vista superior (A) e inferior (B) de base fija, molde y pared, estudio de tensiones. ....	107
Figura 54. Vista superior (A) e isométrica (B) de base fija, molde y pared, estudio de deformaciones. ....	108
Figura 55. Vista isométrica de la banca fija, molde y pared, estudio factor de seguridad .....	109
Figura 56. Vista isométrica del tornillo, estudio de tensiones .....	110
Figura 57. Vista lateral tornillo, estudio de tensiones. ....	110
Figura 58. Vista isométrica del tornillo, estudio deformaciones .....	111
Figura 59. Vista isométrica del tornillo, estudio factor de seguridad .....	111
Figura 60. Vista lateral (A) e isométrica (B) de banca móvil, estudio de tensiones. ....	112
Figura 61. Vista isométrica de la banca móvil, estudio desplazamiento .....	113
Figura 62. Vista isométrica de la banca móvil, estudio de factor de seguridad. ....	114



## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ventajas y desventajas del uso del uso de la biomasa como fuente de energía.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 2. Nivel de procesamiento de la materia prima y la dimensión del biocombustible sólido a partir de la NOM ISO 17225.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3. Tamaño de las briquetas según su aplicación.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4. Configuración de la geometría de una briqueta para su correcta oxigenación.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5. Modelos de prensas artesanales.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6. Resumen de costos de adquisición, traslado y operatividad de la máquina GOMINE.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 7. Salario promedio según sexo y años de escolaridad de trabajadores en actividades agrícolas y ganaderas. Elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE).....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 8. Análisis de los costos de tecnología de briquetado. Elaboración propia a partir de [43], [44], [46], Anexo II y ANEXO III.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 9. Comparación de los diferentes criterios para la elección del mecanismo a implementar.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 10. Paso para rosca ACME.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 11. Variable para calcular el par de torción para bajar la carga.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 12. Variables actualizadas para calcular el par de torción para bajar la carga.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 13. Análisis mecánico.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 14. Materiales biomásicos con viabilidad de compactación.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 15 Comparación técnica de máquinas briquetadoras.....</i>	<i>117</i>



# CAPÍTULO 1. GENERALIDADES



# INTRODUCCIÓN

El agotamiento de los hidrocarburos tradicionales, como el petróleo y el gas, está llevando a México y a muchos otros países a buscar soluciones en energías alternativas [1]. En México, las reservas de petróleo y gas están disminuyendo, lo que pone de relieve la necesidad de desarrollar y promover energías renovables, como la bioenergía, que aprovecha la biomasa para generar energía de manera sostenible [2].

La biomasa, que incluye residuos orgánicos de fuentes agroindustriales, forestales y domésticas, puede ser transformada en briquetas, un biocombustible sólido. Las briquetas son una alternativa viable a la leña y el carbón, ya que tienen un poder calorífico competitivo. Esto las hace atractivas tanto para la calefacción doméstica como para aplicaciones industriales, reduciendo la deforestación, la pérdida de biodiversidad y la contaminación atmosférica asociada con la quema de leña y carbón [3].

En las zonas rurales de México, donde la pobreza energética es considerable y muchas viviendas aún dependen de leña y carbón para cocinar, las briquetas pueden jugar un papel crucial. En el estado de Puebla, según datos del PEAC-ProAire [4], la leña es el segundo combustible más utilizado para cocinar, con 374,888 viviendas, lo que representa el 22% de los hogares en la entidad.

La fabricación de briquetas no solo ayuda a gestionar de manera sostenible los residuos orgánicos, sino que también ofrece oportunidades de empleo y desarrollo local [5]. Sin embargo, la implementación efectiva de esta tecnología requiere inversión en maquinaria y capacitación.

Las briquetadoras son máquinas que a través de la compactación de la biomasa producen briquetas de los residuos agroindustriales previamente utilizadas en un proceso.

Existen briquetadoras de tipo artesanal, semiindustrial e industrial [6]. Las semiindustriales e industriales disponibles en el mercado pueden procesar diversos tipos de biomasa, como astillas de madera, cáscaras de arroz, cáscaras de cacahuate, aserrín y carbón vegetal, bajo criterios de temperatura y presión. Estas máquinas pueden producir entre 300 kg/h y 500 kg/h y cuestan entre \$47,458.00 MXN y \$64,449.00 MXN. No obstante, para un funcionamiento óptimo, la materia prima debe



cumplir con especificaciones como un tamaño de partículas de 6 mm y un contenido de humedad entre 8% y 12%. No cumplir con estas condiciones puede aumentar el desgaste de la máquina y afectar la calidad del producto terminado [7]. Por lo anterior, las máquinas semiindustriales e industriales no son una opción rentable para una producción familiar dado los costos de adquisición y mantenimiento, generando así la necesidad del desarrollo de máquinas artesanales.

A causa de las barreras actuales para la producción y comercialización de biocombustibles sólidos en México, como la escasa demanda y la falta de infraestructura, el desarrollo de briquetadoras asequibles y de bajo consumo energético es crucial. Estas máquinas deben ser fáciles de operar y económicamente accesibles para las comunidades rurales, el modelo de briquetadora que cumple con estas características es la de tipo artesanal [8]. La inversión en estas tecnologías no solo contribuiría a la seguridad energética del país, sino que también promovería beneficios ambientales y sociales, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7 sobre energía asequible y no contaminante.



## PROBLEMÁTICA

En la fabricación artesanal de briquetas a partir de residuos agroindustrial radica la falta de una maquinaria adecuada [8] y eficiente que optimice tanto la compactación como el desmolde. En este enfoque se limita significativamente la eficiencia y escalabilidad de la producción, por lo que, se abre una puerta a la innovación en este ámbito. Diversos intentos de compactación para briquetas, como el uso de prensas manuales y demás maquinas poco eficientes en Guatemala, Nicaragua, Colombia y Mozambique [9, 10, 11, 12], han mostrado que la forma en que se briqueta y el desmolde manual siguen siendo un obstáculo significativo para la eficiencia y calidad de la briqueta. Por lo tanto, la necesidad de herramientas más avanzadas y la automatización del proceso para mejorar la eficiencia y aumentar la productividad y la implementación de tecnologías modernas permitirá obtener briquetas de mayor consistencia y calidad, optimizando tanto la compactación como el desmolde.

Además, la necesidad de desarrollar tecnologías asequibles para la producción de briquetas es crucial en México pues, el uso predominante de combustibles fósiles en los hogares contribuye a la pobreza energética, afectando la salud y el medio ambiente. La producción de briquetas a partir de biomasa agroindustrial se presenta como una alternativa viable y sostenible, que podría mejorar el acceso a energía limpia y asequible.

En este contexto, la implementación de briquetadoras asequibles en comunidades rurales es clave para mejorar la producción de biocombustibles sólidos y abordar la pobreza energética. La optimización de indicadores como el consumo energético específico, la presión de compactación y la humedad del material de entrada y salida permitiría no solo aumentar la eficiencia del proceso, sino también garantizar un producto con mejor rendimiento térmico. La producción de briquetas no solo representaría una fuente de combustible más limpia y eficiente en comparación con los combustibles fósiles, sino que también impulsaría el empleo y el desarrollo local. Además, el uso de biomasa como materia prima tiene el potencial de ser neutro en emisiones de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Sin embargo, para que estas tecnologías sean accesibles en comunidades con recursos limitados, es crucial desarrollar briquetadoras que integren mecanismos modernos de prensado



y desmolde, con la capacidad de obtener los mejores resultados con el menor uso de energía y viabilidad económica para su implementación sostenible.



## ANTECEDENTES

En la literatura se encontraron diversos tipos de briquetadoras con diferentes enfoques y tecnologías orientadas a la producción de biocombustibles sólidos utilizando residuos agroindustriales. En los últimos años, estas investigaciones se han centrado en mejorar la compactación y la calidad del biocombustible producido, lo que ha resultado en la evolución de tecnologías tanto artesanales como semiindustriales e industriales, cada una con características y limitaciones específicas que responden a distintas necesidades de producción, costos y materiales utilizados.

**López Rivera et al.** [10] de la Universidad de FAREM-Estelí Nicaragua desarrollaron una briquetadora funcional de tipo artesanal que utiliza un gato hidráulico tipo botella y que ejerce una presión de 2 toneladas para compactar diversos materiales en moldes circulares, las briquetas obtenidas tienen un sistema de aireación implementado mediante un tubo central en el molde, lo que mejora la ignición del biocombustible. No cuenta con un sistema de desmolde.

**Vera Velásquez** [11] menciona que la utilización de métodos artesanales en Nabuzimake, Colombia, para la fabricación de briquetas, donde el proceso involucra moldes cilindros de PVC y émbolos de madera, y no cuenta con un mecanismo eficiente de desmolde, lo que limita la eficiencia del proceso. El costo de la implementación de esta tecnología fue de aproximadamente \$73.00 MXN.

**Valiente Mack** [9] exploró métodos manuales para la producción de briquetas a partir de residuos de arroz en Guatemala. Se utilizaron dos métodos: un triquet y una prensa de palanca fabricada de madera en su totalidad, ambos de operación manual. Las briquetas se elaboraron con un molde de PVC de 3 pulgadas de diámetro y 30 cm de largo. El producto producido carece de un sistema de aireación y la eficiencia del proceso no es óptimo.

**Huaman Ramos et al.** [13] diseñaron y elaboraron briquetas ecológicas utilizando una prensa C de tipo tornillo que ejerce una presión de 50.33 MPa. Las briquetas, hechas de diversos residuos agrícolas, a partir de un molde metálico, presentan una forma trapezoidal con un agujero central para mejorar la aireación durante la ignición, aunque el desmolde sigue siendo manual.



En Mozambique, **Marsá Pérez** [12] llevó a cabo un proyecto de fabricación de briquetas mediante un método artesanal, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población local. Durante la primera fase del proyecto, la producción de briquetas se realiza sin utilizar ningún instrumento para la compactación; en su lugar, se emplean las manos y la fuerza natural de cada individuo para moldear las briquetas a partir de papel reciclado. Este proceso manual limita la escala de fabricación. A medida que el proyecto avanza, se propuso implementar un sistema más eficiente, introduciendo tecnología de prensado con una pistola de silicona para mejorar la compactación y facilitar el desmolde de las briquetas, optimizando así el proceso de desmolde, pero no el de compactación.

Con lo anterior, se destaca la diversidad de enfoques y tecnologías en la producción de briquetas, desde métodos artesanales hasta soluciones industriales, subrayando la importancia de diseñar máquinas que no solo sean eficientes, sino también accesibles y adaptadas a las necesidades y recursos de las comunidades rurales abriendo áreas de oportunidad que cumplan con el diseño y construcción de briquetadoras que cumplan con normas técnicas internacionales y cuente con un sistema de desmolde eficiente para mejorar la producción de biocombustibles de segunda generación por el método artesanal que para aplicación en un ambiente rural, es la mejor opción por sus múltiples características y beneficios.



## JUSTIFICACIÓN

El agotamiento de los hidrocarburos en México ha llevado a la búsqueda de alternativas energéticas sostenibles, como la producción de briquetas a partir de biomasa de segunda generación. En las zonas rurales, donde la pobreza energética es un problema grave, muchas familias aún dependen de la leña y el carbón, lo que contribuye a la deforestación y la contaminación. Las briquetas, con su alto poder calorífico, representan una solución más limpia y eficiente. Sin embargo, la falta de maquinaria adecuada para la producción de briquetas limita su adopción en estas comunidades.

Las briquetadoras artesanales disponibles suelen ser limitadas en términos de presión para una adecuada compactación y carecen de un sistema de desmolde, lo que afecta la calidad y consistencia de las briquetas producidas. En comparación, las briquetadoras semiindustriales e industriales, aunque más eficientes, son costosas y no están adaptadas a las necesidades y recursos de las comunidades rurales.

Esta tesis se justifica en la necesidad de proponer una alternativa artesanal, de bajo costo y fácil mantenimiento, que permita compactar biomasa de forma eficiente para una producción familiar e incorporar un sistema de desmolde funcional, como una opción viable para contextos donde las tecnologías semiindustriales no son accesibles.

Elementos como el uso de tornillos sin fin para aplicar una fuerza constante o la integración de mecanismos de aireación para mejorar la ignición, tomados de tecnologías más avanzadas, pueden ser adaptados a un diseño artesanal. Esto no solo mejorará la calidad de las briquetas, sino que también incrementará la productividad y sostenibilidad de su producción en áreas rurales.

Al crear una briquetadora artesanal que priorice la accesibilidad, la facilidad de uso y un desempeño funcional en condiciones rurales, se brinda una herramienta concreta para enfrentar la pobreza energética en las comunidades rurales de México. Esto contribuirá al desarrollo local y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en especial en lo que respecta a la energía asequible y no contaminante, y representa una contribución significativa al campo de la bioenergía. Este proyecto se alinea con la necesidad de soluciones innovadoras que respondan a los desafíos actuales en el sector energético, desarrollando tecnologías apropiadas para las comunidades rurales de México.



# HIPÓTESIS

La incorporación de mecanismos funcionales de fuerza y desmolde, permitirán diseñar una briquetadora artesanal adecuada para la producción de biocombustibles de segunda generación a escala familiar, cumpliendo con criterios de eficiencia, funcionalidad y adaptabilidad al entorno rural.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Diseñar una briquetadora artesanal con un sistema de desmolde integrado, orientada a la producción de biocombustibles de segunda generación en contextos de economía familiar.

### Objetivos específicos

1. Investigar y comparar los distintos mecanismos de compresión utilizados en briquetadoras artesanales, con el propósito de identificar características técnicas que fundamenten el diseño de una propuesta adecuada.
2. Diseñar una briquetadora artesanal que cumpla con los criterios normativos y técnicos requeridos por la **Norma Colombiana NTC 2060** para una producción segura y eficiente de biocombustibles a escala familiar
3. Analizar, mediante un enfoque matemático, el sistema de fuerzas del mecanismo de compactación y desmolde, con el fin de evaluar su funcionamiento, justificar su integración técnica y verificar que la presión aplicada sea coherente con lo reportado en la literatura y adecuada para una producción a escala familiar.
4. Simular en SolidWorks a través del **Análisis por Elemento Finito, utilizando el criterio de Von Mises**, el comportamiento del mecanismo de fuerza integrado en el diseño de la Briquetadora con el propósito de comprobar su estabilidad estructural.
5. Comparar las mejoras implementadas en la máquina briquetadora diseñada en comparación con los modelos preexistentes, con el propósito de determinar



el impacto de dichas mejoras en términos de funcionalidad y desempeño operativo.



*La innovación tecnológica por sí sola no basta; necesita un propósito que trascienda lo técnico y toque lo humano. Cuando la ingeniería se alinea con las necesidades reales de quienes enfrentan desigualdad, se convierte en un acto de justicia.*

*Solo aquella tecnología que nace con el corazón puesto en el bienestar de las personas tiene el poder de construir un mundo verdaderamente resiliente. Diseñar con ese propósito no es solo crear una máquina: es tender un puente entre la esperanza y la dignidad.<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Inspirado en Frank Van Houten, líder en sostenibilidad corporativa y ex-CEO de Philips.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO



## 2.1 Biomasa

A la biósfera terrestre llega una radiación solar de unos  $3 \cdot 10^{24}$  J/año, absorbida y transformada en biomasa por los ecosistemas terrestres y acuático con una eficiencia del 0.1%, lo que equivale a unos  $3 \cdot 10^{12}$  J/año. Esta energía se almacena en forma de 200 Ct de materia vegetal seca por año, gracias a la fotosíntesis, donde aproximadamente 30 GJ se emplean en la síntesis de unas 2 toneladas de biomasa. [14]

La cantidad de energía solar que los vegetales capturan en total es diez veces superior a la energía utilizada directamente por la humanidad y aproximadamente 200 veces mayor que la energía empleada en forma de alimentos.

Considerando que la Tierra tiene un diámetro de unos 104 km y una superficie de unas  $5 \cdot 10^{10}$  hectáreas, se estima que el promedio de rendimiento de biomasa seca es de 4 t/ha al año. Cabe destacar que el rendimiento potencial de cultivos varía dependiendo del tipo de siembra de la que se trate.

Según Iberdrola, en el ámbito energético, el concepto de biomasa se refiere a una fuente de energía renovable que utiliza materia orgánica previamente formada por procesos biológicos o derivados en donde se incluyen las aguas residuales, lodos de depuradora y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU). [15]

Para La Cal Herrera, en su libro “Energía de la Biomasa y el agua” [16] da varias definiciones de este término, sin embargo, la más acertada para el contexto de este trabajo es en donde menciona que *“la biomasa es la materia orgánica fijada por la fotosíntesis y la materia derivada de las transformaciones naturales o artificiales de dichos compuestos orgánicos”*.

De manera etimológica, la palabra *biomasa* es un término compuesto por el prefijo “bio” (del griego “bios”, vida) y “masa” (del latín “massa”, masa), es decir, “masa biológica” [16].

Por lo tanto, el término biomasa se entiende como la materia orgánica generada a partir de la radiación solar que incide en la Tierra en forma de energía solar directa que se transforma en captación fotoquímica (**Figura 1**) a través de procesos biológicos, naturales e inducidos, que pueden usarse como fuente de energía renovable [14] [16]. Esta materia incluye desde plantas hasta residuos orgánicos como lodos y residuos sólidos urbanos. La energía de la biomasa se produce por fotosíntesis y se libera al



transformarse, principalmente por combustión, proporcionando una alternativa sostenible si su consumo no supera su tasa de regeneración.

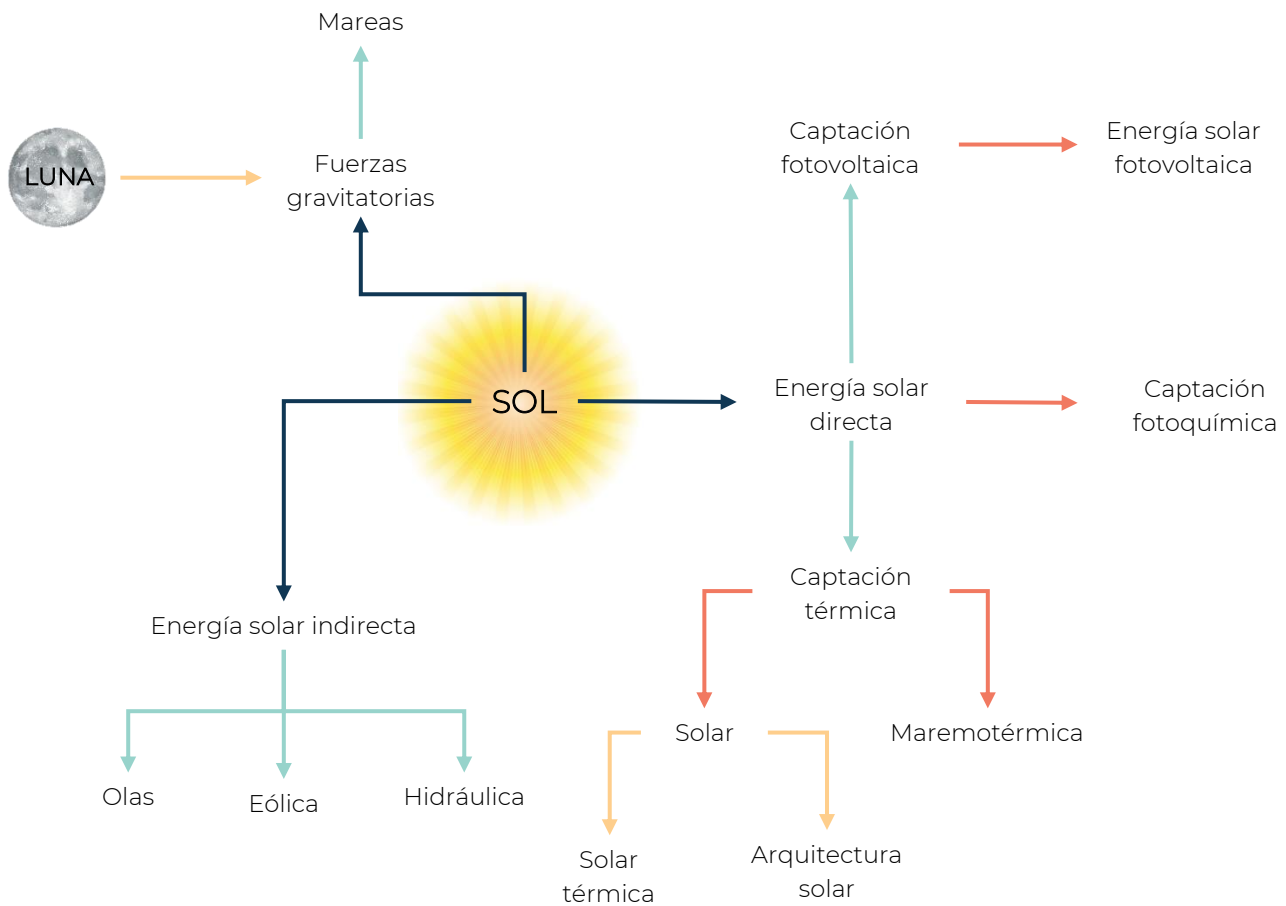


Figura 1. Origen de la biomasa a partir de la energía solar directa mediante captación fotoquímica. Adaptado de [14]

## 2.1.1 Clasificación de la biomasa

La clasificación de la biomasa es crucial para optimizar su aprovechamiento en procesos sostenibles, con dos objetivos principales:

- I. Facilitar la complementación de la biomasa con otros residuos, como los provenientes de agroindustrias u originados en áreas urbanas, con el fin de optimizar costos mediante una adecuada gestión logística, ubicación estratégica de proyectos industriales y maximización del potencial de estos residuos.
- II. Proporcionar un uso más adecuado según las demandas del mercado y para generar un mayor valor añadido a los productos derivados de la biomasa.

La clasificación de la biomasa se basa en las características especiales de cada material, en su procedencia o en su uso final. Según Osorio Flores en su estudio "Uso integral de la biomasa de palma de aceite" [17], "clasificar la biomasa es importante para identificar las posibilidades de negocios que pueden surgir de su aprovechamiento. El uso final y los mercados reflejan las perspectivas de negocios que surgen de la capacidad tecnológica para alcanzarlos económicamente, el valor en el mercado, la competencia y la proyección. La clasificación por origen determina la disponibilidad, el costo y la logística de la biomasa". En la **Figura 2** se presentan los modelos generales de uso y aprovechamiento desde la perspectiva de las oportunidades de negocios, identificando cuatro sectores principales:

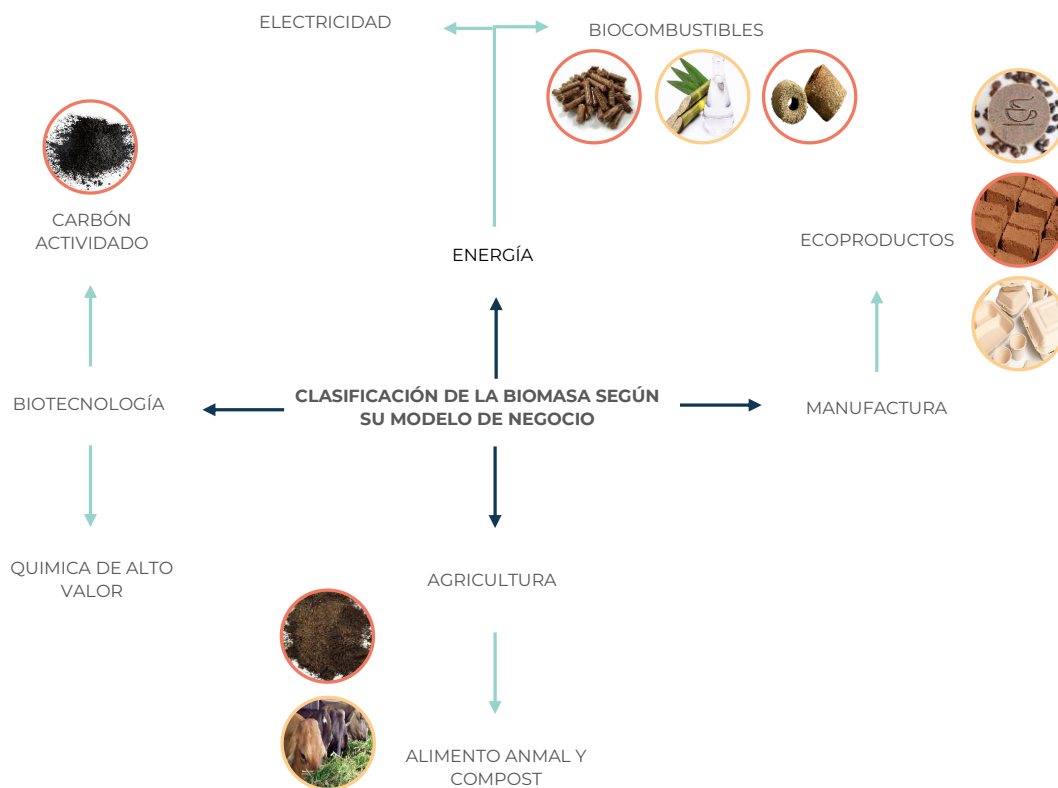


Figura 2. Clasificación de la biomasa según su modelo de negocio. Elaboración propia a partir de [17]

Por otro lado, la clasificación de la biomasa también se basa en su composición, origen y estado, dividiéndola en tres tipos: primaria, secundaria y terciaria. La **biomasa primaria (primera generación)**, también conocida como natural, proviene directamente de ecosistemas sin intervención humana, como las podas naturales en los bosques. Sin embargo, su explotación con fines económicos suele ser poco rentable debido a los costos asociados con la adquisición y transporte de la materia prima. La **biomasa secundaria (segunda generación)**, o residual, se genera como



desecho de actividades agrícolas, forestales, ganaderas e industriales, incluyendo Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Aguas Residuales Urbanas, y se subdivide en categorías según su estado físico. Por último, la *biomasa terciaria (tercera generación)* se origina a partir de cultivos energéticos desarrollados específicamente para la producción de energía, seleccionados principalmente por su alta productividad en biomasa y resistencia, con el objetivo de reducir los costos de cultivo y, por ende, el precio final del producto biomásico [15][16][17].

La **Figura 3** refleja la composición, origen y estado en la que se puede clasificar la biomasa.

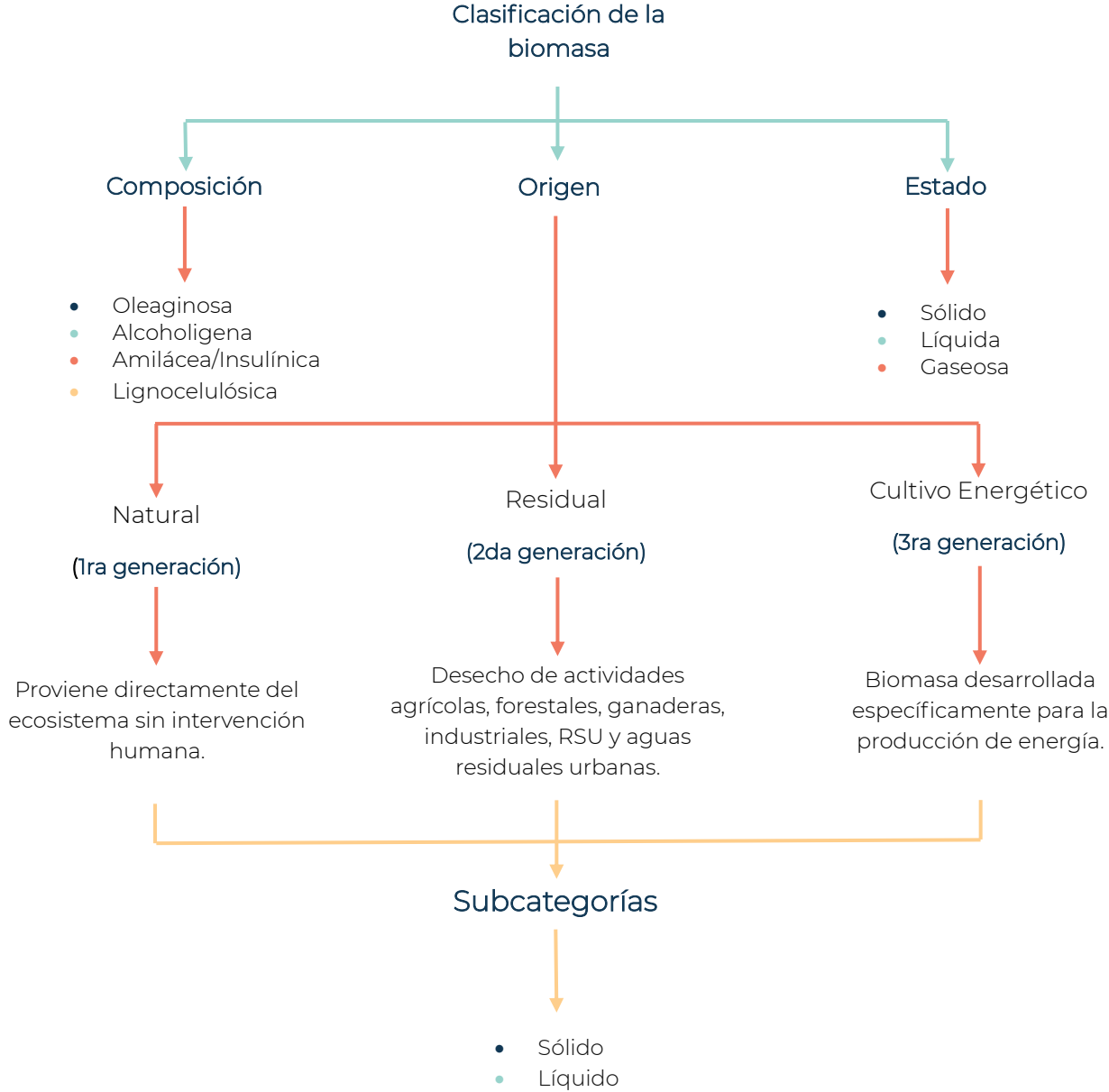


Figura 3. Clasificación por composición, origen y estado de la biomasa. Elaboración propia a partir de [18]



## 2.1.2 Ventajas y desventajas de la biomasa

Como ventajas y desventajas ante el uso de la biomasa como una alternativa de combustible se presenta la **Tabla 1** comparativa:

*Tabla 1. Ventajas y desventajas del uso de la biomasa como fuente de energía.  
Elaboración propia a partir de [16]*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Al proceder del sol, se considera que se trata de una fuente de energía renovable.	Elevada dispersión geográfica.
Tiene una amplia gama de aplicaciones tecnológicas: generación de calor y frío, producción de agua caliente sanitaria, de proceso, de vapor o aceite térmico, energía eléctrica, biocarburantes para el transporte entre otras aplicaciones.	Heterogeneidad. Al tener materiales provenientes de diferentes fuentes de biomasa pueden variar significativamente en su composición, tamaño, contenido de humedad y poder calorífico.
Presenta un balance neutro en emisiones de CO <sub>2</sub> . Por término medio emite <b>0.018 kg/CO<sub>2</sub>/kWh</b> frente a los 0.252 del gas natural y los 0.311 del gasóleo.	Baja densidad energética en comparación con los combustibles fósiles.
En el medio rural, es generadora de empleo al concentrarse en esta zona geográfica de los territorios la mayor parte de los recursos biomásicos.	Necesidad de acondicionamiento para su utilización (pre-tratamientos).
El uso de la biomasa representa una buena oportunidad de desarrollo económico en el territorio donde se desarrolle, una buena proyección de su factibilidad de implementación es el caso de España, donde el sector de la biomasa emplea de manera directa, indirecta e inducida a aproximadamente 33,000 personas, contribuyendo al 0.28% del PIB nacional y generando el 0.9% de los recursos de la Administración General del Estado.	Costos de recolección, transporte y almacenamiento a diferencia de otras fuentes renovables como el sol y el viento.
Reduce la elevada dependencia energética a las fuentes de energía fósil.	-
El uso de biomasa permite al país en donde se desarrolla, ahorrar recursos financieros que de otro modo se destinarían a la importación de energía, además de generar ingresos fiscales.	-



Los inconvenientes asociados al uso de la biomasa como biocombustible se compensarán con determinados procesos de caracterización física a partir de los que se reducirá su porcentaje de humedad, se aumentará su densidad energética y se homogeneizará para moverse con fluidez y de una manera más eficiente. Es el caso de las briquetas, un biocombustible sólido obtenido de residuos forestales y agroindustriales con excelentes cualidades físicas y químicas [16].

## 2.2 Biocombustibles

La Real Academia Española define como **biocombustible** al combustible obtenido mediante tratamiento físico o químico de materia vegetal o de residuos orgánicos [19].

En otras palabras, un biocombustible es un material/concentrado energético obtenido tras someter algún recurso de biomasa a algún proceso de transformación. Los tipos de recursos de biomasa son variados, por lo que se pueden encontrar residuos agrícolas, pecuarios, forestales, sólidos urbanos, entre otros, y se podrán obtener biocombustibles de tipo sólido, líquido y gaseoso, dependiendo del tipo de biomasa de origen, del proceso al que se someta, las características de operación y su aplicación. [20]

En la **Tabla 2** se presente el nivel de procesamiento de la materia prima y la dimensión del biocombustible sólido que se desee producir a partir de la NORMA ISO 17225 que define el marco clasificatorio de este tipo de combustibles, a fin de posibilitar el comercio eficiente bajo estándares comunes.

*Tabla 2. Nivel de procesamiento de la materia prima y la dimensión del biocombustible sólido a partir de la NOM ISO 17225. Elaboración propia a partir de [18]*

NIVEL DE PROCESAMIENTO	TIPO DE ACONDICIONAMIENTO	BIOCOMBUSTIBLE
Bajo o nulo	Desramado o ningún tratamiento	Árbol completo (>500 cm)
	Corte con herramientas afiladas	Troncos o rollos de árboles (>100 cm)
	Corte con herramientas afiladas	Troncos de madera (50 cm a 100 cm)
	Corte con herramientas afiladas	Leñas (5 cm a 100 cm)
	Descortezado	Corteza



	Apilados	Fardos
	Picado	Paja o cultivo herbáceo picado
	Triturado	Restos triturados
	Corte con herramientas afiladas	Costeros y recortes
	Corte con herramientas afiladas	Astillas (5 mm a 100 mm)
	Corte con herramientas afiladas	Aserrín (1 mm a 5 mm)
	Molido	Polvo de combustible
	Cepillado con herramientas afiladas	Virutas (1 mm a 30 mm)
	Secado	Granos o semillas
	Deshidratación de restos fibrosos	Tortas de fibras
	Compresión mecánica	Briquetas (diámetro >25 mm)
	Compresión mecánica	Pélets (diámetro < 25 mm)
	Compresión y formación de paralelepípedos	Pacas o balas redondas
	Presión y extracción mediante químicos	Pepitas y huesos de frutas
	Pretratamiento suave mediante un corto periodo suave mediante un corto periodo de tiempo (1 hora) entre 200 y 300°	Biomasa tratada térmicamente
Alto	Pirólisis de biomasa	Carbón vegetal

## 2.2.1 Historia de los biocombustibles

En la antigüedad el suministro de energía se basaba en la biomasa, y aún hoy en día sigue siendo una importante fuente de energía en los países en vías de desarrollo. La biomasa se une siempre al origen de la vida, ya que se ha usado a lo largo de la historia de la humanidad.

La importancia de la biomasa ha tenido altibajos a lo largo de los años, el hombre la ha utilizado desde la antigüedad como fuente de energía, pero cuando el uso de combustibles fósiles aumentó, el de la biomasa disminuyó llegando a considerarla como una fuente de energía obsoleta. [21]

La historia de los biocombustibles inicia a finales del siglo XIX y nace con el uso de los hidrocarburos como fuente de energía.



El concepto de emplear aceites vegetales como combustible para motores de combustión interna se originó en 1895. Ese año el Dr. Rudolf Diesel desarrolló el primer motor diésel, cuyo prototipo ya se iba a utilizar con aceites vegetales, como el aceite de maní, que en las primeras pruebas funcionó de forma satisfactoria. Años después, Henry Ford hizo el primer diseño de su automóvil modelo T en 1908 con el que pretendía utilizar el etanol como combustible. A principios de la década de 1920, Standard Oil utilizó un 25% de etanol en la gasolina en la región de Baltimore, pero el proyecto fue abandonado debido a los altos precios del maíz, que era la materia prima para producir el etanol, junto con los elevados costos de almacenamiento y las complicaciones del transporte. Además, el petróleo surgió como una opción más barata, eficiente y accesible [22].

La primera experiencia de empleo de un biocombustible en el transporte público se remonta a 1938, al usarse el biodiésel con la línea de ómnibus Bruselas-Lovaina en la Segunda Guerra Mundial. Los alemanes emplearon biodiésel para mover sus flotas de guerra y los vehículos pesados en el norte de África [22].

En la década de los 70's se vivió la crisis del petróleo y con esto disminuyó su oferta, por lo que se disparó su precio de manera preocupante lo que tuvo como consecuencia el alza en los precios de la gasolina llegando a un incremento del 100%. A finales de 1979, por esta crisis, se introdujo una mezcla de gasolina y etanol, que volvió a plantear a los biocombustibles como una alternativa frente al aumento de precios y a la escasez de recursos no renovables.

La crisis del crudo también tuvo repercusiones en Brasil pues en 1975, se desarrolló el proyecto Proalcohol, cuyo objetivo era reemplazar el uso de los hidrocarburos. La Guerra de Kuwait elevó más todavía los precios de los hidrocarburos.

Dos siglos después, en la primera década del siglo XXI, el gobierno norteamericano y de países europeos insistió en generar biocombustibles como fuente de energía alternativa para sustituir el uso de los hidrocarburos convencionales. En 2008, a raíz de la guerra de Irak, el gobierno norteamericano se propuso generar 20% de su consumo de energía con biocombustibles, lo que ayudaría a frenar el alza de los precios del petróleo de esa época. La propuesta de la administración del presidente Bush era utilizar el maíz para generar el biocombustible del país.



Brasil, por su parte, entró en un ambicioso plan de producción a partir de la caña de azúcar, e incluso en los encuentros entre las administraciones brasileña y norteamericana se planteó el cultivo de caña de azúcar a gran escala para aprovecharlo como bioenergético lo que provocó que en los foros mundiales se protestara en virtud de que la rigidez en la oferta de alimentos por su uso alternativo estaba encareciendo los alimentos y podría conducir a hacer más severa el hambre en las regiones de África, América Latina y Asia. Los recursos para combatir el hambre mundial ya eran insuficientes, por lo que la producción de alimentos también se vería afectada debido al incremento en la fabricación de biocombustibles por parte de los países desarrollados, que buscaban cumplir con sus metas de autoconsumo interno de este combustible alternativo [22].

Los biocombustibles son sinónimo de innovación por lo que este sector sigue progresando en la búsqueda y aprovechamiento de más y mejores formas de utilizar la biomasa tal es el caso de los residuos agroindustriales para su producción y pruebas [23]. El origen de esta biomasa ofrece una gran oportunidad para incrementar los ingresos en el sector rural.

## 2.3 Briquetas

Las briquetas son biocombustibles, formados por la compactación o prensado de biomasa, comúnmente la principal fuente de materia prima es la madera y sus residuos, sin embargo, las briquetas se pueden formar por cualquier tipo de biomasa sólida residual. La principal característica de las briquetas es su alta densidad además de su forma usualmente cilíndrica sin ser estrictamente una condición de forma para su producción.

Cada proceso y fabricante produce briquetas de forma y tamaños diferentes.

La producción de briquetas tiene beneficios como [24]:

- Reducción del impacto ambiental.
- Reducir el transporte por la reducción de volumen.
- Reducción de coste de manipulación.
- Incrementar la eficiencia y efectividad del poder calorífico contenido de cada variedad de residuo.
- Desarrollo de una economía social.
- Su manipulación es fácil.



- No genera ni humo ni chispas.
- No genera malos olores.
- Su uso podría contribuir a la disminución de la deforestación.
- Sostenibilidad al producirse con materiales reciclados o residuos, lo que contribuye a disminuir la cantidad de desechos.
- Emiten menos contaminantes en comparación con los combustibles fósiles.

### 2.3.1 Tipos de aplicación

Se utilizan principalmente para:

**Calefacción:** Son una fuente eficiente de calor en estufas, chimeneas y calderas, ofreciendo una alternativa a la leña o al carbón.

En provincias de Cuba se utilizan las briquetas para la producción de la industria ladrillera en su proceso de secado en donde la implementación de este tipo de biocombustible los ayuda a tener un ahorro de hasta el 40% en su consumo de leña logrando la producción de 120,000 ladrillos a partir del uso de 18,000 briquetas, como se observa en la **Figura 4**. [25]



*Figura 4. Producción de briquetas a partir de método artesanal (máquina amarilla) [25]*

**Cocción:** Se pueden usar en parrillas, barbacoas y cocinas para asar alimentos, proporcionando un calor uniforme y duradero. Regiones de Ghana, en el oeste de África, producen briquetas a partir de pasto, tierra y un aglutinante con las cuales pueden cocinar a fuego lento y contribuyen a la disminución de la deforestación y el riesgo de incendios como se observa en la **Figura 5**. [26]



*Figura 5. Mujeres locales elaborando briquetas de pasto, con el uso de una briquetadora de tipo semiindustrial [26].*

**Producción de energía:** En algunas industrias, las briquetas se utilizan como combustible en calderas para generar vapor o electricidad.



En España, la producción de briquetas ha tenido un importante auge con una producción de 30,000 toneladas equivalentes de petróleo y 12 instalaciones de briquetado existentes. El sector doméstico es el mayor consumidor con el 80% de la producción al utilizarlas para la calefacción, el resto se destina para producciones energéticas en pequeñas industrias como la cerámica (10%), o en hornos y panaderías (10%) [27].

**Reducción de residuos:** Las briquetas pueden elaborarse a partir de residuos orgánicos (como aserrín o restos de biomasa), lo que contribuye a reducir la cantidad de desechos.

En Etiopía, se fabricaban briquetas compuestas por un 60 % de aserrín y un 40 % de cáscaras de café y semillas de algodón, las cuales posteriormente se vendían a hoteles de clase media en Addis Ababa que contaban con estufas de leña. Estas briquetas eran producidas con un molde manual tipo colmena, como el que se observa en la **Figura 6** [28].



*Figura 6. Moldeadores manuales para la producción de briquetas en Etiopía [28]*

**Eficiencia energética:** Tienen un alto poder calorífico y queman de manera más limpia que otros combustibles fósiles, lo que contribuye a una menor emisión de gases contaminantes.

## 2.4 Control de calidad de una briqueta

A continuación, se identifican las características establecidas según la **Norma Técnica Colombiana NTC 2060** en las que puede influir una máquina briquetadora para la producción de este tipo de biocombustible [29].

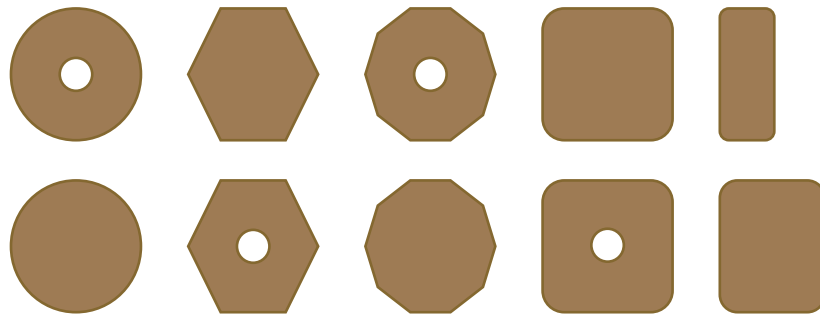
### 2.4.1 Forma

La forma de las briquetas depende del tipo de aplicación que se le dé, los requerimientos del usuario final, la máquina o molde con el que se fabriquen y las necesidades de almacenamiento, sin embargo, se pueden encontrar de forma



rectangular, ovoide, cilíndrica, tetraédricas entre otras. Las formas más comunes se observan en la **Figura 7**.

A pesar de que la forma no define la calidad de combustión de la briqueta, en la mayoría de los casos se fabrican con forma cilíndrica para ofrecer un aspecto lo más parecido a la madera [18].



*Figura 7. Formas de briquetas [18]*

## 2.4.2 Tamaño

A diferencia de los pellets, comúnmente las briquetas se caracterizan por tener un diámetro entre los 0.05 m y 0.1 m y una longitud de entre 0.05 m y 0.4 m. El tamaño debe de ser uniforme en conjunto con el poder calorífico, y las características físicas y mecánicas de las briquetas.

El tamaño de las briquetas dependerá del uso que se les dará y la maquinaria implementada para su producción, sin embargo, en cuanto a su longitud, como se observa en la **Tabla 3**, se pueden encontrar los siguientes tamaños [30].

**Tabla 3. Tamaño de las briquetas según su aplicación [24] [30].**

LONGITUD DE LAS BRIQUETAS (m)			
Aplicación	Industrial	Menor productor	Familiar
Tamaño	0.3 y 1	0.1 y 0.5	0.02 y 0.06

## 2.4.3 Densidad aparente

La **densidad aparente** de la biomasa es un parámetro fundamental en el proceso de compactación, ya que influye directamente en la estabilidad estructural de las briquetas, su eficiencia energética y las condiciones de almacenamiento y transporte. Este parámetro se define como la relación entre la masa de la biomasa y el volumen que ocupa, incluyendo los espacios vacíos entre partículas [30].



Una biomasa con baja densidad aparente presenta una mayor porosidad, lo que dificulta su compactación debido a la cantidad de aire atrapado entre las partículas. Para compensar esta característica, es necesario aplicar mayores presiones o aumentar la cantidad de aglutinante. Sin embargo, una compactación eficiente permite obtener briquetas con mayor resistencia mecánica, reduciendo su tendencia a fracturarse durante el manejo y almacenamiento.

La densidad de la briketa influye directamente en su comportamiento durante la combustión. Briquetas con baja densidad tienden a arder más rápido y de manera menos controlada, lo que puede generar combustión incompleta y aumentar la emisión de humo y material particulado. En contraste, aquellas con mayor densidad presentan una combustión más uniforme y prolongada, optimizando el aprovechamiento energético del biocombustible y reduciendo la emisión de contaminantes. [31]

La densidad aparente de la biomasa también impacta la logística de almacenamiento y transporte. Biomasa con baja densidad ocupa mayor volumen, lo que incrementa los costos y la complejidad en su manejo. Al compactarla en briquetas con una densidad superior, se optimiza su almacenamiento, reduciendo la absorción de humedad y minimizando su degradación durante el tiempo de anaquel.

El diseño de la briquetadora debe tomar en cuenta la densidad aparente de la biomasa procesada para determinar la presión de compactación requerida. Biomosas de mayor densidad pueden requerir fuerzas de prensado más elevadas para lograr una estructura compacta y estable. Asimismo, este parámetro influye en el tiempo de prensado y en el proceso de desmolde, ya que biomosas más densas pueden necesitar una mayor retención de presión antes de ser expulsadas del molde sin comprometer su integridad estructural [32].

#### 2.4.4 Apariencia

Deben ser homogéneas, con una superficie lisa y sin fisuras o defectos visibles que puedan afectar su rendimiento al ser quemadas [24].

#### 2.4.5 Contenido de humedad

Se debe de asegurar un nivel debajo del 10% al 15%, para asegurar una combustión eficiente cuando se trata de una producción semiindustrial a industrial, sin embargo,



cuando se trata de un proceso artesanal el porcentaje de humedad debe de ser mayor al 20% [24].



## 2.4.6 Granulometría

Mientras mayor y más irregular sea el tamaño de la biomasa, más difícil será su compactación, pero también habrá mayor cantidad de oxígeno y la contaminación por emisión de gases aumentará. Por tanto, debe de llevar un pretratamiento de trituración ya que el tamaño no solo afecta a las propiedades de secado, sino que también influye en el proceso de densificación [33] y de oxigenación y, por ende, supondrá una mala combustión del producto final. Para el acondicionamiento de la granulometría específica para el proceso al que se lleve la biomasa, los equipos que deben de ser considerados son las astilladoras estáticas, semimóviles y móviles; molinos de martillo, cribas de disco y sistemas de disgregación [20].



## 2.4.7 Tiempo de humo

Para la etapa de la estabilización de la llama, es importante que exista un contacto eficiente en el área combustible-comburente para disminuir al máximo el tiempo de humo el cual debe de ser menor a 2 minutos. Para lograrlo se debe configurar la geometría de la briqueta a modo que se permita la mayor oxigenación del producto por lo que se debe de considerar la perforación de agujeros como se observa en la Tabla 4 [31].

*Tabla 4. Configuración de la geometría de una briqueta para su correcta oxigenación. Elaboración propia a partir de [31]*

CONFIGURACIONES DE AGUJEROS CONSIDERANDO UNA BRIQUETA DE DIÁMETRO 9 CM Y ALTURA 11.5 CM		
No. de agujeros	Configuración	Observaciones
1		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se tiende a estabilizar la flama.</li> <li>• Genera humos durante un periodo de 10 min.</li> </ul>
2		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se estabiliza la llama en un período corto, luego se apaga y cuesta volver a encender.</li> <li>• Una vez apagada la llama se vuelve a generar humo.</li> </ul>



4		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se logra encender y mantener una llamada constate.</li> <li>• Generación de humo inferior a 2 min.</li> </ul>
6		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se logra mantener la llama en los agujeros de mayor diámetro, sin embargo, el combustible se consume rápidamente.</li> </ul>

### 2.4.8 Presión de compactación

Para asegurar una briqueta de calidad, se debe de trabajar con un buen parámetro de presión ya que de este valor depende la cantidad de aglutinante a utilizar.

El aglutinante, se puede interpretar como el “pegamento” que se requiere para que las partículas de la biomasa se puedan unir entre sí que ayudadas con la fuerza de presión queden permanentemente unidas con mayor firmeza. El aglutinante no debe de ser tóxico al momento de la combustión.

Al existir una gran variedad de residuos sólidos agroindustriales, se debe de caracterizar de manera experimental e individual la presión correcta para cada uno de los casos para asegurar un correcto parámetro. Sin embargo, el valor de la presión se puede estandarizar con el método de briquetado que se implemente [18].

## 2.5 Historia de las briquetas

Una máquina briquetadora tiene la capacidad de compactar o prensar residuos sólidos granulados o previamente triturados de diferente origen para convertirlos en briquetas de alta densidad.

En Europa, durante la primera guerra mundial, las prensas de husillo, como la que se ilustra en la **Figura 8**, se utilizaban para la fabricación de briquetas y funcionaban con el mismo principio que las máquinas de cortar carne. Producían una masa continua de briquetas que se cortaban en secciones. La prensa de husillo ejerce una menor



Figura 8. Prensa de husillo antigua [10].



presión que la prensa de pistón y tiene una ampliación limitada a los tipos de desechos que pueden procesarse [34].

Los métodos industriales de briquetado se remontan a la época de la segunda mitad del siglo XIX. Desde ese tiempo, el uso de las briquetas ha estado ligado a periodos de escasez de combustible y a épocas de crisis. Durante la Segunda Guerra Mundial la fabricación de briquetas a partir de residuos de madera y otros desperdicios se encontraba muy extendido en Europa y América. Después de la guerra, las briquetas fueron segregadas del mercado por los hidrocarburos baratos.

El uso de las briquetas regreso cuando en los años 70 y principios de los 80 el costo de la energía se elevó en Escandinavia, EE. UU y Canadá.

Actualmente, se producen briquetas de combustible de bajo costo económico, a partir de residuos no utilizados para otros usos de mayor valor [27].

## 2.6 Tipos de máquinas briquetadoras y métodos de briquetado

Para la producción de briquetas se pueden emplear las tecnologías más simples como la compactación con el uso de las manos (Figura 9) hasta la implementación de grandes fuerzas de compresión proporcionadas por motores y sistemas hidráulicos y neumáticos. Estos métodos se pueden clasificar en tres métodos principales: artesanal, semi industrial e industrial [31].



Figura 9. Método de compactación más sencillo [35].

Dentro de estos métodos se encuentran los que requieren de aglutinante y los que no. El más conveniente es el que desprecia el uso de aglutinante, sin embargo, para ellos se requieren prensas de gran tecnología y costo elevado que, además, demandan de un equipo de secado y grandes cantidades de energía.



## 2.6.1 Tecnología manual-artesanal

En esta sección se describe el enfoque de la tecnología artesanal, entendido como una alternativa productiva basada en el aprovechamiento de recursos locales y en procesos simples que no dependen de maquinaria industrial. Este tipo de tecnología permite desarrollar soluciones accesibles, sostenibles y adaptadas a contextos específicos, particularmente en comunidades rurales o con recursos limitados [36].

La tecnología artesanal se caracteriza por emplear herramientas de bajo costo y técnicas sencillas, accesibles y replicables, que permiten transformar materias primas disponibles en el entorno inmediato. Su flexibilidad y capacidad de adaptación a las necesidades locales, así como la participación activa del usuario en el proceso productivo, la convierten en una opción tecnológicamente viable y socialmente pertinente.

En este contexto, el desarrollo de una máquina briquetadora responde plenamente a los principios de la tecnología artesanal (como los que se resumen en la **Figura 10**), al tratarse de un dispositivo manual que utiliza mecanismos simples, como palancas o tornillos sin fin, para la compactación de briquetas sin requerir energía eléctrica ni el uso de maquinaria industrial [37]. Su diseño se basa en materiales accesibles y técnicas constructivas sencillas, lo cual facilita tanto su fabricación como su mantenimiento. Al priorizar la funcionalidad y calidad del producto por encima de la complejidad tecnológica y la cantidad, se promueve la creación de una herramienta asequible, reproducible y adaptable a otros entornos rurales con características similares.

Además, en este tipo de procesos las herramientas necesarias, como moldes y aglutinante, son de fácil acceso y la compactación se realiza con una presión baja, que no supera los 5 MPa, lo que facilita aún más su implementación en contextos rurales [13].

De manera implícita, esta propuesta retoma los planteamientos de autoras como Rocío Tovar Novoa [38], quien subraya que las tecnologías apropiadas deben promover la autonomía de las comunidades, fortalecer el conocimiento local y favorecer una producción sustentable. Así, el diseño de esta briquetadora no sólo representa una solución técnica para el aprovechamiento de residuos agroindustriales, sino también una herramienta social que impulsa el



empoderamiento comunitario y la transición hacia formas más justas y sostenibles de generación de energía.



Figura 10. Principios de la tecnología artesanal. Elaboración propia a partir de [36], [37] y [38]

En la **Tabla 5** se muestran **tres modelos de prensas artesanales** que utilizan el mecanismo de **palanca de segundo grado** [39]. Este mecanismo es comúnmente utilizado en este tipo de prensas debido a la practicidad de su fabricación y la ventaja mecánica que ofrece para compactar las briquetas. Sin embargo, entre mayor fuerza se requiera, mayores serán las dimensiones de la prensa.

Tabla 5. Modelos de prensas artesanales. Elaboración propia a partir de [18]

MODELOS DE PRENSAS ARTESANALES			
Tipo de prensa	Prensa simple	Prensa metálica simple	Micro prensa de palanca compuesta
Presión por briqueta	5 a 15 kg/cm <sup>2</sup>	3 kg/cm <sup>2</sup>	27 kg/cm <sup>2</sup>
Ilustración			



### 2.6.1.1 Ventajas y desventajas

El uso de este tipo de tecnología presenta diversas ventajas y desventajas como las siguientes:

#### VENTAJAS

**I. Bajo costo de implementación**

Las prensas manuales suelen ser más económicas de construir y mantener en comparación con las máquinas industriales y semiindustriales. Esto las hace accesibles para comunidades con recursos limitados.

**II. Simplicidad en el diseño y operación**

Generalmente el diseño de estas herramientas tiene diseños sencillos, lo que facilita su uso y reduce la necesidad de capacitación especializada.

**III. Autonomía energética**

Al no depender de fuentes de energía externas, las prensas manuales son ideales para áreas sin acceso confiable a electricidad o combustible [40].

**IV. Fomento de prácticas sostenibles**

La producción artesanal de briquetas promueve el aprovechamiento de residuos orgánicos locales, contribuyendo a la gestión de desechos y a la reducción de la deforestación [41].

#### DESVENTAJAS

**I. Menor eficiencia y productividad**

La capacidad de producción de las prensas manuales es limitada, lo que puede no ser suficiente para satisfacer demandas elevadas de combustible.

**II. Calidad inconsistente de las briquetas**

La presión manual no puede ser suficiente para lograr la compactación óptima, resultando en briquetas de menor densidad y eficiencia energética. [40]

**III. Esfuerzo físico requerido**

La operación manual implica un esfuerzo físico considerable, lo que puede ser una limitación para ciertos usuarios o en producciones prolongas para pasar de una producción artesanal a semi industrial.

**IV. Limitaciones en el control de parámetros**



A diferencia de las máquinas automatizadas, las prensas artesanales ofrecen menos control sobre variables como la presión y temperatura, lo que puede afectar la uniformidad y calidad del producto final.

### *2.6.1.2 Moldes para briquetas*

En los dispositivos artesanales, la elección del molde para briquetar depende del nivel de producción y de las condiciones específicas de cada operación. No existen moldes correctos o incorrectos, mejores o peores, sino que su funcionalidad dependerá de factores como la disponibilidad de materiales y herramientas, el costo, el nivel de habilidad requerido y las necesidades de fabricación de las briquetas.

Para la construcción de los moldes, materiales como PVC y madera son opciones viables debido a su **bajo costo y fácil acceso**. Sin embargo, el uso de metal es altamente recomendable cuando sea posible, ya que ofrece **mayor durabilidad, fuerza de compresión y resistencia**. Su implementación dependerá del diseño del molde y de los recursos disponibles. El molde seleccionado o diseñado influirá en la forma final de la briqueta, las cuales pueden ser cuadradas o circulares, con o sin orificio central.

Como cualquier herramienta, los moldes requieren un **mantenimiento adecuado** para prolongar su vida útil y garantizar su correcto funcionamiento. En el caso de moldes de PVC y madera, es fundamental limpiarlos adecuadamente para eliminar los residuos de biomasa. Además, los moldes de madera deben recubrirse con una sustancia repelente al agua, lo que no solo los protege de la humedad, sino que también reduce el esfuerzo necesario para expulsar la briqueta.

Existen diferentes tipos de moldes los cuales se muestran a continuación [42]:



### 2.6.1.2.1 Molde de PVC ranurado vertical



Figura 11. Molde de PVC con ranuras verticales para drenar el aglutinante y anillo de retención [42]

El uso de un sistema de drenaje con ranuras verticales en los moldes, como el que se observa en la **Figura 11**, reduce la tensión de expulsión en las briquetas en comparación con los moldes de PVC tradicionales con orificios perforados. Esta configuración permite una expulsión manual con menor esfuerzo y facilita la autolimpieza del molde a medida que la briketa es retirada. Además, al no requerir la intervención de la prensa para la expulsión, se optimiza el proceso, permitiendo la compresión inmediata del siguiente molde y aumentando la eficiencia del sistema.

Las ranuras comienzan cerca de la parte superior del molde y se extienden hasta la base, formando segmentos flexibles. Durante el proceso de briquetado, como se observa en la **Figura 12**, se usa un anillo de retención manteniendo estos segmentos en su lugar, y posteriormente se retira para facilitar la expulsión de la briketa. Para un funcionamiento óptimo, la distancia recomendada entre las ranuras va de entre 10 mm y 15 mm, dependiendo de la longitud del molde. Un espaciado de 10 mm (3/8") es adecuado para la mayoría de los diseños, mientras que, en moldes de mayor altura, como los de 400 mm (16"), se sugiere un espaciado de 12 mm (1/2") [42].

Asimismo, para garantizar la estabilidad estructural del molde, se recomienda dejar al menos 25 mm (1") de PVC sin cortes en la parte superior.



Figura 12. Proceso de briquetado con moldes de PVC con ranurado vertical. [42]



### 2.6.1.2 Molde de PCV perforado

A continuación, en la Figura 13 y 14, se muestra la configuración de moldes para la producción de briquetas sólidas y con orificio central.



Figura 13. Moldes para la producción de briquetas sólidas y con orificio central [42]

- A. Poste central
- B. Base de posicionamiento
- C. Plato base
- D. Rieles de expulsión

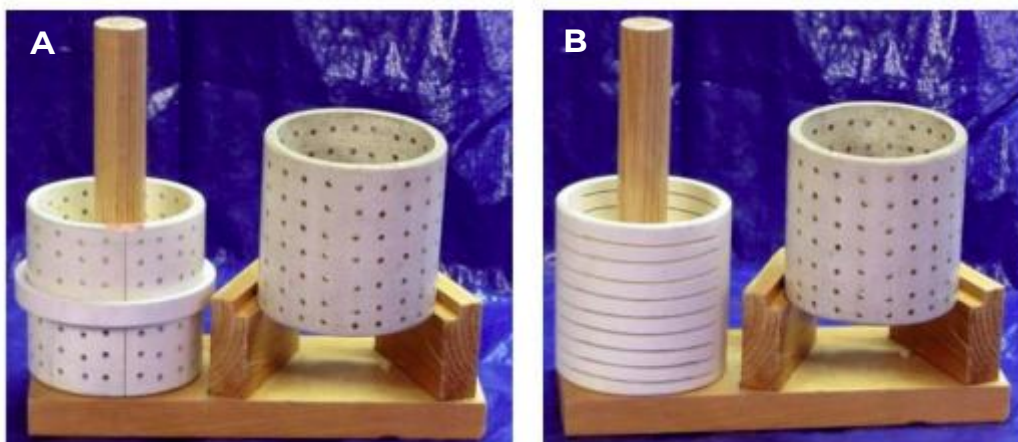


Figura 14. Se pueden usar moldes perforados sólidos o divididos (A), o moldes de ranuras horizontales (B). [42]

### 2.6.1.2.3 Moldes grandes de PVC



Figura 15. Molde grande de PVC [42]

La prensa de palanca compuesta de gran tamaño (Figura 15) suele utilizar un molde de 16" de altura e incorpora un riel de extracción (C) de briquetas montado en la estructura (D). En algunos casos, resulta conveniente el uso de un riel de expulsión móvil para facilitar la operación.

El diseño propuesto en el diagrama ofrece una solución eficiente para esta necesidad. La base de madera empleada en la estructura tiene dimensiones de  $1\frac{1}{2}$ "  $\times$   $5\frac{1}{2}$ ". La altura del componente identificado como "C" varía en función del número y tamaño de las briquetas a expulsar. En la parte superior de este componente se incorpora una muesca de  $\frac{1}{4}$ "  $\times$   $\frac{1}{4}$ " en su lado frontal, permitiendo el apoyo del borde del molde de PVC durante el proceso de expulsión.

Para lograr una mayor producción se puede hacer uso de un conjunto de prensas dando como resultado una prensa de palanca compuesta de gran tamaño como se observa en la Figura 16 cuadro B [42].

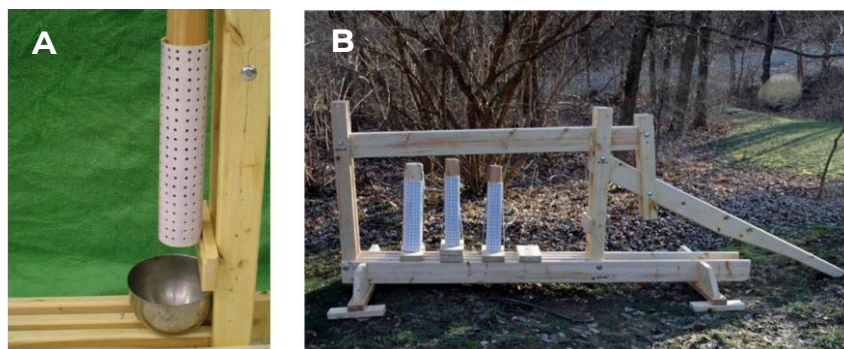


Figura 16. En (A) se observa el riel de briquetas de prensa grande y en (B) prensa de palanca compuesta grande [42]

### 2.6.1.2.4 Prensa y molde para pistola de calafateo

El uso de una pistola de calafateo como prensa, junto con un molde de PVC, representa una alternativa rápida, sencilla y de bajo costo para la fabricación de briquetas. Este diseño que se presenta en la Figura 17 emplea una pistola de calafateo estándar. El molde se fabrica con tubería de PVC de cédula 40, con un diámetro exterior de 49 mm ( $1\frac{15}{16}$ " ), un diámetro interior de 40 mm ( $1\frac{9}{16}$ " ) y un espesor de pared de 4 mm ( $\frac{5}{32}$ " ). Estas dimensiones permiten un ajuste adecuado con el tubo



de calafateo estándar. Sin embargo, la expulsión de la biomasa compactada en un tubo de estas dimensiones puede resultar compleja, por lo que es fundamental considerar estrategias que faciliten este proceso como podría ser agregar algún tipo de aditivo como aceite de motor nuevo o usado, cera, grasa, manteca, etc., al interior del tubo para facilitar este proceso [42].

Para resolver este inconveniente, se emplean moldes con ranuras, ya sea perforadas o dispuestas de manera vertical. Ambos diseños incorporan un anillo de retención (a) que mantiene las ranuras en su lugar durante la compresión. Estos anillos se obtienen a partir del extremo de un acoplamiento o codo de PVC de 38 mm (1 ½”), con un corte de 12 mm (½”) de ancho. Además, uno de los extremos del tubo se sella con una tapa removible.

El proceso de fabricación permite generalmente la producción de dos briquetas en un mismo ciclo, separadas por un espaciador que distribuye uniformemente la biomasa. Una vez realizada la compresión, se retiran la tapa y el anillo de retención, lo que facilita la expulsión de las briquetas mediante una varilla de empuje (b) [42].

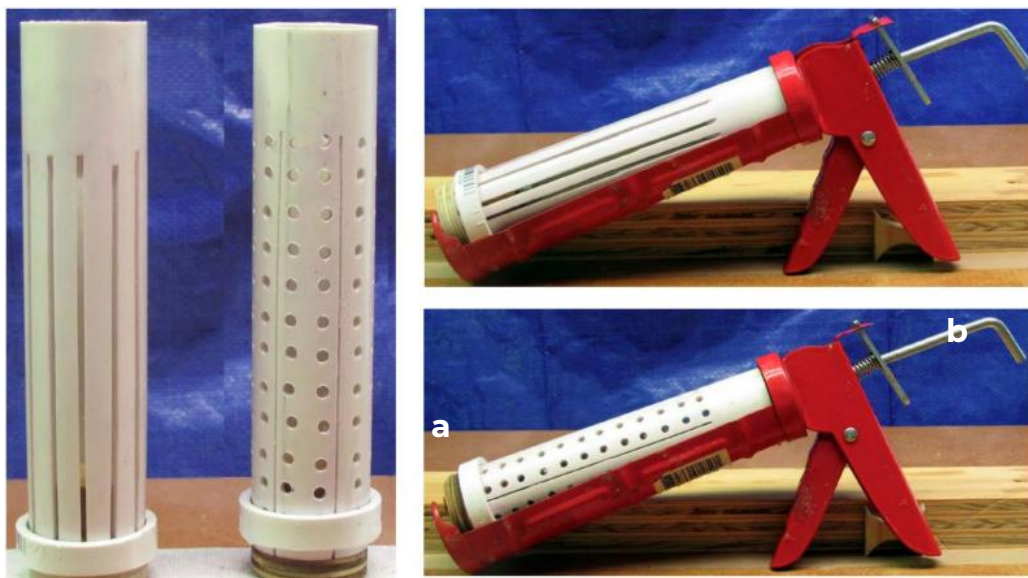


Figura 17. Molde ranurado vertical y molde perforado de cuatro ranuras con anillo de retención y tapa final. [42]



### 2.6.1.2.5 Molde de PVC partido

Con los moldes propuestos anteriormente, el proceso de desmolde es complejo por lo que, como se observa en la **Figura 18**, se sugiere el uso de moldes partidos cuando se desea una menor tensión de expulsión en la briqueta o cuando se desea una expulsión lejos de la briquetadora [42].

Un molde de ranura horizontal o perforado se puede cortar por la mitad verticalmente y mantenerlo unido mediante un corte de anillo de  $\frac{1}{2}$ " y 12 mm de ancho desde el extremo de un acoplador que se usa para unir dos secciones de PVC (el anillo también puede ser de madera), posteriormente de que la biomasa se allá comprimido el anillo se deberá de retirar por la parte superior o inferior del molde y abrirlo con uno de los métodos **A, B y C** que se muestran a continuación:



*Figura 18. (A) libro abierto, (B) inclinación abierta, (C) diapositiva abierta [42]*

### 2.6.1.2.6 Moldes de madera

Cuando el uso del PVC no es una opción o se requiere una briqueta cuadrada (**Figura 19**) o de una forma en particular se recomienda el uso de madera o metal. A continuación, se presentan los distintos tipos de moldes y formas de briquetado:



*Figura 19. Molde múltiple de madera ranurado cuadrado [42]*





Figura 20. (A) molde de madera ranurado cuadrado (versión de cuatro briquetas), (B) briquetas expulsadas con poste, (C) elementos desmontables poste, espaciadores y briquetas [42]



Figura 21. Molde de madera ranurado casi redondo [42]

De manera general, la construcción de un pistón y su varilla de émbolo puede realizarse de diversas maneras, dependiendo de la disponibilidad de recursos y materiales en la región. En caso de contar con madera sólida, esta puede ser una opción viable; sin embargo, cuando su acceso es limitado, se recomienda emplear el método de pistón dividido.

En los casos en que la briqueta requiera un orificio central, como el que se observa en la **Figura 20** y **21**, el poste central debe extenderse hasta el pistón del émbolo. Perforar un orificio con alta precisión en el centro del material puede representar un desafío. Una alternativa más sencilla consiste en utilizar un pistón dividido (**Figura 22**), en el cual cada mitad se fabrica con la cavidad correspondiente, facilitando el ensamble y alineación del orificio.





Figura 22. Moldes ranurados y pistones de madera [42]

### 2.6.1.3 Costos aproximados en el mercado

Dado que se trata de un proceso artesanal, es posible encontrar métodos ingeniosos para prensar y compactar materiales considerados residuos. Un ejemplo claro es el papel, cuyo proceso de producción requiere un alto consumo de agua y energía. Su reciclaje representa una solución a este problema, lo que ha llevado al desarrollo de briquetadoras diseñadas específicamente para este propósito.

En las plataformas de comercio electrónico, existe una amplia variedad de categorías, incluida la de tecnología, donde se pueden encontrar briquetadoras diseñadas particularmente para la producción de ladrillos de papel. De acuerdo con el sitio web de la prensa que se presenta en la Figura 23, este dispositivo cuenta con una estructura robusta y resistente al desgaste, permitiendo convertir periódicos en briquetas utilizadas para la calefacción doméstica.



Figura 23. Prensa de briquetas para compactar periódico. Costo comercial \$1922.21 MXN. Venta en línea [43]

Está fabricado en acero al carbono, con un peso de 2.8 kg y con dimensiones de 32 × 13 × 14 cm. Un dispositivo de este tipo se puede encontrar en línea con envío internacional de \$1922.21 MXN. [43]



El trabajo con metal ofrece una amplia variedad de posibilidades para desarrollar soluciones que optimicen diversas tareas. En la **Figura 24** se presenta un diseño de prensa metálica utilizada para la extracción de jugo de diferentes frutas. El costo de estos dispositivos varía según el tamaño (**Figura 25**); en plataformas digitales, se pueden encontrar modelos desde **\$5,990.00 MXN**, con dimensiones aproximadas de 53.5 × 36.5 × 15 cm. Están fabricados en acero inoxidable de alta calidad, resistente a la presión y de fácil operación, ya que emplean un tornillo sin fin que presiona las frutas hacia abajo para extraer el jugo. [44]



Total height 53.5cm/21.06 inch  
width 36.5cm/14.37 inch  
foot height 15cm/5.91 inch barrel width 32cm/12.6 inch

**Figura 24. Exprimidor casero para frutas. Costo comercial \$5,990.00 MXN. Venta en línea [44]**



**Figura 25. Exprimidor casero fabricado para extraer jugo de frutas [45].**

En cuanto a los diseños de prensas manuales disponibles públicamente, la mayoría están diseñados para prensado por palanca y contruidos con madera y tubos metálicos o PVC. Para la producción de briquetas, se presenta en la **Figura 26** un modelo fabricado en madera con un costo aproximado de \$500 MNX [46].



**Figura 26. Modelo de briquetadora manual de palanca [46]**



El Laboratorio de Biocombustibles de la Facultad de Ciencias de la Electrónica (FCE) colaboró con la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Estado de Puebla (SMADSOT), a través del Departamento de Sustentabilidad Energética, en el **Proyecto B** (nombre codificado por motivos de confidencialidad), cuyo objetivo fue evaluar la viabilidad de producir briquetas a partir de biomasa residual de agave haciendo uso de una briquetadora metálica artesanal de palanca de segundo grado como la que se observa en la **Figura 27 (Anexo I)**.



*Figura 27. Modelo de briquetadora artesanal diseñado por la SMADSOT. Elaboración propia.*

Se obtuvo la cotización de la máquina con las especificaciones solicitadas por la diseñadora, la cual es la misma autora de este trabajo de tesis. El documento, incluido en el **Anexo II**, muestra que el costo puede variar entre **\$4,930.00 MXN** y **\$10,045.60 MXN**, dependiendo del nivel de detalle y sofisticación del diseño. Esta variación refleja la diversidad en los costos que cada fabricante asigna a su trabajo, influida por factores como la ubicación geográfica y sus propios criterios de valoración.



## 2.6.2 Tecnología semiindustrial

A diferencia del método artesanal, las máquinas, como la que se observa en la **Figura 28**, trabajan a un alto nivel por la implementación de un tornillo helicoidal sin fin, por lo que requieren que en su estructura principal se implementen elementos mecánicos, hidráulicos, electrónicos y neumáticos. El uso de estos elementos permitirá trabajar con un rango de presión de entre **5 a 100 MPa** lo que permitirá una mejor compactación de briquetado, pero una mayor demanda de energía [7].



*Figura 28. Briquetadora semi industrial marca GOMINE [7].*

## 2.6.3 Tecnología industrial

Este tipo de método permite un mayor volumen de producción y trabaja con altas presiones lo que provoca un incremento térmico entre los 100°C y 150°C lo que induce la plastificación de la lignina, contenida en la materia prima, que actúa como elemento aglomerante de las partículas de biomasa. La presión de trabajo está en un rango de **100 a 200 MPa**. Para dimensionar el poder de este tipo de maquinaria se presenta la **Figura 29** en donde es fácil dimensionar la diferencia de tamaño entre los tres tipos de tecnologías de briquetado [6] [9] [13].



*Figura 29. Briquetadora industrial para madera y biomasa marca Ostargi [47]*

### 2.6.3.1 Ventajas y desventajas

El empleo de tecnologías industriales y semiindustriales en la producción de briquetas en un contexto rural y a baja escala presenta diversas ventajas y desventajas que es importante considerar [6] [9] [13].

#### VENTAJAS:

##### I. Alta eficiencia y capacidad de producción

Las máquinas industriales y semiindustriales están diseñadas para procesar grandes volúmenes de material en períodos de tiempo reducidos, lo que permite satisfacer demandas significativas de briquetas.

##### II. Calidad uniforme del producto

Estas tecnologías ofrecen un control preciso sobre parámetros como la presión y la temperatura durante el proceso de compactación, lo que resulta en briquetas de densidad y tamaño consistentes, mejorando su eficiencia energética y facilitando su manejo y almacenamiento.

##### III. Automatización y reducción de mano de obra

La automatización de procesos en equipos industriales disminuye la necesidad de intervención manual, reduciendo costos laborales.

##### IV. Versatilidad en el procesamiento de materiales

Estas máquinas pueden manejar una amplia gama de residuos orgánicos y agroindustriales, ampliando las posibilidades de aprovechamiento de diferentes tipos de biomasa.

#### DESVENTAJAS:

##### I. Altos costos de inversión y mantenimiento

La adquisición e instalación de equipos industriales y semiindustriales requieren una inversión inicial importante. Además, los costos asociados al mantenimiento y posibles reparaciones pueden ser significativos.

##### II. Dependencia de fuentes de energía externas



Estas tecnologías suelen requerir un suministro constante de energía eléctrica o combustible fósil, lo que puede ser una limitación en áreas con acceso limitado o costoso a estos recursos.

### III. Complejidad operativa

La operación y el mantenimiento de equipos industriales pueden requerir personal capacitado y especializado, lo que implica costos adicionales en capacitación y contratación.

### IV. Impacto ambiental

Aunque la briquetación contribuye a la gestión de residuos y la producción de combustibles más limpios, el proceso industrial puede generar emisiones y residuos que deben ser gestionados adecuadamente para minimizar su impacto ambiental.

## 2.6.3.2 Costos aproximados en el mercado

Se realizó una cotización de diversos modelos de briquetadoras a nivel internacional, encontrando que la mayoría de los proveedores son de origen chino. Sin embargo, solo se obtuvo respuesta por parte de la empresa Henan Gomine Industrial Technology Co., Ltd., quien proporcionó una cotización para el modelo GM-50V, Figura 30.



Figura 30. Máquina briquetadora modelo GM-50V de la empresa GOMINE [7]

Dicha cotización incluye el costo total de la unidad, que comprende la máquina principal, el motor, los pernos y todos los accesorios necesarios, así como los gastos de envío desde Zhengzhou, China, hasta el puerto marítimo de Manzanillo, Sonora, México.

Las especificaciones técnicas del equipo son las siguientes:

- Potencia del motor: 18.5 kW
- Peso: 650 kg
- Capacidad de producción: 300 - 500 kg/h



- **Dimensiones:** 1.7 × 0.67 × 1.6 m

Dado que se trata de una tecnología de nivel semiindustrial a industrial, este modelo emplea temperatura en lugar de un aglutinante para la compactación de la biomasa. Por ello, la máquina cuenta con un anillo calefactor con una potencia de 1.8 kW × 3.

El tiempo estimado de entrega es de 7 a 10 días, con una garantía de 12 meses, excluyendo piezas sujetas a desgaste. La cotización original se presenta en el **ANEXO III**, con un costo total de **\$2,870.00 USD**, lo que equivale aproximadamente a **\$59,495.10 MXN**, según el tipo de cambio actual.

El proveedor detalló los pasos que se deben de tomar en cuenta para esta compra de importación:

Una vez que la máquina llegue al puerto de Manzanillo, Sonora, será necesario gestionar su traslado hasta el estado de Puebla. Para ello, se deberá contratar un agente aduanal que realice el proceso de desaduanamiento, así como verificar si la máquina está sujeta a algún arancel o permiso especial para su operación en México.

Posteriormente, se deberá coordinar el transporte terrestre para recorrer una distancia aproximada de 880 km, con un tiempo estimado de traslado de 12 a 14 horas. Además, en caso de que la máquina deba ser transportada a una comunidad específica dentro del estado, será necesario considerar los costos adicionales asociados a esta logística.

A continuación, en la **Tabla 6**, se presentan los costos aduanales estimados para el traslado de la máquina a un municipio de Puebla con potencial de uso, como referencia. Una vez en su destino final, es fundamental considerar su operatividad, por lo que se ha realizado un cálculo preliminar del consumo energético de la máquina, suponiendo un funcionamiento de 8 horas diarias durante 25 días al mes.

*Tabla 6. Resumen de costos de adquisición, traslado y operatividad de la máquina GOMINE. Elaboración propia*

RESUMEN DE COSTOS DE ADQUISICIÓN, TRASLADO Y OPERATIVIDAD	
Concepto	Costo estimado (MXN)
Máquina	\$59,495
Despacho aduanal	\$15,000 - \$50,000



Transporte de Manzanillo a Puebla	\$5,000 - \$25,000
Transporte de Puebla a Izúcar de Matamoros	\$1,500 - \$3,000
Impuestos de importación (16% IVA + aranceles)	\$8,700
<b>TOTAL, POR ADQUISICIÓN</b>	<b>\$89,695 - \$146,195</b>
Consumo energético mensual considerando una tarifa eléctrica industrial	\$12,000 - \$16,800
Mantenimiento	\$2,000 - \$5,000
<b>TOTAL</b>	<b>\$103,695 - \$167,995</b>

## 2.7 Factores para escoger una briquetadora

La elección de una briquetadora adecuada es un aspecto clave en el desarrollo de tecnologías de aprovechamiento de biomasa, ya que impacta directamente en la eficiencia del proceso y en la calidad del producto final. Para garantizar una operación eficiente, sostenible y acorde con las necesidades del proyecto, es fundamental basar esta selección en un análisis integral de diversos factores, los cuales se detallan a continuación:

Uno de los primeros aspectos a evaluar es el **tipo de materia prima** que se empleará en la fabricación de briquetas. Cada biomasa posee características específicas, como contenido de humedad, densidad y composición química, que influyen en la capacidad de compactación y en la elección del mecanismo de prensado más adecuado. [48]

Otro criterio relevante es la **capacidad de producción**, ya que determinar la cantidad de material a procesar permite definir si se requiere un equipo de operación manual, semi industrial o industria. Una selección inadecuada podría derivar en una sobrecarga del equipo que afecte su rendimiento y vida útil. [49]

El **consumo energético** del equipo es un factor clave en términos de viabilidad operativa. Las briquetadoras varían en sus requerimientos de energía, dependiendo del tipo de mecanismo empleado y del nivel de automatización. Elegir equipos eficientes reduce costos y contribuye a la sostenibilidad del proceso. [50]



Asimismo, es importante considerar el **tamaño y forma de las briquetas** que se requieren, ya que esto influye en su densidad energética, facilidad de almacenamiento y transporte. Algunos equipos permiten ajustes en estos parámetros para optimizar su aplicación en distintos sectores [48].

La **compatibilidad con distintos materiales** es otro aspecto para considerar. No todas las briquetadoras pueden procesar la misma variedad de biomasa; por ello, es fundamental analizar las características del equipo en relación con el material disponible en la región. [49]

Desde un punto de vista técnico y operativo, se recomienda seleccionar equipos que sean **fáciles de operar y mantener**, lo que impacta en la reducción de tiempos de inactividad y costos asociados al mantenimiento preventivo y correctivo. [50]

Otro factor esencial es la **disponibilidad de repuestos y soporte técnico**. La adquisición de una máquina sin acceso a refacciones o asistencia técnica local puede derivar en largos periodos de inactividad y costos elevados por mantenimiento especializado. [51]

El **presupuesto de inversión** es también un criterio determinante, ya que involucra tanto el costo inicial del equipo como los gastos operativos asociados. Es recomendable analizar diferentes opciones para encontrar un equilibrio entre calidad, eficiencia y costo. [52]

Además, es necesario evaluar los **requisitos de espacio** para la instalación y operación del equipo, garantizando que se adapte a las condiciones del área de trabajo y que cuente con la infraestructura necesaria para su funcionamiento.

Si se considera una futura expansión del proyecto, se recomienda optar por una briquetadora con **posibilidad de escalabilidad**, que permita modificaciones o ampliaciones sin necesidad de reemplazar el equipo completo. [51]

## 2.8 Indicadores de eficiencia energética en briquetadoras artesanales

La eficiencia energética está considerada como la capacidad de desarrollar una actividad o proceso con el menor uso de energía y emisiones posibles pero proporcionando una calidad adecuada [53] y por otro lado, un indicador de eficiencia



energética es un elemento de medición orientado a la optimización de consumo energético y la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan durante esa misma actividad o proceso para asegurar el mejor uso de los recursos utilizados los cuales dependen del grado de desarrollo de la tecnología. [54]

Para el caso de la tecnología que consume energía eléctrica, el desarrollo e implementación de indicadores de eficiencia energética es mucho más sencillo que el de una tecnología artesanal dado que, por la ausencia en el uso de energía eléctrica se tienen que buscar otras alternativas para identificar indicadores de eficiencia que evalúen maquinaria o productos de esta categoría.

Un proceso industrial se caracteriza por producir bienes o productos en serie a base de procesos, métodos y técnicas que impliquen la transformación y modificación de las materias primas. En un proceso industrial se hace uso de maquinaria y se requiere de la intervención de grupos de personas para la operación durante el proceso lo que permite un mayor volumen de producción en menor tiempo y a menor costo permitiendo satisfacer la demanda. [55]

Por su parte, un proceso artesanal es la manera más sencilla y antigua de producir y solo se requiere de habilidades técnicas para la producción, se realiza de manera manual sin la necesidad de intervención de máquinas o herramientas especializadas. Este proceso suele ser familiar o comunitario caracterizado por una producción a pequeña escala con gran inversión de tiempo el cual suele ser eficaz y eficiente siempre y cuando cumpla con las expectativas y calidad del cliente.

Un proceso artesanal es eficiente cuando se tiene una planeación en donde se prioriza el uso de los recursos y se evita el desperdicio.

Al proponer una briquetadora que no dependa de energía eléctrica y su materia prima sean residuos forestales o agroindustriales y sea utilizada por grupos pequeños de personas, el proceso se vuelve netamente artesanal, por lo que, para analizar los indicadores de eficiencia de la máquina se debe de poner principal atención en el diseño, fuerza de compactación de la máquina y proceso de desmolde optimizando el rendimiento del sistema y por ende el producto final.

Para identificar la eficiencia del dispositivo que se propone diseñar se deberán de evaluar las características de calidad de la briqueta final que dependerán de la materia prima que se utilice, así como también del:



- **Consumo energético específico (CEE):** Energía consumida por unidad de masa de briquetas producidas (MJ/kg).
- **Densidad energética del producto:** Relación entre la energía liberada por la briqueta y su volumen.
- **Humedad del material de entrada y salida:** Influye en la eficiencia del proceso y en la calidad de combustión.
- **Presión de compactación:** Relación entre la fuerza aplicada y la densidad final de la briqueta, afectando la resistencia mecánica y el poder calorífico.
- **Tiempo de producción por briqueta:** Factor clave para evaluar la viabilidad operativa en una comunidad rural.

Cabe destacar que, la implementación de una briquetadora artesanal siempre estará estrechamente relacionada con el proceso de producción de las briquetas, es decir, la máquina puede ser eficiente en diferentes escenarios y depender de variables ajenas al diseño propuesto ya que al utilizar energía netamente mecánica proporcionada por el usuario el nivel de compactación no siempre será el mismo así como también, la cantidad de aglutinante que se utilice tendrá afectaciones en la calidad de la briqueta final [53] [54] [55].

## 2.9 Tipos de materiales para la fabricación de una briquetadora

La selección de materiales para la fabricación de una briquetadora es un aspecto fundamental que influye en su durabilidad, resistencia y eficiencia. Dependiendo del tipo de tecnología empleada (artesanal, semiindustrial o industrial) los materiales pueden variar en costo, disponibilidad y facilidad de manufactura. En este sentido, es esencial considerar el nivel tecnológico del equipo para asegurar un equilibrio entre costos, durabilidad y eficiencia operativa. Mientras que en la tecnología artesanal se prioriza la reutilización de materiales y la facilidad de fabricación, en las tecnologías semiindustrial e industrial se emplean materiales más especializados para mejorar el desempeño y la vida útil del equipo [48].

### 1. Acero estructural



El acero estructural es ampliamente utilizado en la fabricación del armazón y de los componentes principales de la briquetadora debido a su alta resistencia mecánica y capacidad para soportar cargas significativas.

- **Artesanal:** Se pueden emplear perfiles de acero reciclado o reutilizado, como tubos y ángulos de construcción, para reducir costos.
- **Semiindustrial:** Se opta por acero laminado con tratamientos anticorrosivos para prolongar la vida útil.
- **Industrial:** Se utilizan aceros de alta resistencia con especificaciones técnicas precisas para optimizar el desempeño del equipo. [48]

## 2. Acero inoxidable

Este material es ideal para componentes en contacto con materiales húmedos o corrosivos, como tolvas y cámaras de compactación.

- **Artesanal:** Su costo elevado lo hace poco viable; en su lugar, se pueden emplear recubrimientos anticorrosivos.
- **Semiindustrial:** Se usa en piezas estratégicas, como tolvas de alimentación o rodillos.
- **Industrial:** Su uso es más común en toda la estructura para maximizar la durabilidad del equipo. [50]

## 3. Hierro fundido

El hierro fundido es un material altamente resistente al desgaste y la abrasión, lo que lo hace ideal para componentes sometidos a grandes esfuerzos, como las matrices y los rodillos de compactación.

- **Artesanal:** Se sustituye por acero reforzado debido a las dificultades de fundición a pequeña escala.
- **Semiindustrial:** Se emplean piezas de hierro fundido en elementos críticos.
- **Industrial:** Su uso es común en piezas sometidas a alta presión y desgaste constante. [49]



#### 4. Aleaciones especiales

Algunas aleaciones de acero con alto contenido de carbono o con tratamiento térmico se emplean en componentes sometidos a fricción intensa o altas temperaturas.

- **Artesanal:** Generalmente no se utilizan debido a su alto costo y dificultad de manufactura.
- **Semiindustrial:** Se emplean en partes específicas, como cuchillas o moldes.
- **Industrial:** Se utilizan ampliamente en piezas de desgaste para reducir costos de mantenimiento y aumentar la eficiencia del equipo. [51]

#### 5. Materiales poliméricos y compuestos

En componentes como sellos, juntas y algunas cubiertas de seguridad, se utilizan polímeros resistentes al calor y a la abrasión.

- **Artesanal:** Se emplean materiales reciclados o reutilizados en sellos y empaques.
- **Semiindustrial:** Se usan polímeros técnicos en componentes mecánicos.
- **Industrial:** Se emplean polímeros avanzados para reducir fricción y mejorar la eficiencia. [52]

## 2.10 Análisis de viabilidad económica para la implementación de tecnología de briquetado en productores agrícolas

La implementación de tecnologías de briquetado en comunidades rurales representa una alternativa viable para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y la reducción del uso de combustibles tradicionales. No obstante, el costo de adquisición de estas tecnologías puede ser un obstáculo para los productores



agrícolas. Con el objetivo de evaluar la viabilidad de su adquisición, se comparan los costos de las distintas tecnologías de briquetado presentadas en esta investigación con el salario promedio de un trabajador del sector agrícola, permitiendo así analizar su factibilidad económica.

A través de la plataforma nacional de consulta pública DATA MÉXICO [56], durante el año 2023 las actividades agrícolas y ganaderas se desarrollaron por 3.59M de personas contando con una escolaridad promedio de 6.24 años con una percepción salarial promedio de \$2,960 MXN trabajando alrededor de 38.3 horas semanales. El monto del salario percibido varía dependiendo del nivel de escolaridad de los trabajadores como se muestra en la **Tabla 7**.

*Tabla 7. Salario promedio según sexo y años de escolaridad de trabajadores en actividades agrícolas y ganaderas. Elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) [56]*

SALARIO PROMEDIO SEGÚN SEXO Y AÑOS DE ESCOLARIDAD DE TRABAJADORES EN ACTIVIDADES AGRÍCOLAS Y GANADERAS		
Sexo	Años de escolaridad	Salario promedio mensual
Hombres	0 a 3	\$1.85k MXN
Mujeres		\$2.05k MXN
Hombres	4 a 6	\$2.78k MXN
Mujeres		\$3.41k MXN

Utilizando la información de los apartados 2.6.1.3 y 2.6.3.2 de “Costos aproximados en el mercado” se analizaron los tres tipos de tecnologías de briquetado: artesanal, semiindustrial e industrial. En la **Tabla 8** se presentan los costos de cada una y su viabilidad de compra.

*Tabla 8. Análisis de los costos de tecnología de briquetado. Elaboración propia a partir de [43], [44], [46], Anexo II y ANEXO III*

COSTOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE BRIQUETADO		
Tecnología	Costos aproximados (MXN)	Características
Artesanal (prensas manuales comerciales)	\$1,922.21 - \$5,990.00	Diseños básicos para compactar papel o biomasa
Artesanal (cotización específica)	\$10,045.60	Briquetadora metálica con palanca



Semi industrial - industrial	\$103,695 - \$167,995	Producción de 300-500 kg/h, requiere energía eléctrica
------------------------------	-----------------------	---

Para un trabajador agrícola que perciba el salario promedio de \$2,960 MXN/mes, adquirir una briquetadora semiindustrial o industrial con un costo de \$103,695 MXN requeriría aproximadamente **35 meses (casi 3 años) de ahorro completo**, sin considerar otros gastos por lo que este plazo hace que la adquisición de tecnología semiindustrial e industrial sea **económicamente inviable para un productor agrícola sin apoyo financiero externo**.

Por otro lado, la tecnología artesanal cotizada entre **\$4,930.00 a \$10,045.60 MXN** podría adquirirse entre **2 y 4 meses**. Su bajo costo y estructura metálica robusta justifican su valor, haciendo que sea **una opción accesible y viable**. Comparada con prensas manuales comerciales de menor costo, la cotización específica ofrece una mejor durabilidad y eficiencia.

Además, si los pobladores construyen la briquetadora directamente en la comunidad e implementan prácticas de reciclaje en la obtención de materiales, como reutilizar perfiles metálicos o elementos estructurales disponibles localmente, es posible reducir significativamente los costos de fabricación. Esta estrategia no solo disminuye la inversión inicial, sino que también fortalece la apropiación tecnológica y la autonomía de las comunidades, al aprovechar recursos existentes y conocimientos locales.

Bajo este análisis, se confirma la viabilidad económica de construir una briquetadora artesanal la cual deberá de cumplir con los requerimientos de generar la fuerza necesaria para compactar distintos tipos de biomasa forestal y agroindustrial. Además, tomando los modelos existentes en el mercado, su diseño debe incluir un sistema de desmolde eficiente y una estructura que permita un funcionamiento óptimo a un costo competitivo. La tecnología de briquetado artesanal es **económicamente viable** para un productor agrícola, mientras que las opciones semiindustriales e industriales requieren financiamiento externo o cooperativas.

En caso de requerir el uso de tecnología más sofisticada que la artesanal, se recomienda buscar **subsidios, financiamiento colectivo o integración en cooperativas** para compartir costos y aumentar la producción.



La adquisición de una briquetadora artesanal representa una solución accesible y sostenible para fomentar la adopción de biocombustibles en comunidades rurales.

## 2.11 Pobreza energética

La pobreza energética es un fenómeno multidimensional que afecta a millones de personas en México, limitando su acceso a servicios energéticos modernos y de calidad. Este problema no solo compromete el bienestar de las comunidades más vulnerables, sino que también obstaculiza el desarrollo sostenible del país. A pesar de los avances en la electrificación, el 43.4% de los hogares mexicanos se encuentran en situación de pobreza energética, con marcadas disparidades entre las regiones rurales y urbanas [57]. Esta situación exige un análisis profundo desde la sustentabilidad energética y su relación con el cambio climático y el desarrollo social.

El acceso a la energía es fundamental para mejorar la calidad de vida, impulsar la educación, fortalecer la economía local y reducir las desigualdades. Sin embargo, millones de mexicanos continúan dependiendo de biomasa tradicional, como la leña y el carbón, para cocinar y calentarse, lo que provoca impactos negativos en la salud y el medio ambiente. Además, el alto costo de los energéticos modernos representa una carga significativa para los hogares de bajos ingresos, quienes destinan una mayor proporción de sus recursos a la energía en comparación con los sectores de mayores ingresos.

En este contexto, el concepto de sustentabilidad energética adquiere relevancia al integrar las dimensiones económica, ambiental y social. Según el documento “Pobreza Energética y Cambio Climático” [58], *“la transición hacia fuentes de energía más limpias y asequibles no solo contribuiría a mitigar el cambio climático, sino que también podría reducir la pobreza energética al garantizar el acceso equitativo a tecnologías eficientes”*.

El modelo actual de generación y consumo de energía en México está basado en combustibles fósiles, lo que genera emisiones significativas de  $CO_2$  y contribuye al calentamiento global [59]. No obstante, la adopción de energías renovables, como la solar y la biomasa sustentable, puede representar una solución viable para reducir la dependencia de los combustibles tradicionales y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.



La relación entre pobreza energética y cambio climático es bidireccional. Por un lado, el uso de combustibles contaminantes por parte de poblaciones vulnerables contribuye a la degradación ambiental; por otro, los efectos del cambio climático, como sequías y huracanes, impactan negativamente la disponibilidad y accesibilidad de energía en estas comunidades. Ante este escenario, la transición energética debe considerar no solo la eficiencia y descarbonización, sino también la equidad social y el derecho universal a la energía.

Para reducir la pobreza energética en el país, es necesario implementar políticas integrales que combinen tecnología, financiamiento y educación. Algunas estrategias clave incluyen [59]:

- 1. Fomento de energías renovables descentralizadas:** La instalación de sistemas solares fotovoltaicos y biodigestores en comunidades rurales permitiría generar energía limpia a bajo costo y reducir la dependencia de combustibles contaminantes. Además, es fundamental desarrollar tecnología adaptada al contexto local y a las posibilidades económicas y sociales de las comunidades. Esto permitirá que puedan avanzar hacia la autosuficiencia energética sin depender completamente del apoyo gubernamental, el cual, en muchas ocasiones, tarda demasiado en llegar.
- 2. Desarrollo de briquetas a partir de residuos forestales y agroindustriales:** La producción de briquetas ecológicas no solo proporciona una fuente de energía sostenible, sino que también ayuda a reducir la cantidad de residuos sólidos que pueden afectar la salud de las comunidades. En Puebla, iniciativas locales han demostrado la viabilidad de esta tecnología, generando empleo y promoviendo la economía circular.
- 3. Subsidios y financiamiento para tecnologías limpias:** La implementación de programas de apoyo para la adquisición de estufas mejoradas, sistemas solares térmicos y electrificación con energías renovables podría facilitar el acceso a servicios energéticos modernos.
- 4. Desarrollo de infraestructura sostenible:** Es necesario mejorar la infraestructura eléctrica y de distribución de gas en zonas marginadas, asegurando la disponibilidad de energéticos accesibles y eficientes.



5. **Educación y capacitación comunitaria:** La promoción de buenas prácticas en eficiencia energética y el uso de energías renovables es fundamental para empoderar a las comunidades y fomentar un consumo responsable.
6. **Regulación y políticas inclusivas:** Se requiere una política nacional de sustentabilidad energética que priorice a las poblaciones vulnerables, integrando incentivos para la generación de energía limpia y la reducción de brechas energéticas.

La pobreza energética en México representa un reto significativo para el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático. Para avanzar hacia una transición energética justa, es fundamental integrar la dimensión social en las políticas energéticas, asegurando que los beneficios de la modernización lleguen a todos los sectores de la población. El desarrollo de tecnologías accesibles, la promoción de energías renovables y la implementación de estrategias inclusivas permitirán garantizar el acceso universal a la energía y mejorar la calidad de vida de millones de mexicanos, contribuyendo al mismo tiempo a la sostenibilidad ambiental del país.

## 2.12 Justicia climática

Los fenómenos meteorológicos son cada vez más extremos, a nivel mundial se presentan incendios de gran magnitud y el deshielo de los polos, lo que afecta directamente el bienestar, los medios de vida y la seguridad de todas las personas. En consecuencia, los derechos humanos, colectivos y la equidad están en riesgo. Derechos fundamentales como el acceso a la vida, la salud, el agua, la alimentación, la vivienda y el desarrollo están amenazados por esta crisis.

El cambio climático no afecta a todos de la misma manera y no solo implica la pérdida de la biodiversidad; los pueblos indígenas, mujeres, niños, jóvenes, personas en situación de pobreza y agricultores son especialmente vulnerables ante actividades económicas demandantes como la minería, la exploración petrolera y la agricultura industrial para exportación. Las mujeres, niños y niñas enfrentan una carga adicional debido a que son responsables de la obtención de agua, los cuidados y la alimentación, lo que intensifica su pobreza y limita su acceso a la educación y participación comunitaria [60]. Esto dificulta la garantía de igualdad y derechos para



ellos por lo que es fundamental que los derechos humanos estén integrados en la lucha contra el cambio climático, asegurando que nadie quede rezagado.

En países en vías de desarrollo, la gran mayoría de las mujeres y niños trabajan en la agricultura debido a las costumbres culturales de sus comunidades. Llevar a cabo estas labores supone un riesgo e incrementa las probabilidades de sufrir lesiones, enfermedades o la muerte, especialmente en condiciones climáticas extremas, como por ejemplo las olas de calor que han llegado a alcanzar hasta los 33°C en el Estado de Puebla cuando la temperatura máxima promedio es de 28.5°C. [61]

En un estado que se caracteriza por un clima templado subhúmedo en un 35% de su superficie y con una precipitación media estatal de 1270 mm, así como también con una temperatura promedio mínima de 6.5°C y según datos consultados en el *Resumen Mensual de Lluvia y Temperatura* [62] con corte al mes de agosto 2024, es preocupante que el nivel de precipitación anual se encuentre con registros de 776.2 mm y una temperatura mínima promedio de 8.7 registrada.

Analizando estos datos, se puede observar que, en Puebla llueve menos y hace menos frío por lo que es lógico que la temperatura máxima promedio aumente ocasionado olas de calor intensas y por consecuencia el clima promedio de la entidad presente una alteración paulatina con tendencia a temperaturas ascendentes.

En este contexto, las prácticas de la agricultura ejecutadas por mujeres, niños y niñas los exponen a un mayor riesgo, incrementando las probabilidades de comprometer su integridad física. El problema se acrecienta cuando las mujeres no cuentan con la suficiente capacidad para enfrentar los desafíos del cambio climático ya que esta, se ve comprometida por su acceso a la información, educación y servicios de salud.

De acuerdo con la publicación “Justicia climática feminista: un marco de acción” de ONU Mujeres, el peor escenario de cambio climático a nivel mundial podría derivar que en 2050 haya 158 millones más de mujeres y niñas en situación de pobreza y que adicionalmente 236 millones se enfrenten a la inseguridad alimentaria. [63]

### 2.12.1 Justicia climática en México y Puebla

En México, la justicia climática también tiene un enfoque feminista, reconociendo que las mujeres, particularmente en zonas rurales, sufren con mayor intensidad los



impactos del cambio climático debido a su rol tradicional y su acceso limitado a recursos y decisiones [64].

En el estado de Puebla, la Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030 [65] promueve la equidad de género y la protección de los derechos humanos como parte de la lucha climática y busca abordar estos desafíos, promoviendo una transición hacia energías limpias, la protección de la biodiversidad y el fortalecimiento de las comunidades vulnerables frente a los impactos del cambio climático. La estrategia reconoce la importancia de mitigar los efectos del cambio climático, tanto en las áreas urbanas como rurales, protegiendo a las poblaciones que dependen de la agricultura y que están expuestas a fenómenos meteorológicos extremos.

## 2.13 Objetivo de Desarrollo Sustentables 7

Garantizar el acceso a una energía asequible, segura y moderna para todos es clave para que, según las Naciones Unidas, se logre el desarrollo de la agricultura, las empresas, las comunicaciones, la educación, la sanidad y el transporte [66].

Desde esta perspectiva, el desarrollo, producción y acceso a los biocombustibles sólidos para las regiones rurales supone un impacto positivo que contribuye a los objetivos de la agenda internacional en búsqueda de mejorar la calidad de vida de las personas con el desarrollo del trabajo decente y crecimiento económico (ODS 8) [67], una producción y consumo responsable (ODS 12) [68] que de manera bilateral logre tener una repercusión positiva con el medio ambiente adoptando medidas para combatir el cambio climático y sus efectos (ODS 13) desde sus posibilidades [69].

El uso de biocombustibles sólidos convencionales, como la leña y el carbón vegetal, prevalece en las zonas rurales de México. Específicamente en Puebla, según datos de PEAC-ProAire [70] y como se puede observar en la **Figura 31**, en el estado poblano la leña, como segundo o único combustible, es el segundo más utilizado para la preparación de alimentos y el calentamiento del agua con 374, 884 viviendas (22% de los hogares). Este porcentaje es posible porque para las comunidades rurales el precio es accesible y por su ubicación geográfica la abundancia de este recurso natural es provisto por la riqueza natural de bosques y aserraderos. Sin embargo, no siempre se utiliza de manera eficiente, provocando impactos negativos en la salud y el ambiente.



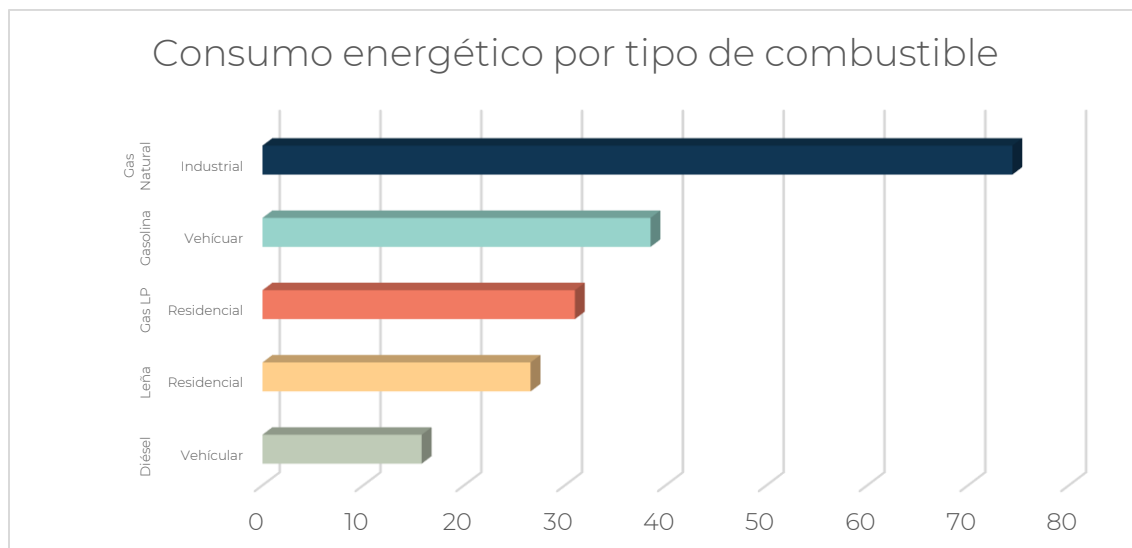


Figura 31. Consumo energético por tipo de combustible [70]

Aprovechar los residuos agroindustriales del estado para producir briquetas que ofrecen un poder calorífico competitivo en comparación con la leña, reduce la deforestación, mejora la salud pública, empodera a las comunidades rurales y promueve el desarrollo económico sostenible

La biomasa, especialmente los residuos agroindustriales como restos de cultivos y cáscaras, tiene un gran potencial energético que no se está aprovechando lo suficiente. Convertir estos desechos en briquetas no solo les da un valor agregado, sino que también ayuda a reducir el impacto ambiental al usarlos como una fuente de energía eficiente y con bajas emisiones. Las briquetas son biomasa compactada que puede reemplazar la leña tradicional, siendo una opción más eficaz y adaptable para usos como la cocción doméstica y el calentamiento industrial. Además, su producción reduce residuos y apoya la bioeconomía circular en el Estado.

Para poder realizar las briquetas es necesario la implementación de tecnología específica que permita aprovechar de manera eficiente los residuos agroindustriales y forestales, esta alternativa puede sustituir el uso de combustibles más costosos y poco accesibles para las comunidades como el gas LP y el carbón. El desarrollo de prototipos de máquinas briquetadoras contribuiría al ODS 7 [66] al:

- I. Diversificar la matriz energética en zonas rurales con una alternativa de tipo local, asequible y sostenible.



- II. Reducir las emisiones contaminantes en el sector doméstico y agrario, gracias a la posibilidad de combinar el uso de briquetas artesanales con otros tipos de ecotecnologías eficientes para la cocción de alimentos o calefacción, disminuyendo de esta manera el porcentaje de consumo tradicional de la leña.

Al desarrollar tecnología de briquetado no solo contribuiría a la obtención de energía asequible si no también al desarrollo del trabajo decente y crecimiento económico (ODS 8) [67] por la:

- I. Generación de empleos al tener que sostener la producción de briquetas y su comercialización. Al proponer y construir una máquina de tipo artesanal surge la necesidad de mano de obra para la producción de briquetas, la recolección de la materia prima, la preparación de la mezcla y la distribución del producto final, lo que beneficiaría a productores agrícolas y comunidades locales.
- II. Los residuos, al ser implementados como materia prima, se fomenta la economía circular por lo que se evitaría que lleguen a rellenos sanitarios clandestinos o ser quemados a campo abierto. Con el desarrollo de briquetadoras se estimula el uso eficiente de recursos y la creación de nuevas cadenas de valor.
- III. Este proyecto, además de generar nuevos recursos tecnológicos, está pensado para el desarrollo de una herramienta que logre el empoderamiento de las comunidades rurales, pues, al facilitar la transformación de residuos en productos de alto valor agregado, las comunidades tendrían la oportunidad de desarrollar microempresas locales que comercialicen el nuevo biocombustible a mercados externos.

Al desarrollar este tema es posible relacionarlo con la producción y consumo responsable (ODS 12) [68] ya que se promueve una gestión más eficiente y sostenible de los recursos naturales mediante la transformación de residuos (densificación) a una fuente de energía útil. Los beneficios se presentan en la:

- I. Reducción de residuos al aprovechar grandes cantidades de biomasa residual generada en la agricultura, la agroindustria y el sector forestal que, actualmente, se quema sin ningún valor añadido.



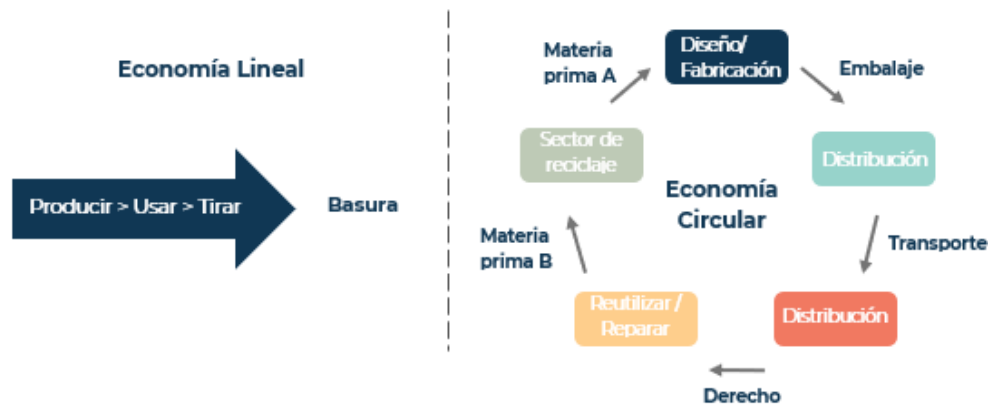


Figura 32. Diagrama de economía lineal a circular. Basado en [71]

- II. Utilización sostenible de la biomasa al reducir la demanda de la leña extraída de manera no sostenible e incluso ilegal de los bosques, contribuyendo a la conservación de los recursos naturales.
- III. Economía circular. En la Estrategia de Bioeconomía Circular y Social del Estado de Puebla [71] se presenta la idea de este concepto en donde se contemplan los límites de regeneración de los recursos utilizados en las regiones para alcanzar una prosperidad sustentable y justamente distribuida, permitiendo la amplia participación de todas las personas involucradas en las actividades socioeconómicas. Al mismo tiempo se fomentaría la investigación, desarrollo e innovación de nuevos materiales, procesos y productos que mejoren el bienestar compartido. Compaginando este concepto con el desarrollo de una briquetadora tipo artesanal, se fomenta el modelo en que los residuos son reincorporados al ciclo productivo como una fuente de energía, logrando la reducción del impacto ambiental del ciclo de vida de los productos agrícolas y forestales. En la **Figura 32** se ilustra el actual modelo económico y como puede lograrse una conversión a un modelo que disminuya la presión sobre las materias primas puras.

El desarrollo tecnológico tiene la función de beneficiar al ser humano, facilitando los procesos productivos, los trabajos pesados y mejorar la calidad de vida de las personas por lo que el desarrollo de una briquetadora que deriva en la producción de briquetas a partir de residuos biomásicos impacta de manera directa y positiva en la mitigación del cambio climático (ODS 13), con efectos tan notables como:



- I. La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a razón del proceso de fotosíntesis que anteriormente se expuso.
- II. La descarbonización de sectores rurales e industriales contribuyendo a la transición energética (como en el caso de países europeos teniendo como ejemplo a España [27] en Mipymes que actualmente dependen de combustibles altamente contaminantes contribuyendo a la mitigación de las emisiones del sector energético, uno de los principales responsables del cambio climático.

## 2.14 Adopción de tecnologías en medios rurales

El desarrollo del sector rural en México ha sido de las materias políticas para generar empleo, mejorar la productividad por hectárea y elevar el nivel de vida de las familias.

A partir de los años 40, se han planeado programas de desarrollo regional, estos con fines de aprovechar los recursos naturales, mejorar la productividad del campo y reducir la pobreza de la población rural en las regiones del país.

La agricultura a pequeña, mediana y gran escala requiere de inversión, mano de obra e insumos comerciales, así como también de conocimientos tecnológicos que generen eficiencia y rentabilidad, aunado a la diversificación productiva y el acceso a los mercados. Nilo (1998) señala que la tecnología se introduce para generar más ganancias, aumentar la productividad, y ser funcional económica, social y ambientalmente en el contexto local; Marx (1984) sugiere que la tecnología induce desarrollo y progreso; Schumpeter (1978), considera a la tecnología como toda aquella introduce cambios dinámicos a una economía; la CEPAL (2002) [72], relaciona a la tecnología con el progreso y las asimetrías del sistema económico internacional. La OCDE (1994) señala que la innovación tecnología es una idea, producto, procedimiento nuevo o mejorado [73].

En el estado de Oaxaca se llevó a cabo la introducción de tecnologías para la producción de jitomate en productores de pequeña escala [73].

Para este estudio la tecnología fue desarrollada en el INIFAP, Campo Experimental Valles Centrales del estado de Oaxaca y posteriormente, investigadores validaron y transfirieron la tecnología a los productores a través de la **metodología de las escuelas**



**de campo.** Hábitat (1982), señala que la transferencia de tecnología es una actividad educativa relacionada, mediante el proceso de aprender-haciendo, la discusión y el dialogo, donde agricultores, campesinos, extensionistas, técnicos e investigadores aportan sus experiencias, puntos de vista y conocimientos científicos y prácticos, aprendiendo unos de otros, en el análisis conjunto de situaciones y problemas.

La metodología de las escuelas de campo [74], valora las actividades mentales y prácticas socioculturales del aprendiz. Desarrolla un pensamiento crítico, activo y vivencial del productor, La adición de tecnología inicia cuando los productores incorporan la nueva tecnología o conocimientos a sus actividades y procesos de producción. Sin embargo, el fenómeno de transmisión de conocimientos es compleja para productores adultos, y con bajos niveles de educación.

Los agricultores, por el interés de obtener ingresos y mejores niveles de vida, están dispuestos a utilizar e implementar estrategias en el manejo de sus cultivos, sin embargo, se enfrentan a múltiples desafíos como la **falta de capacitación y educación** por los niveles bajos de educación formal que dificultan la transmisión de conocimientos técnicos de manera sencilla.

Generalmente, en las regiones rurales las actividades económicas se limitan al trabajo de la tierra por lo que es frecuente que las **condiciones económicas sean limitadas**, por lo que dificulta la capacidad de obtención de tecnología puesto que en la mayoría de los casos la inversión inicial para la adquisición de equipos, insumos y herramientas avanzadas puede representar un costo demasiado elevado que no logra ajustarse con la economía familiar de los agricultores. Este problema se agrava cuando no tienen acceso a financiamiento o a créditos accesibles limitando cada vez más la implementación de soluciones tecnológicas que mejoren su productividad.

Por otro lado, en muchas zonas rurales, el **acceso a la infraestructura** básica es deficiente. Contar con red eléctrica, agua potable, saneamiento y caminos en buen estado es fundamental [75] sin embargo, en la realidad estos servicios son limitada o inexistente por lo que resulta inviable la implementación de tecnologías que requieren de estos recursos para su correcto funcionamiento.

Por **usos y costumbres**, muchas comunidades rurales mantienen prácticas tradicionales en el cuidado de sus tierras y la manera en la que la trabajan transmitiendo este conocimiento de generación en generación por lo que, en



ocasiones, al momento de implementar nuevos métodos y tecnologías existe un rechazo por cierto escepticismo al no percibir beneficios inmediatos o si no se alinean con las normas culturales y sociales preexistentes.

Los apoyos sociales por parte de las dependencias gubernamentales han marcado la forma en la que se percibe la introducción de la tecnología en las comunidades pues estas son desarrolladas en entornos diferentes al local por lo que pueden no ser completamente funcionales en un contexto rural específico. A diferencia de los apoyos económicos, **los apoyos tecnológicos no pueden ser estandarizados** ya que las condiciones de suelo, clima, las prácticas agrícolas y familiares locales no siempre coinciden con el resto de las regiones donde se implementen las nuevas herramientas y el desempeño de funcionamiento que se tuvo en un ambiente controlado evidencia que, sin una **adaptación** adecuada a las realidades locales, la introducción de tecnología resulte ineficaz o contraproducente.

Al desarrollar la tecnología fuera de las localidades en donde se va a implementar, además de tener inconvenientes con la adaptabilidad, también se presenta el problema con la **dependencia a la asistencia técnica** dado que al momento de introducir estas nuevas herramientas la disponibilidad de técnicos o personas capacitadas para solucionar problemas mecánicos o eléctricos se ve limitada desencadenando que los productores o personas que fueron beneficiados con este tipo de apoyo no tengan las habilidades o recursos necesarios para poder intervenir la tecnología y solucionar esta serie de dificultades por lo que es muy común que se abandone el uso de la tecnología una vez que se enfrentan a problemas o no se vean mejoras inmediatas en su producción.

La adopción de tecnología no garantiza el éxito económico de los agricultores y productores, pues, en la mayoría de los casos, se enfrentan a dificultades para acceder a mercados que paguen precios justos por sus productos por lo que la desconfianza de inversión por herramientas especializadas no les garantiza retornos de inversión inmediatos.



## 2.15 Solidworks

El diseño asistido por computadora (CAD – Computer Aided Desing) es la tecnología en la cual se utilizan los equipos de cómputo para mejorar el diseño, desarrollo y posterior fabricación de productos. Estos pueden elaborarse con mayor rapidez, precisión y menor costo.

El CAD se utiliza en muchos procesos de manufactura en la fabricación de piezas geoméricamente complejas, moldes, troqueles, prototipos y máquinas que requieran de una alta producción o exactitud dimensional.

El software CAD es un tipo de software en el que solo se dibuja o diseña una pieza en un archivo que se puede guardar y editar posteriormente según las necesidades del diseñador.

Dentro de los softwares más comerciales se encuentran: Autocad, Autodesk, Inventor, Pro/Engineer, SolidWorks, Solid Edge, CATIA y Turbo CAD. [76]

SolidWorks (lanzado en 1995) es un programa que permite realizar el proceso completo de diseño mecánico en 3D, desde la concepción de la idea por el diseñador hasta la realización de los planos técnicos necesarios para su fabricación. Este software se caracteriza por su gran versatilidad y sencillez de uso al permitir que sus cotas se puedan editar en cualquier momento actualizándose automáticamente los diseños realizados a las nuevas dimensiones.

SolidWorks trabaja con tres tipos de archivos [77]:

- Archivo de pieza (extensión “.sldprt”): archivo que guarda una sola pieza.
- Archivo de ensamblaje (“.sldasm”): archivo que guarda varias piezas relacionadas entre sí, llamado ensamblaje.
- Archivo de dibujo (“.slddrw”): archivo donde se guarda un dibujo o plano de una pieza o ensamblaje.

Los complementos y herramientas de simulación con los que puede contar en el programa permiten al diseñador someter fácilmente los diseños a las mismas condiciones a las que se expondrán en el mundo real, permitiendo mejorar la calidad del producto final, optimizar las geometrías y materiales y, además, reducir costos tanto en tiempo como en ahorro de prototipos para pruebas reales. [78]



### 2.15.1 SolidWorks Simulation

SolidWorks Simulation permite comprobar virtualmente el comportamiento de los modelos diseñados en sus fases más iniciales de desarrollo, sin la necesidad de construir prototipos reales permitiendo identificar de forma prematura cualquier tipo de problema que pudiese ocurrir con el prototipo sometido a las condiciones normales de uso, permitiendo mejorar el diseño desde sus primeras fases de desarrollo y abaratar costos en la fabricación de prototipos y la realización de ensayos reales, además de mejorar la calidad del producto final.

Al ser uno de los softwares más versátiles del mercado, su interfaz simple e intuitiva permite al usuario manejar con facilidad todos los parámetros necesarios para la realización de estudios, pudiendo someter las piezas y conjuntos modelados a todo tipo de ensayos, como pruebas de esfuerzo, impactos y demás aspectos mecánicos a considerar en una aplicación real con diferentes soluciones geométricas o diferentes materiales.

Esto permite de manera considerable la innovación en el diseño, ya que la posibilidad de hacer más ensayos sin elevados costos permite al diseñador proponer más conceptos y comprobar la validez de estos.

### 2.15.2 SolidWorks Motion

Conocer el movimiento de los diseños desarrollados antes de que la construcción de los prototipos abarata costos y permite mayor seguridad en la calidad del producto final. Para esta simulación se hace uso de la dinámica de cuerpos rígidos que en otras palabras es la simulación de movimiento.

La simulación de movimiento proporciona información cuantitativa sobre la cinemática del diseño como la posición, velocidad, aceleración y dinámica incluyendo reacciones conjuntas, fuerzas de inercia y requisitos de potencia, de todos los componentes de un mecanismo en estudio en movimiento.

Para lograr este tipo de simulación, SolidWorks Motion ofrece una solución factible para el análisis de estudio pues solo con detallar variables específicas como velocidad, puntos de referencia y resultados de movimiento el programa es capaz de hacer todo los demás de manera automática si mayor intervención del diseñador.



El software utiliza las propiedades del material de las piezas CAD para definir las propiedades inerciales de los componentes del mecanismo, y traduce las condiciones de acoplamiento del ensamblaje CAD en juntas cinemáticas. Luego formula automáticamente ecuaciones que describen el movimiento del mecanismo las cuales son resueltas por un solucionador numérico de manera más rápida y los resultados incluyen información sobre desplazamientos, velocidades, aceleraciones, reacciones articulares y cargas inerciales de todos los componentes del mecanismo, así como la potencia necesaria para mantener el movimiento [79].

## 2.16 Tornillo sin fin

Briquetar puede considerarse sinónimo de “prensar”, ya que consiste en la compactación de materiales sólidos mediante una máquina que aplica fuerza para reducir su volumen.

Uno de los mecanismos más relevantes en este proceso es el tornillo de rosca helicoidal, comúnmente conocido como tornillo sin fin (Figura 33), un invento mecánico que ha tenido un impacto significativo en la ingeniería. Su principio de funcionamiento es la base de los tornillos de potencia, utilizados para transformar el movimiento rotatorio en lineal y generar grandes fuerzas en dispositivos como gatos hidráulicos, prensas y otros sistemas de transmisión de potencia. [80]

En la industria, los tornillos sin fin han sido ampliamente empleados en el transporte y mezcla de materiales (Figura 34). En el ámbito de las briquetas, este mecanismo es esencial en briquetadoras de tipo semiindustrial e industrial, donde se utiliza como sistema de extracción y compactación (Figura 35).



*Figura 33. Tornillo sin fin comúnmente utilizado en prensas [104]*

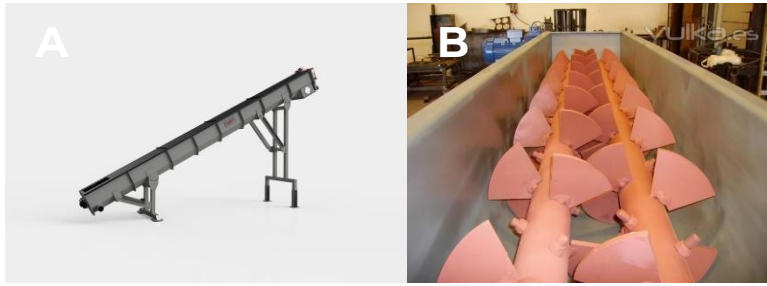


Figura 34. Ejemplo de aplicación de tornillo sin fin con uso de transportación (A) [81] y mezcla (B) [82]



Figura 35. Uso de un torillo sin fin en briquetadora por el proceso de extrusión [83]

Un ejemplo de ello son los tornillos de banco o prensas manuales (Figura 36), los cuales también emplean el concepto de rosca helicoidal para generar fuerza de sujeción y prensado. Estas herramientas, de uso común en carpintería y herrería, pueden ser una alternativa viable para desarrollar briquetadoras artesanales. Su aplicación en la fabricación de briquetas se puede dimensionar en dispositivos como la prensa de husillo (Figura 8) o los exprimidores caseros para frutas (Figura 23 y 24), que aprovechan la misma mecánica para aplicar presión de manera eficiente y con menores costos.



Figura 36. Tipos de torillos de banco o prensas manuales [103]



## 2.17 Análisis de Von Mises

El esfuerzo de Von Mises es un criterio de falla utilizado en ingeniería estructural y mecánica para determinar si un material fallará bajo una carga dada. Se basa en la teoría de la energía de distorsión y se expresa como la **Ecuación 2.1**:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 + \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (2.1)$$

Donde  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  son los esfuerzos principales en el material.

Este criterio establece que el material fallará si el esfuerzo de Von Mises excede la resistencia a la cedencia del material. [84]

Para este trabajo, el análisis de esfuerzos es fundamental para asegurar que las partes críticas de la estructura a diseñar no sufran fallas durante la operación. El esfuerzo normal ( $\sigma$ ) y el esfuerzo cortante ( $\tau$ ) afectan la deformación de los componentes y pueden ser combinados en el criterio de Von Mises para evaluar la seguridad del diseño.

Adicional, la relación de Poisson ( $\nu$ ) juega un papel clave en la deformación lateral del material bajo carga axial. En un análisis por elementos finitos (como el que se implementa haciendo uso del software SolidWorks Simulation), la redacción de Poisson se usa junto con el módulo de elasticidad para definir el comportamiento del material.

En la simulación estructural de la briquetadora, se puede aplicar el criterio de Von Mises para:

- Evaluar si las zonas de mayor carga están dentro del límite seguro del material.
- Identificar las concentraciones de esfuerzo que puedan requerir refuerzos estructurales.
- Comparar diferentes materiales y su respuesta bajo cargas de compresión durante la compactación de la biomasa.



## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA



## 3.1 Diseño de la máquina

El diseño del dispositivo de compactación propuesto en esta tesis surge a partir del conocimiento técnico y contextual adquirido por la autora durante su colaboración profesional en el desarrollo del **Proyecto B**, coordinado por la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT) del Gobierno del Estado de Puebla. Esta experiencia permitió no solo participar activamente en el diseño y validación de prototipos de briquetadoras artesanales, sino también observar directamente la interacción entre la tecnología y las condiciones sociales, productivas y ambientales de las comunidades rurales.

La presente propuesta parte de un **enfoque metodológico cualitativo**, sustentado en el **método etnográfico**, en el cual la **observación participante** fue la principal técnica de recolección de información. A través de este enfoque, la autora pudo integrarse activamente a los procesos comunitarios, participar en talleres, escuchar directamente a los actores sociales y documentar, mediante el acompañamiento cotidiano, las necesidades energéticas y productivas reales de los grupos rurales [85, 86].

Este contacto directo con los usuarios permitió recoger características fundamentales para el diseño de una tecnología apropiada, adaptada al entorno. Se reconocieron factores como la accesibilidad de materiales, los conocimientos técnicos locales, las propiedades de los residuos disponibles y las preferencias de uso. En este sentido, la observación participativa funcionó como un puente entre la teoría del diseño y la experiencia vivida, permitiendo proponer una solución ajustada a la realidad social y técnica [87].

Una de las decisiones técnicas más relevantes en este trabajo fue el uso del metal como material estructural principal para la máquina. Esta elección fue resultado de la experiencia obtenida durante la validación de los prototipos del Proyecto B, donde se observó que la briquetadora metálica ofrecía mejores resultados en términos de **durabilidad, fuerza de compactación, resistencia a la humedad y facilidad de mantenimiento**, en comparación con la versión de madera. Adicionalmente, la herrería es un oficio común en las regiones rurales del estado, lo cual facilita la construcción, reparación y apropiación comunitaria de este tipo de dispositivos.



Si bien el modelo metálico mostró ventajas, también se identificaron diversas oportunidades de mejora técnica durante su uso en campo. Estas oportunidades fueron aprovechadas por la autora para rediseñar el dispositivo con base en las recomendaciones observadas y documentadas. El resultado es una nueva propuesta de máquina briquetadora que optimiza el sistema de palanca, mejora el mecanismo de desmolde y adapta el diseño del molde para facilitar el secado de las briquetas, entre otras mejoras funcionales. El proceso realizado para el desarrollo del Proyecto B se resume en el diagrama de flujo de la **Figura 37**.

En cuanto al grado de innovación, este trabajo se enmarca en el enfoque de artesanía contemporánea, en donde se aplican procesos de transformación tecnológica con un enfoque de calidad, imaginación y conocimiento aplicado [88, 89]. La propuesta de briquetadora artesanal aquí presentada surge como respuesta directa a las problemáticas identificadas en el trabajo de campo, especialmente el uso intensivo de carbón y leña, que genera impactos ambientales, económicos y de salud en las comunidades rurales. [87]

La innovación en este caso no se limita a la incorporación de tecnología moderna, sino que se concibe como la capacidad de rediseñar, adaptar e implementar soluciones técnicas significativas para contextos específicos [90]. En este sentido, se introducen ideas, productos y procesos percibidos como nuevos por sus usuarios, generando un bien útil y socialmente relevante. La propuesta puede clasificarse como una innovación de tipo tecnológica, al presentar una herramienta que crea soluciones viables para la producción descentralizada de biocombustibles sólidos [89].

Además, el tipo de innovación implementada en esta tesis corresponde a una innovación incremental, ya que parte de un modelo preexistente (la briquetadora metálica del Proyecto B), pero propone mejoras graduales y continuas sin modificar su estructura fundamental. Estas mejoras están orientadas a optimizar aspectos clave como la eficiencia operativa, la facilidad de uso, la adaptabilidad del diseño y la integración al entorno social y técnico de los usuarios finales [88, 91].

Paralelo a ello, la revisión de literatura sobre tecnología artesanal de briquetado revela que el mecanismo de palanca es el más comúnmente utilizado. Sin embargo, este diseño tiende a generar modelos demasiado robustos que requieren grandes espacios para lograr una compactación eficiente, además de que su construcción



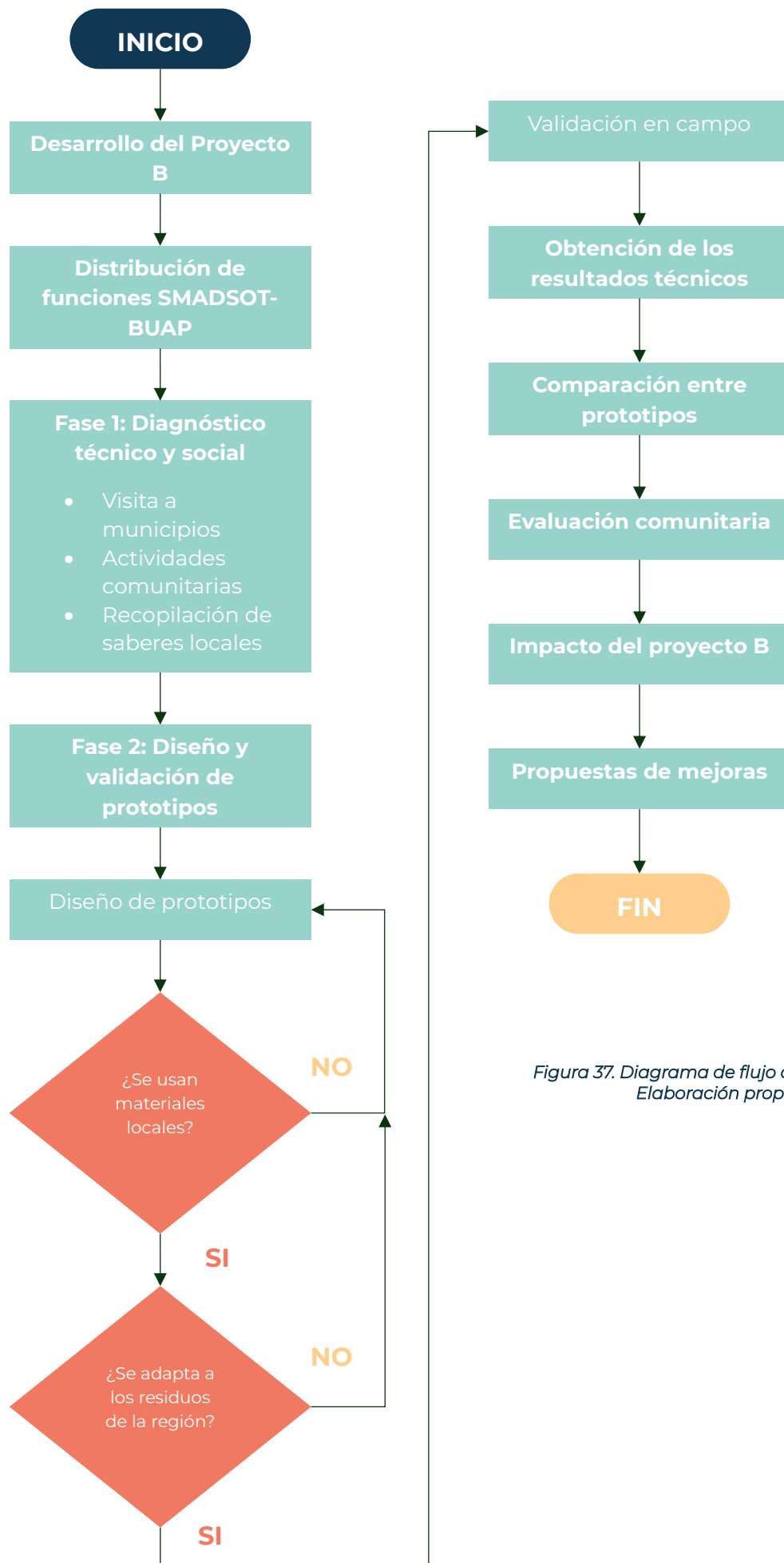


Figura 37. Diagrama de flujo del Proyecto B. Elaboración propia.

suele basarse en madera, lo que genera que no sea una opción viable como lo demostró la experiencia obtenida en el desarrollo del Proyecto B.

Paralelo a ello, la revisión de literatura sobre tecnología artesanal de briquetado revela que el mecanismo de palanca es el más comúnmente utilizado. Sin embargo, este diseño tiende a generar modelos demasiado robustos que requieren grandes espacios para lograr una compactación eficiente, además de que su construcción suele basarse en madera, lo que genera que no sea una opción viable como lo demostró la experiencia obtenida en el desarrollo del Proyecto B.

Por esta razón, se realizó una comparación exhaustiva de diferentes criterios para la elección del mecanismo a implementar, como el desempeño individual, la compatibilidad y adaptabilidad a la propuesta de maquina briquetadora. Los datos comparativos fueron recopilados en la **Tabla 9**. Al analizar la información de esta tabla, el tornillo sin fin, como el utilizado en prensas para extracción de jugo (**Figura 23 y 24**), se posicionó como la opción más viable.

A diferencia de las palancas de primer y segundo grado (**Tabla 5 y Figura 22**), el tornillo es un mecanismo que proporciona la fuerza de compactación necesaria de forma progresiva, lo cual mejora el desempeño del prensado sin requerir grandes dimensiones. Además, muestra mayores ventajas como la alta accesibilidad de materiales, bajo mantenimiento, buena adaptabilidad al diseño y alta seguridad operativa. Aunque su costo es ligeramente mayor al de las palancas, los beneficios ya mencionados que ofrece el tornillo aunado a la gran reproducibilidad, seguridad y durabilidad, así como su baja complejidad de fabricación, lo hacen la mejor opción respecto al costo-beneficio, especialmente frente a mecanismos de mayor complejidad como lo es el gato hidráulico.

*Tabla 9. Comparación de los diferentes criterios para la elección del mecanismo a implementar. Elaboración propia.*

COMPARACIÓN DE MECANISMOS				
	Palanca de 2do grado (Tabla 5)	Palanca de 1er grado (Figura 22)	Tornillo sin fin (Figuras 23 y 24)	Gato hidráulico (Figura 4)
Bajo costo	Alto	Alto	Medio-alto	Bajo
Accesibilidad de materiales	Alta	Alta	Alta	Media-alta



Fuerza de compactación	Moderada	Moderada	Alta (progresiva)	Alta
Reproducibilidad	Alta	Alta	Alta	Baja
Seguridad	Media	Media	Alta	Media
Facilidad de fabricación	Alta	Alta	Alta	Baja
Compacidad del mecanismo	Baja	Baja	Media	Media
Bajo mantenimiento	Alto	Alto	Alto	Bajo
Adaptabilidad al diseño	Alta	Alta	Alta	Baja
Durabilidad	Alta	Alta	Alta	Media

Por lo anterior, en el marco de esta tesis se propone el uso de un **mecanismo de tornillo sin fin**, ya que ofrece ventajas significativas, tales como:

- Menor espacio de implementación.
- Facilidad de construcción.
- Disponibilidad en el mercado.
- Operación sencilla.
- Costo accesible.

Para resumir el proceso de desarrollo de la maquina briquetadora de este trabajo se presenta el diagrama de flujo de la **Figura 38**. En él, se incluyen las etapas metodológicas, como la investigación previa, la definición de criterios de diseño y su verificación, abordado en el capítulo 2 y parte de este capítulo, así como las fases de análisis y evaluación, que se abordan más adelante.

La inclusión de todas las etapas en un solo diagrama permite visualizar de forma integral la lógica que guió el trabajo desde su concepción hasta la validación de su funcionamiento. No obstante, para una mejor comprensión, las secciones correspondientes a cálculos, análisis y simulaciones se explican con mayor detalle en las secciones siguientes.



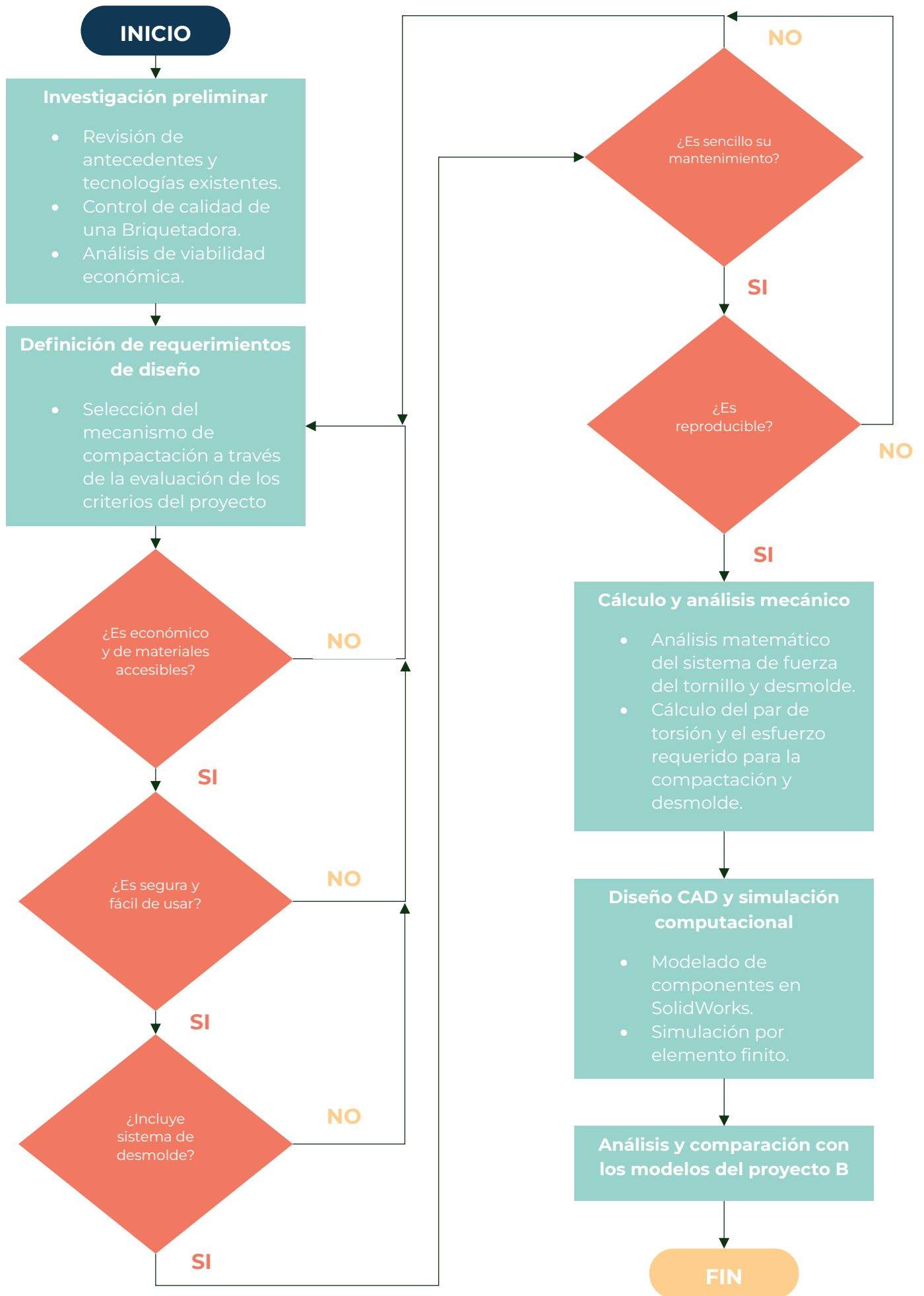


Figura 38 Diagrama de flujo de la máquina briquetadora de este trabajo. Elaboración propia.

El diseño del modelo propuesto toma inspiración en una prensa de tornillo de banco tipo Pony, que se compone por la boca fija (1), la boca móvil (2), las guías (3), una base (4), una manivela (5) y el tornillo (6), como se ilustra en la figura 39. Esta prensa fue modificada y escalada para adaptarse a los requerimientos específicos del proyecto. Una de las principales modificaciones consistió en **adaptar, ampliar y reforzar la estructura** para garantizar un desempeño óptimo en la compactación de briquetas.



Figura 39. Partes del torillo de banco tipo Pony [102].

En este contexto, las partes de la máquina se construyeron tomando en cuenta la implementación de una mesa como base principal para soportar toda la carga de compactación, así como para garantizar la estabilidad y rigidez del sistema. El cuerpo de la base principal está conformado por perfiles cuadrados de 3 x 3 cm y un espesor de 2.6 mm, que constituyen la estructura completa.

En la parte inferior de las patas, se incluye una placa cuadrada de 5 x 5 cm diseñada para anclar o cimentar la base principal en una superficie sólida. Este anclaje asegura que toda la estructura permanezca completamente rígida durante su operación. Con respecto a la parte superior de la base, se encuentra una placa de 29.97 x 24.16 cm como un espesor de 1 cm, cuya función principal es soportar las cargas de la boca móvil, las guías y la base.

Además, en el centro de esta placa se localizan tres orificios identificados como **a**, **b** y **c**:

- **Orificio (a):** Diseñado para permitir el libre movimiento del tornillo. El diámetro de este orificio debe coincidir exactamente con la configuración de la cuerda del tornillo.
- **Orificios (b) y (c):** Destinados a guiar la boca móvil (vástago). Estos orificios evitan el movimiento circular provocado por el tornillo, limitando el



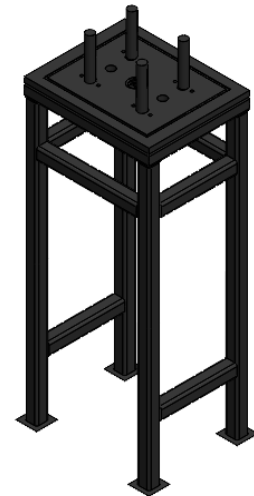
desplazamiento al eje vertical, es decir, únicamente en dirección ascendente o descendente.

En la misma placa, se han soldado cuatro perfiles cilíndricos de 1.91 cm de diámetro y 10 cm de altura, los cuales tienen la función de mejorar la oxigenación del producto final (briqueta). Este diseño contribuye a reducir el tiempo de emisión de humo y las horas requeridas de exposición al sol en la etapa de secado.

Además, el plano de la placa incluye una ranura de 23.90 x 20.06 cm con un grosor de 0.49 cm hacia el interior. Esta ranura está diseñada para ajustar y fijar correctamente la pieza pared (**Figura 43**), respetando las dimensiones especificadas.

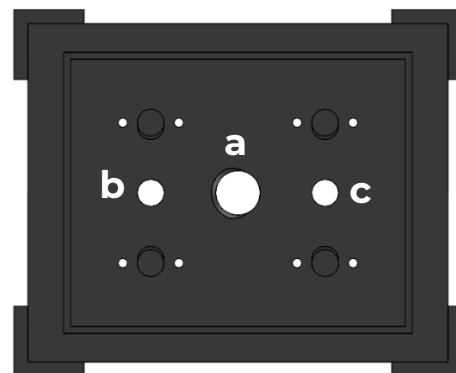
Todos los perfiles metálicos utilizados en esta estructura han sido sometidos a simulaciones de esfuerzo, considerando el material **hierro dúctil** para garantizar su resistencia y durabilidad.

Lo que se consideró como base principal, tiene una altura de 70.55 cm, una placa de soporte, o boca fija, de 0.5 cm y cuatro varillas de 10 cm de altura en la parte superior las cuales tienen la finalidad de proporcionar el espacio que permita la oxigenación en la briqueta y tenga la posibilidad de combustionar de manera eficiente. En la parte inferior de la base se encuentra una viga la cual tiene la finalidad de ser el soporte en el que se sostendrá el pedal del mecanismo de expulsión como se observa en la **Figura 40**.



*Figura 40. Base principal*

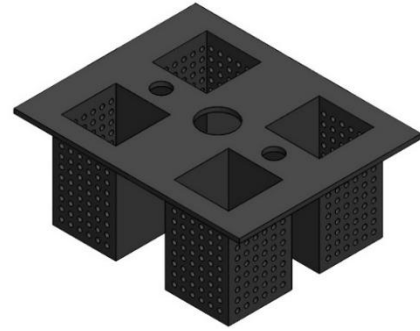
En la **Figura 41** se observan tres orificios en la parte central de la base, el orificio central (a) es el espacio destinado para que empalme con el tornillo sin fin y los orificios restantes (b y c) son las guías que bloquearan que el tornillo gire sobre su eje.



*Figura 41. Orificios para empalmar el tornillo sin fin y las guías.*



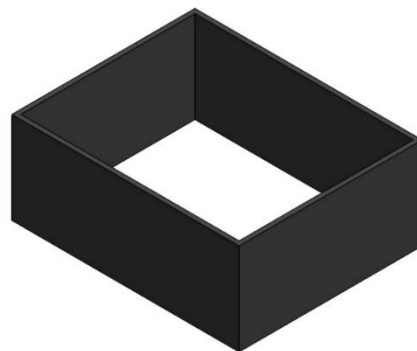
La **Figura 42** corresponde al molde utilizado en el diseño. Dado que en México no existe una normatividad específica para la producción de briquetas, se tomó como referencia la **Norma Técnica Colombiana NTC 2060**, adoptando dimensiones adecuadas para la producción a pequeña escala y uso familiar. La briqueta final tendrá una forma cuadrangular de  $6 \times 6 \times 10$  cm, lo que facilita su almacenamiento y, al mismo tiempo, optimiza la construcción de la máquina, ya que permite el uso de perfiles cuadrados sin requerir procesos de maquinado adicionales.



*Figura 42. Molde*

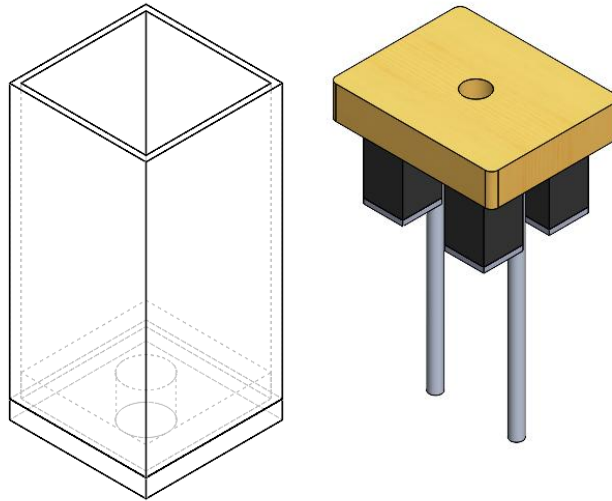
Debido a que la producción es de tipo artesanal, se emplea una cantidad considerable de aglutinante para lograr una adecuada adhesión de las partículas. Por ello, se incorporaron orificios en las paredes del molde para permitir el drenaje del líquido excedente. Además, al igual que en la base principal, el molde cuenta con perforaciones para el tornillo sin fin y las guías, ubicadas en el centro de la pieza.

Para proporcionar una mejor estabilidad y área de impacto en el molde se implementa una pieza pared que reforzara el perímetro flotante como se observa en la **Figura 43**.



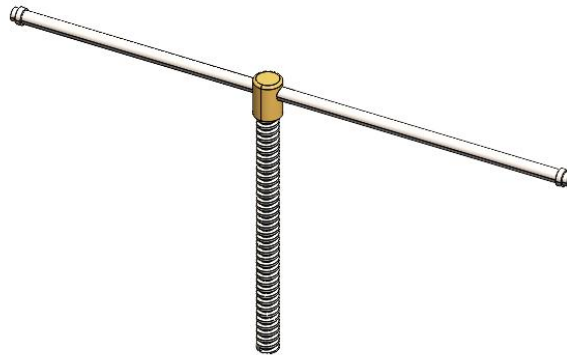
*Figura 43. Pieza pared de reforzamiento*

La pieza que proporcionará todo el torque (boca móvil) está unida a la pieza vástago (compuesta por cuatro elementos) y a los ejes que bloquean el giro del tornillo sin fin para transformar el movimiento circular a lineal. La pieza vástago será la responsable de dirigir el torque de compactación a los espacios de la pieza molde respetando la geometría de las varillas, así como se observa en la **Figura 44**.



*Figura 44. Pieza vástago*

Para la parte del tornillo, se presenta con su cabezal en la parte superior y la manivela en donde se apoyarán los brazos para ejercer fuerza. La pieza completa se presenta en la **Figura 45**.

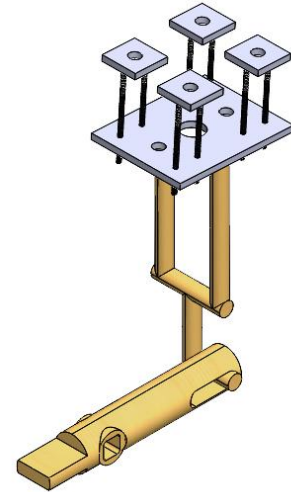


*Figura 45. Tornillo sin fin, pieza completa*

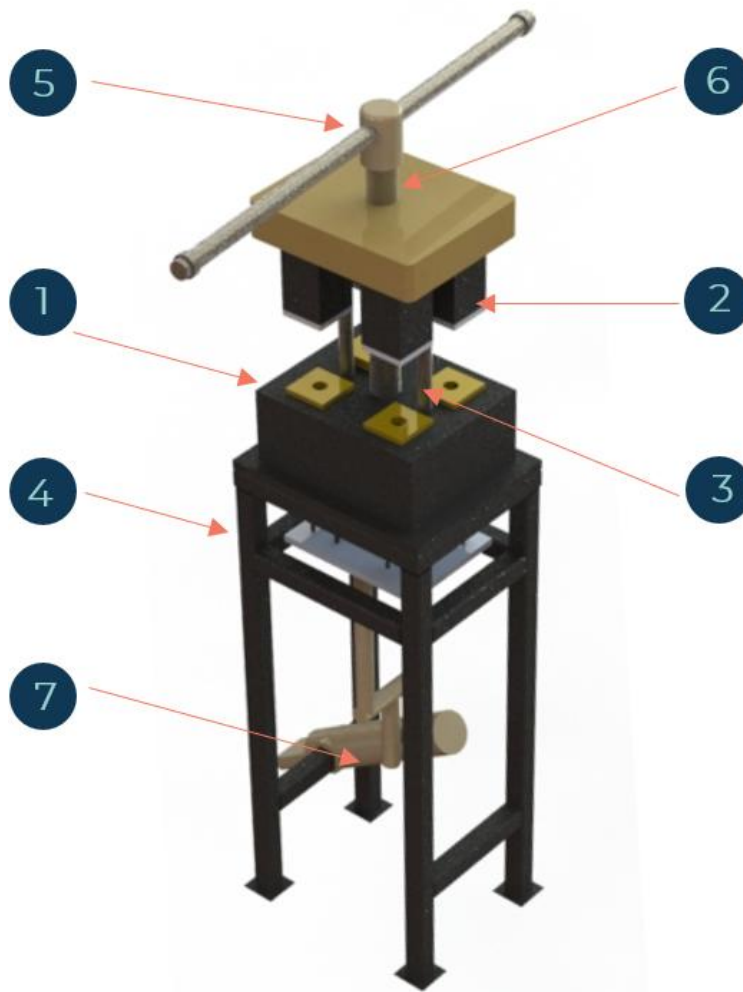
Para la construcción de la máquina se propuso una briquetadora de tipo artesanal, sin embargo, uno de los principales inconvenientes que se presentaron en el modelo construido para el Proyecto B de la SMADSOT fue la dificultad en el desmolde por lo que, para este trabajo se implementa un sistema de desmolde que facilite la extracción del producto final.

El mecanismo que se utiliza es el de una palanca de primer grado, implementando el sistema de funcionamiento de un “bote de basura de pedal” el cual tiene la función de levantar una pieza en la parte superior. Para este trabajo, se utiliza como sistema de expulsión el modelo que se observa en la **Figura 46**.

La visualización final de la máquina completa se observa en la **Figura 47** y los planos de la máquina se detallan en el Anexo IV.



*Figura 46. Sistema de expulsión*



*Figura 47. Briquetadora completa 1. Boca fija, 2. Boca móvil, 3. Guías, 4. Base, 5. Manivela, 6. Tornillo, 7. Mecanismo*

## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS



## 4.1 Análisis mecánico

Tomando en cuenta que el mecanismo que otorgara la fuerza de compresión es el tornillo sin fin, con el apoyo del libro “*Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*” [84] se analizó el torque resultante que se puede generar con un tornillo de 1 ½ de pulgada de diámetro. El tamaño se decidió a partir de los costos consultados en el mercado, tomando en cuenta que el prototipo debe ser económico para que exista la posibilidad de ser replicado en comunidades rurales.

Además, el paso del tornillo se obtiene de la **Tabla 10**.

*Tabla 10. Paso para rosca ACME. Adaptado de [84]*

<i>d, in</i>	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/2	3
<i>P, in</i>	1/16	1/14	1/12	1/10	1/8	1/6	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3

Entrando en detalle, el torque determina la eficiencia de una fuerza para provocar o modificar el movimiento rotacional y, una misma fuerza, podría generar más o menos rotación sobre una palanca dependiendo de la relación que se guarde con esta. Por otro lado, en una briquetadora de tipo artesanal para su correcto funcionamiento, se hace uso exclusivo de las manos y con poca intervención de maquinaria.

De modo que, para conocer el valor del torque con el que se va a prensar se utiliza la **Ecuación 4.1** que indica como calcular el par de torsión para bajar la carga y lograr la compactación.

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l - \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right) \quad (4.1)$$

Donde,  $F$  es la fuerza que aplica el tornillo ( $N$ ),  $d_m$  es el diámetro medio de la rosca del tornillo ( $m$ ),  $l$  es el paso o avance por vuelta del tornillo ( $m$ ),  $f$  es el coeficiente de fricción (adimensional) y  $\alpha$  es el ángulo de hélice del tornillo ( $^\circ$ ).

Además, como se mencionó en la sección 2.5.1, en el proceso artesanal de fabricación de briquetas no es necesario seguir parámetros estrictos en cuanto a la proporción de mezcla entre la materia prima y el aglutinante o la presión de compactación. Por ello se utilizará una presión de compactación de 5 MPa, considerada el valor máximo en la fabricación artesanal [13], facilitada por el uso de grandes cantidades de aglutinante [92].



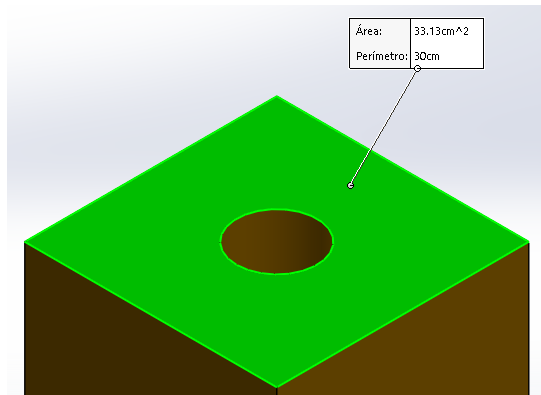
Con la propuesta del valor de la presión, es posible conocer el valor de la fuerza de compactación necesaria para briquetar de manera eficiente, por lo que a partir de la fórmula de la presión representada en la **Ecuación 4.2** se despeja la fuerza para conocer su valor (**Ecuación 4.3**).

$$p = \frac{F}{A} \quad (4.2)$$

$$F = p * A \quad (4.3)$$

Donde,  $F$  es la fuerza ( $N$ ),  $p$  es la presión ( $Pa$ ) y  $A$  es el área donde se aplicará la presión ( $m^2$ ).

De esta manera, se desarrolla la **Ecuación 4.3** a partir de los datos proporcionados en la **Figura 42** en donde se presentó el molde con cuatro espacios disponibles para el briquetado. El área de compactación para un espacio se muestra en la **Figura 48**. Por lo tanto, para el área total de compactación se multiplicar este valor por los cuatro moldes.



*Figura 48. Área del espacio de compactación*

$$F = p * A \quad (4.3)$$

$$F = (5 \text{ MPa})(0.003313 \text{ m}^2 * 4)$$

$$F = 66,260 \text{ N}$$

Con el resultado anterior y el apoyo de la literatura se obtienen los valores de las variables a sustituir en la **Ecuación 4.1**, estos valores se recopilan en la **Tabla 11**.

*Tabla 11. Variable para calcular el par de torsión para bajar la carga. Elaboración propia.*

Significado	Variable	Valor	Conversión
Torque	$T$	-	-
Fuerza	$F$	66,260 N	66 260 N
Diámetro medio	$d_m$	1 1/2"	0.0381 m
Paso	$l$	1/4"	0.00635 m



Coefficiente de fricción	$f$	0.15	0.15
	$\alpha$	14.5°	

Lo anterior se sustituye en la **Ecuación 4.1** y se resuelve:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l - \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right) \quad (4.1)$$

$$T = \left[ \frac{(66\,260\,N)(0.0381\,m)}{2} \right] \left[ \frac{0.00635\,m - \pi(0.15)(0.0381\,m)(\sec(14.5^\circ))}{\pi(0.0381\,m) + (0.15)(0.00635\,m)(\sec(14.5^\circ))} \right]$$

$$T = (1\,262.853\,N * m) \left[ \frac{0.00635\,m - \pi(0.15)(0.0381\,m)(1.0329)}{\pi(0.0381\,m) + (0.15)(0.00635\,m)(1.0329)} \right]$$

$$T = (1\,262.853\,N * m) \left( \frac{0.00635\,m - 0.01854\,m}{0.1196\,m + 0.00098\,m} \right)$$

$$T = (1\,262.853\,N * m) \left( \frac{-0.01219\,m}{0.12067\,m} \right)$$

$$T = (1\,262.853\,N * m) \left( \frac{-0.01219\,m}{0.12067\,m} \right)$$

$$T = (1\,262.853\,N * m)(-0.101019)$$

$$\mathbf{T = -127.5721\,Nm}$$

El signo negativo representa la dirección de la carga, por lo que se entiende que la carga tiene que bajar para lograr compactar el material.

Para garantizar que el tornillo sin fin alcance la máxima compactación posible con el diseño propuesto, es necesario aplicar una fuerza adecuada en la manivela superior para generar el torque necesario que asegurará la fuerza requerida. La fuerza requerida dependerá de la longitud de la manivela, por lo que se utiliza la fórmula del torque, descrita en la **Ecuación 4.4** para determinar dicha longitud y asegurar que la fuerza ejercida por el usuario sea suficiente.

Así, de manera siguiendo un proceso similar en las **Ecuaciones 4.2** y **4.3**, se despeja **D** de **4.4** para formar la **Ecuación 4.5**.

$$T = F_b * D \quad (4.4)$$



$$D = \frac{T}{F_b} \quad (4.5)$$

Donde,  $D$  es la longitud de la manivela ( $m$ ),  $F_b$  es la fuerza que el usuario deberá aplicar ( $N$ ) y  $T$  es el torque del tornillo ( $Nm$ ).

Además, en este contexto es crucial calcular la fuerza  $F_b$  que el usuario final deberá aplicar. En detalle,  $F_b$  depende directamente de quien utilice la Briquetadora, por lo que se debe de calcular considerando el máximo esfuerzo a la que llegue a estar expuesta. Tomando en cuenta lo anterior, bajo el diseño que se desarrolló para la máquina y tratándose de una briquetadora de tipo artesanal, su máximo esfuerzo es la fuerza que puede poner el usuario en el tornillo, la cual proviene de sus brazos.

Los usuarios pueden ser hombres y mujeres, niños, niñas e incluso adultos mayores. Por lo cual, al ser una máquina que depende netamente de la fuerza del usuario se analiza la fuerza máxima que se puede obtener con el mecanismo de potencia propuesto.

El valor de la fuerza máxima entre hombres y mujeres depende de factores como la masa muscular, la edad y el grupo muscular que se evalué [93] [94].

Analizando la fuerza según el grupo de edad, la diferencia entre la fuerza de un niño y una niña no tiene gran variación, en la etapa de la adolescencia esto cambia por la actividad hormonal que se presenta pues los niveles de testosterona en los adolescentes masculinos tienen un alto valor [95]. A la edad de 15 años, la fuerza máxima de una adolescente femenina, medida con un manómetro de mano es 25% menor que la de un adolescente masculino [93].

A la edad de entre los 30 a 39 años, se alcanza la fuerza máxima pico para ambos sexos por lo que, la fuerza máxima promedio en las mujeres es un 40% menor que la fuerza de los hombres. Además, la diferencia de fuerza es mayor en los músculos de la parte superior del cuerpo que en los músculos de la parte inferior de la anatomía humana [93] [94].

Desde la suposición ideal de que un usuario varón que goza de buena salud y sin ningún tipo de complicación física sea quien implemente la mayor cantidad de fuerza se analiza la fuerza que se aplicara en el tornillo de potencia.

La fuerza de entrada debe de ser implementada por los brazos por lo que se deben de tener en cuenta las siguientes consideraciones:



## 1. Peso del brazo

De acuerdo con el volumen 4 de la Revista Electrónica de Ciencias Aplicadas al Deporte (ReCAD) [96], para una persona promedio, el peso máximo del miembro superior completo (compuesto por el brazo, antebrazo y la mano) es aproximadamente del 6.6% respecto al total del peso corporal como se observa en la Figura 49.

Figura 49. Partes que componen al miembro superior del cuerpo humano [97]



## 2. Peso corporal promedio

Según el INEGI, en los resultados de su último de Censo de Población y Vivienda 2020 [98], un hombre mexicano promedio pesa aproximadamente de 74 kg.

Entonces, para conocer la fuerza que ejercen los brazos, primero se toma la información anterior y se considera el doble del porcentaje de la extremidad superior por el peso corporal promedio dando como resultado la Ecuación 4.6.

$$m_b = (2) (p_b) (P_{cp}) \quad (4.6)$$

Donde,  $m_b$  es la masa total de ambos brazos ( $kg$ ),  $p_b$  el porcentaje del peso corporal correspondiente a un brazo (adimensional) y  $P_{cp}$  es el peso corporal promedio ( $kg$ ).

Cabe mencionar que, aunque se emplea el término “peso” en esta sección, se entiende en su uso coloquial como **masa expresada en kilogramos**, no como fuerza.

Desarrollando 4.6 con los datos descritos anteriormente se obtiene lo siguiente:

$$m_b = (2) (p_b) (P_{cp}) \quad (4.6)$$

$$m_b = (2)(6.6\%) (74 \text{ kg})$$

$$m_b = 9.768 \text{ kg}$$

En la Ecuación 4.5,  $F_b$  es la fuerza del brazo aplicada. La fuerza debido al peso se calcula a partir de la segunda ley de Newton expresada como:

$$F_b = m_b * g \quad (4.7)$$



Donde  $m_b$  es la masa de los brazos ( $kg$ ) y  $g$  es la aceleración debido a la gravedad ( $m/s^2$ ).

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$F_b = m_b * g \quad (4.8)$$

$$F_b = 9.768 \text{ kg} * (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$F_b = 95.8240 \text{ N}$$

Con el valor de  $F_b$  y  $T$  ahora conocidos se sustituye en 4.5 para conocer la longitud de la manivela quedando de la siguiente manera:

$$D = \frac{T}{F_b} \quad (4.5)$$

$$D = \frac{127.5721 \text{ Nm}}{95.8240 \text{ N}}$$

$$D = 1.33 \text{ m}$$

Con este valor resultante se tiene que la distancia ideal que debe de tener la manivela para proporcionar un **torque de 127.5721 Nm** por medio del tornillo en cada uno de los cuatro espacios de la pieza molde (Figura 42) y aplicada por un hombre completamente sano es de **1.33 m**.

Con los valores obtenidos se actualiza la información faltante de la Tabla 11 y se presentan los valores obtenidos en la Tabla 12.

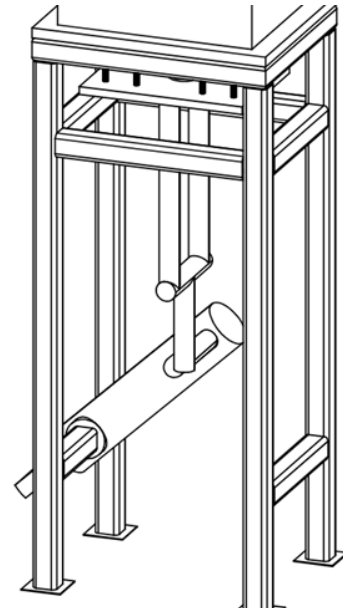
*Tabla 12. Variables actualizadas para calcular el par de torción para bajar la carga. Elaboración propia.*

Definición	Variable	Valor	Conversión
Torque	$T$	127.5721 Nm	127.5721 Nm
Fuerza	$F$	66 260 N	66 260 N
Diámetro medio	$d_m$	1 1/2"	0.0381 m
Paso	$l$	1/4"	0.00635 m



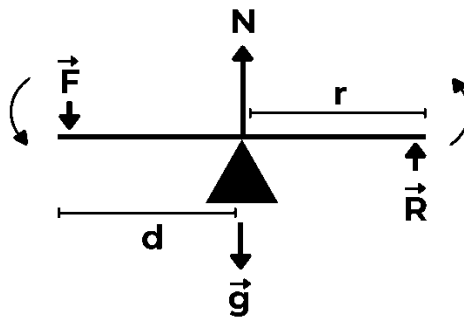
Coefficiente de fricción	$f$	0.15	0.15
	$\alpha$	14.5°	

Una vez obtenidos los datos del par de torsión para bajar la carga, se prosiguió en analizar el mecanismo de la palanca para la expulsión de las briquetas una vez comprimidas. Esta palanca es de primera clase [39], por lo tanto, su punto de apoyo se encuentra al centro de ella y forma parte de la base de la máquina como se puede apreciar en la **Figura 50**.



*Figura 50. Sistema de expulsión instalado en la pieza base principal.*

Esta palanca obedece la *Ley de la palanca*, cuya expresión se deduce a partir del análisis sobre un objeto en equilibrio mecánico según lo expuesto en el libro “Fundamentos de Física” de Serway [99]. Para ello, se parte del análisis la **Figura 51**, la cual muestra una palanca de primera clase con una fuerza de entrada ( $\vec{F}$ ), una fuerza de salida ( $\vec{R}$ ), una distancia  $d$  del punto de apoyo hasta la fuerza de entrada y una distancia  $r$  desde el mismo punto hasta la fuerza de salida. El punto de apoyo se encuentra ubicado entre ambas fuerzas. Además, se representa la fuerza normal ( $\vec{N}$ ) como reacción a la fuerza de gravedad ( $\vec{g}$ ) que actúa sobre la palanca.



*Figura 51. Palanca de primera clase [99]*



Esta palanca se encontrará en equilibrio mecánico cuando satisfaga simultáneamente dos condiciones fundamentales:

1. La fuerza externa neta debe ser cero:

$$\sum \vec{F} = 0$$

2. El torque externo neto sea cero:

$$\sum \vec{\tau} = 0$$

Al observar y analizar la **Figura 51**, es posible notar que la palanca cumple con la primera condición, ya que se encuentra fija dentro de la estructura de la máquina y no presenta desplazamiento lineal. Por lo tanto, se asume que:  $\sum \vec{F} = 0$  como condición de equilibrio traslacional.

En cuanto a la segunda condición, esta se refiere al equilibrio rotacional, y establece que la suma de todos los torques respecto al punto de apoyo también debe ser cero:

$$\sum \vec{\tau} = 0$$

O bien

$$\vec{F} * d - \vec{R} * r = 0$$

De este modo, la palanca se encontraría en equilibrio. Cabe señalar que, aunque en esta deducción se utiliza notación vectorial para describir con precisión las condiciones de equilibrio, en el análisis práctico que se presenta más adelante solo se trabajará con las **magnitudes escalares** de las fuerzas. Esto se debe a que no se cuenta con el valor exacto del ángulo de inclinación de la palanca ni con la dirección precisa de aplicación de las fuerzas. Por lo tanto, se busca únicamente conocer el valor numérico (magnitud) de la fuerza necesaria para expulsar la briqueeta, prescindiendo del análisis del sentido y la dirección de dicha fuerza.

Considerando lo anterior, y reorganizando la ecuación, se obtiene la expresión escalar de la ley de la palanca:



$$F * d = R * r \quad (4.9)$$

$F$  es la fuerza aplicada ( $N$ ),  $d$  es la distancia desde el punto donde se ejerce la fuerza al punto de apoyo ( $m$ ),  $R$  es la resistencia o carga a mover ( $N$ ) y  $r$ , es la distancia desde el punto donde se encuentra la resistencia a vencer al punto de apoyo ( $m$ ).

### 1. Peso de la pierna

De forma análoga al procedimiento realizado para calcular al par de torción, es necesario conocer el peso de la pierna de una persona promedio. Se contempla que, el peso máximo del miembro inferior completo compuesto por el muslo, pierna y el pie, tal como se observa en la **Figura 52**, es aproximadamente del **18.6%** respecto al total del peso corporal de acuerdo con la Revista Electrónica de Ciencias Aplicadas al Deporte (ReCAD) [96].



Figura 52. Partes que componen del miembro inferior del cuerpo humano [97]

### 2. Peso corporal promedio

Teniendo en cuenta el peso corporal promedio de 74 kg dado por el INEGI en los resultados de su último de Censo de Población y Vivienda 2020, es posible conocer la fuerza que ejerce una pierna.

Para ello, primero se obtiene el valor de la masa de la extremidad inferior de manera similar a como se obtuvo el peso de la masa de los brazos anteriormente.

$$m_p = (p_p) (P_{cp}) \quad (4.10)$$

Donde,  $m_p$  es la masa total de la pierna ( $kg$ ),  $p_p$  el porcentaje del peso corporal correspondiente a una pierna (adimensional) y  $P_{cp}$  es el peso corporal promedio ( $kg$ ).

De este modo y sustituyendo los valores correspondientes en 4.10 se obtiene la masa de la pierna:

$$m_p = (p_p) (P_{cp}) \quad (4.10)$$

$$m_p = (18.6\%)(74 \text{ kg})$$

$$m_p = 13.764 \text{ kg}$$



En la **Ecuación 4.11**,  $F$  corresponde a la fuerza de la pierna aplicada, es decir,  $F = F_p$ . Esta fuerza se calcula de la misma forma que la **Ecuación 4.11**. Por lo tanto, sustituyendo los valores, tenemos:

$$F_p = m_p * g \quad (4.11)$$

$$F_p = 13.764 \text{ kg} * (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$F_p = 135.025 \text{ N}$$

Se despeja  $R$  de la **Ecuación 4.9** para conocer la fuerza aplicada a las briquetas por la palanca, dando como resultado la **Ecuación 3.12**. Una vez obtenido el valor de  $F_p$ , así como los valores de  $d$  y  $r$  recopilados de los planos de la máquina (**11.5 cm** y **23.41 cm** respectivamente), se desarrolla **4.12** para obtener el valor de  $R$ .

$$R = \frac{F_p * d}{r} \quad (4.12)$$

$$R = \frac{135.025 \text{ N} * 0.115 \text{ m}}{0.2341 \text{ m}}$$

$$R = 66.33 \text{ N}$$

Dando como resultado una **fuerza de expulsión de 66.33N**. Con esto, es posible deducir la masa de las briquetas que serán expulsadas por la palanca.

Teniendo en cuenta que la obtención de la fuerza aplicada por la pierna fue a través de la **Ecuación 4.11**, es posible utilizar la misma fórmula para obtener la masa de las briquetas. Para ello, se tomará en cuenta que ya se conoce la fuerza  $R$  y el valor de la gravedad  $g$ . Por lo tanto, solo basta con despejar la masa de la fórmula y, así, sustituir los valores para obtener el valor de la masa de las briquetas:

$$R = m_{briqueta} * g \quad (4.13)$$

$$m_{briqueta} = \frac{R}{g} \quad (4.14)$$

$$m_{briqueta} = \frac{66.33 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$m_{briqueta} = 6.76 \text{ kg}$$



Con este procedimiento, se consigue saber que será posible expulsar briquetas de 6.76 kg. Sin embargo, considerando que la máquina briquetadora de este trabajo expulsa simultáneamente 4 briquetas, basta con dividir el valor de 6.76 kg entre la cantidad de briquetas expulsadas a la vez para definir que se logrará expulsar 4 briquetas de 1.69 kg cada una.

## 4.2 Análisis por el Método del Elemento Finito

Para trabajar el análisis mecánico del prototipo se utilizó la licencia de versión educativa 2023-2024 de SolidWorks Motion, primero se le asignó un material a cada componente otorgando un valor de masa real al prototipo como se observa en la **Tabla 13**.

*Tabla 13. Análisis mecánico. Elaboración propia.*

PARTES DE LA BRIQUETADORA		
Componente	Material	Masa (kg)
Base principal	Hierro dúctil	17.32
Molde	Hierro dúctil	4.53
Pared	Hierro dúctil	3.09
Vástago completo	Hierro dúctil Pino	4.17
Tornillo	Acero inoxidable Pino	3.08
Mecanismo	Nylon Acero inoxidable	2.13
<b>Total</b>		<b>34.32</b>

Posteriormente, se procedió a abrir el programa y, en la barra de opciones, se seleccionó **Complementos > SolidWorks Simulation > New Study**. En el tipo de estudio, se eligió **Estático** para realizar los análisis correspondientes bajo el criterio de **Von Mises**, con el fin de determinar si el modelo propuesto podría fallar bajo las condiciones ideales de trabajo.



## 4.2.1 Base principal, molde y pared.

### 4.2.1.1 Análisis de tensiones

Para comenzar con el análisis, se incluyó la parte fija del sistema, es decir, la base principal junto con el molde y la pared. En la base principal se aplicó una fuerza de 66,260 N sobre la solera, específicamente en el área de compresión de la briqueta y un torque de 127.5721 Nm en el orificio (a) de la solera. Por su parte, el molde recibió una tensión de 120,000 N/m<sup>2</sup> sobre las paredes que sostendrán y moldearán la briqueta. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

En la **Figura 53** se observa el mapa de esfuerzos de Von Mises de la base fija, molde y pared, así como la escala de tensiones correspondiente. Asimismo, en esta figura se muestra el límite elástico del hierro dúctil, con un valor de 551 484 992 N/m<sup>2</sup>.

Por otro lado, al analizar los resultados del modelo, representados en la **Figura 53**, se parte de la suposición de que, al utilizar la máquina, una persona en condiciones ideales sería capaz de aplicar una fuerza de 66,260 N que, al ser transferida por el tornillo, se obtendría un torque de 127.5721 Nm, generando tensiones sobre la estructura que se encuentran en un rango de 1.659 N/m<sup>2</sup> a 6.673x10<sup>7</sup> N/m<sup>2</sup>. Esto sugiere que la fuerza aplicada en el área en cuestión no rebasa el límite elástico del material, indicando que sería funcional para la aplicación.

Además, por la geometría y el material que se está utilizando, la pieza completa resiste un esfuerzo ingenieril máximo de 560 000 000 N/m<sup>2</sup>. Por otra parte, se observa que las regiones que soportan un mayor esfuerzo ingenieril son las que se presentan en un color rojo, ubicadas en la periferia del orificio (a), donde se concentra el torque ejercido.

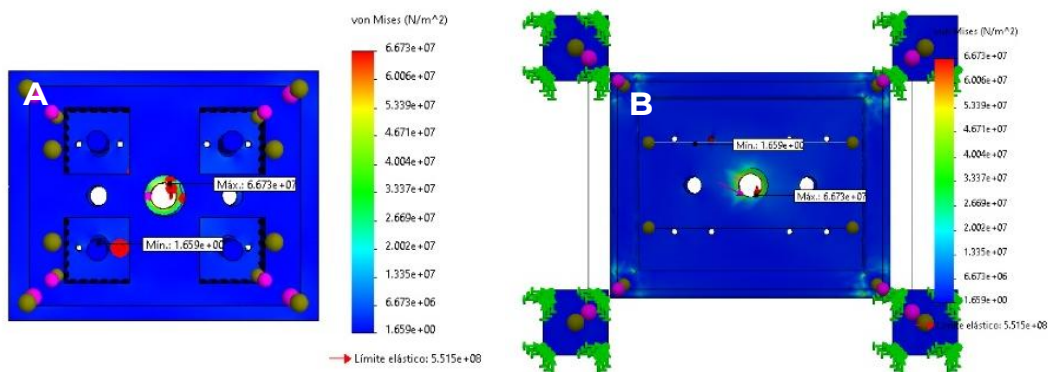


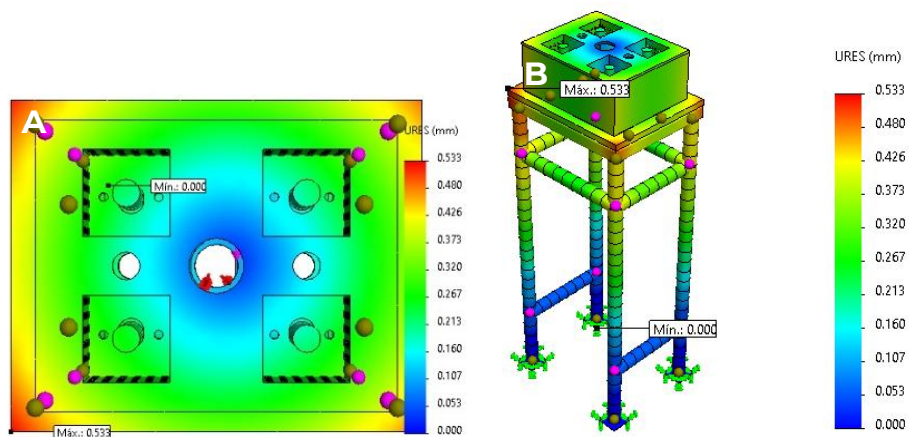
Figura 53. Vista superior (A) e inferior (B) de base fija, molde y pared, estudio de tensiones

#### 4.2.1.2 Análisis de desplazamiento

El análisis de las piezas: base fija, molde y pared continúa con el estudio del desplazamiento. En la **Figura 54** se observa el mapa de desplazamientos totales de estas piezas, acompañado de su respectiva escala, con la magnitud en milímetros, donde la variable URES (resultante del vector de desplazamiento) indica el desplazamiento total en cada punto de la pieza.

Por consiguiente, se realiza el análisis de la **Figura 54** partiendo de las mismas condiciones de carga utilizadas en el estudio de tensiones, con las cuales se observó un desplazamiento en las piezas. Este desplazamiento tiene su valor mínimo (0 mm) en la parte inferior de la base fija y su valor máximo (0.533 mm) en las esquinas de la parte superior de la base fija.

Al obtener como resultado un máximo desplazamiento de 0.533 milímetros, se sugiere que la estabilidad del modelo no estaría comprometida al momento de ser utilizada por el usuario, incluso, el desplazamiento es tan diminuto que podría despreciarse desde el punto de vista funcional, lo cual indica un desplazamiento imperceptible para el usuario.



*Figura 54. Vista superior (A) e isométrica (B) de base fija, molde y pared, estudio de deformaciones*

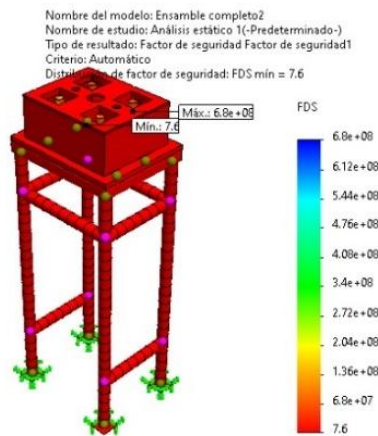
#### 4.2.1.3 Análisis del Factor de Seguridad (FDS)

Para finalizar con el análisis de las piezas: base fija, molde y pared, se realizó el análisis del factor de seguridad. En la **Figura 55** se presenta el mapa del factor de seguridad de estas tres piezas, acompañado de su respectiva escala de colores, donde

la variable FDS (Factor de Seguridad) representa el margen de resistencia del material frente a las condiciones de carga aplicadas.

A partir del análisis de la **Figura 55**, se puede notar que las tres piezas cuentan con el mismo factor de seguridad al presentar una coloración uniforme en el mapa. Este valor, de 7.6, corresponde al mínimo representado por la escala.

Por otra parte, de acuerdo con *SafetyCulture (consultado en línea)*, para estructuras o elementos mecánicos expuestos a cargas estáticas y fatiga, los FDS suelen estar entre 1.5 y 3 en aplicaciones comunes y para máquinas o componentes críticos que implican seguridad humana, el FDS puede ser mayor, alrededor de 5 o más, dependiendo del tipo de riesgo [100]. Lo anterior sugiere que la estructura es segura para el usuario al obtener un valor de 7.6 en el Factor de Seguridad.



*Figura 55. Vista isométrica de la banca fija, molde y pared, estudio factor de seguridad*

## 4.2.2 Tornillo

Para el análisis de las piezas restantes, el tornillo y la boca móvil, se sigue una metodología similar a las tres piezas anteriores, comenzando por el análisis de tensiones, seguido del análisis de desplazamiento y concluyendo con el análisis del Factor de Seguridad (FDS).

### 4.2.2.1 Análisis de tensiones

Comenzando con el estudio del tornillo, se aplicó una fuerza de 66,260 N en la parte donde el tornillo se enrosca con la base principal y un torque de 127.5721 Nm en la parte superior. En las **Figuras 56** y **57** se observan los mapas de esfuerzo de Von Mises del tornillo, junto con la escala de tensiones correspondiente. El tornillo está fabricado en



acero inoxidable, con un límite elástico que varía entre 215 000 000 a 250 000 000 N/m<sup>2</sup>, dependiendo de la aleación del acero.

Al analizar las figuras, se observa que las tensiones generadas en el área están en un rango de 1.770x10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup> a 1.024x10<sup>8</sup> N/m<sup>2</sup>. Estos valores son inferiores al límite elástico del material, lo que sugiere que es adecuado para la aplicación. Además, la mayor concentración de esfuerzos se indica en las regiones de color rojo.

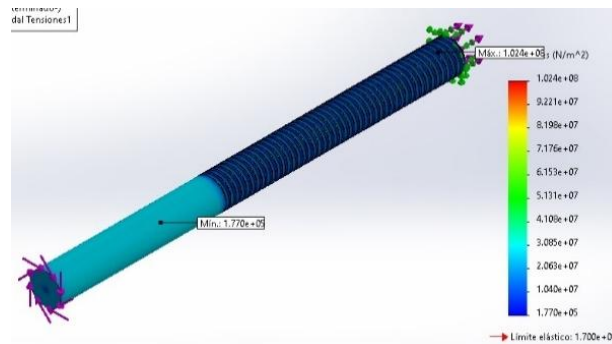


Figura 56. Vista isométrica del tornillo, estudio de tensiones

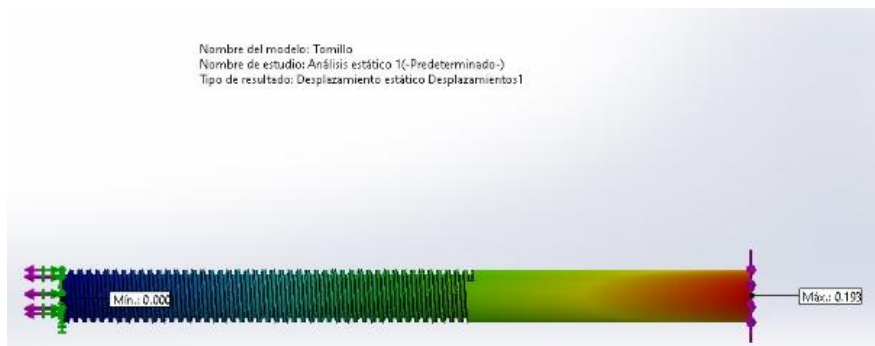


Figura 57. Vista lateral tornillo, estudio de tensiones

#### 4.2.2.2 Análisis de desplazamiento

Se continúa con el estudio del desplazamiento para el tornillo. En la **Figura 58** se observa el mapa de desplazamientos totales de esta pieza, acompañado de su respectiva escala, con la magnitud en milímetros.

Por lo tanto, se realiza el análisis de la **Figura 58** con las mismas condiciones de carga utilizadas en el análisis de las tensiones, con las que se obtuvo un mínimo desplazamiento en el tornillo. El desplazamiento que tuvo la pieza va desde los 0 mm hasta los 0.193 mm.



Se infiere que el desplazamiento del tornillo, de 0.193 milímetros, es mínimo, lo que no comprometería su funcionamiento ni la seguridad del usuario. De hecho, el desplazamiento en el tornillo es menor que el desplazamiento en la base fija, molde y pared, lo cual hace que el desplazamiento sea imperceptible para el usuario respecto a la funcionalidad de la pieza.

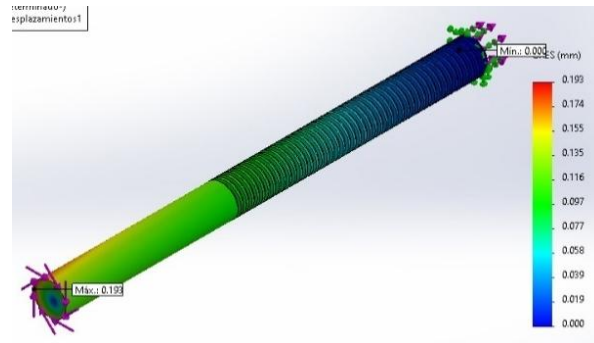


Figura 58. Vista isométrica del tornillo, estudio deformaciones

#### 4.2.2.3 Análisis del Factor de Seguridad (FDS)

Finalizando con el estudio del tornillo, se realizó el análisis del factor de seguridad. En la **Figura 59** se presenta el mapa del factor de seguridad de esta pieza con su respectiva escala de colores para la variable FDS (Factor de Seguridad).

A partir del análisis de la **Figura 59**, se puede notar que la pieza presenta el mínimo valor de FDS de la escala, 1.66. Por otra parte, de acuerdo con lo analizado en la sección **4.2.1.3**, donde se definieron los rangos aceptables de FDS para aplicaciones comunes, el valor del factor de seguridad del tornillo se encuentra dentro del rango, lo que sugiere que el tornillo es seguro para el usuario y su aplicación en este trabajo.

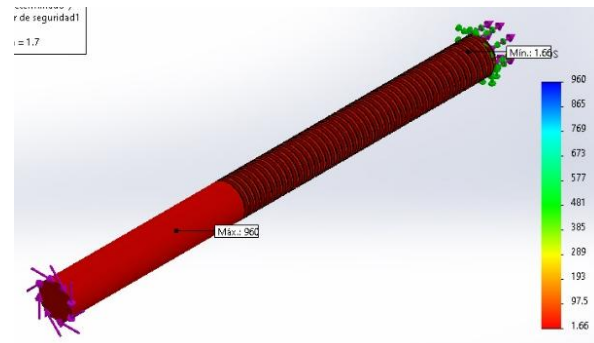


Figura 59. Vista isométrica del tornillo, estudio factor de seguridad



### 4.2.3 Boca móvil

Para finalizar con el análisis en Solid Works, se analizan las tensiones, el desplazamiento y el factor de seguridad (FDS) de la última pieza, la boca móvil.

#### 4.2.3.1 Análisis de tensiones

Para comenzar con el análisis de tensiones, se le aplicó una fuerza de compresión en la parte superior de 66,260 N. En la **Figura 60** se observa el mapa de esfuerzos de Von Mises de la boca móvil, junto con la escala de tensiones correspondiente. La pieza está fabricada en hierro dúctil, cuyo límite elástico es de 551 484 992 N/m<sup>2</sup>.

Por otro lado, al analizar los resultados del modelo representados en la **Figura 60**, se observa que las tensiones generadas en la pieza están en un rango de  $5.376 \times 10^2$  N/m<sup>2</sup> a  $1.487 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>. Estos valores son inferiores al límite elástico del material, lo que sugiere que es adecuado para la compresión en la máquina. Además, la mayor concentración de esfuerzos de esta pieza se indica en las regiones de color verde, ubicadas en la periferia del orificio (a), justo donde se colocará el tornillo.

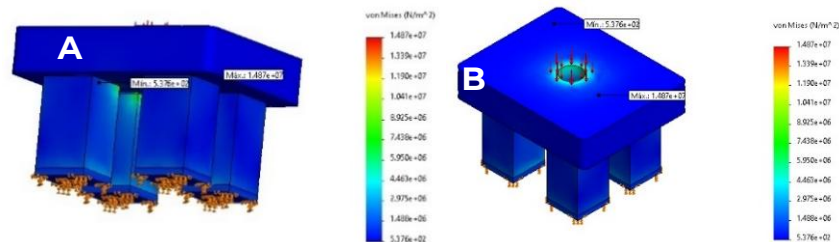


Figura 60. Vista lateral (A) e isométrica (B) de banca móvil, estudio de tensiones

#### 4.2.3.2 Análisis de desplazamiento

Continuando con el estudio del desplazamiento de la boca móvil. En la **Figura 61** se observa el mapa de desplazamientos totales de esta pieza, acompañado de su respectiva escala, con la magnitud en milímetros.

De modo que se realiza el análisis de la **Figura 61** con las mismas condiciones de carga utilizadas en el análisis de las tensiones, con las que se obtuvo un mínimo desplazamiento en la pieza. El desplazamiento se encuentra en el rango de 0 mm hasta 0.303 mm.



Se infiere que el desplazamiento de la boca móvil, de 0.303 milímetros, es mínimo, lo que no comprometería su funcionamiento ni la seguridad del usuario. Al igual que en las piezas anteriores, el desplazamiento de la boca móvil es imperceptible para el usuario respecto a la funcionalidad de la pieza.

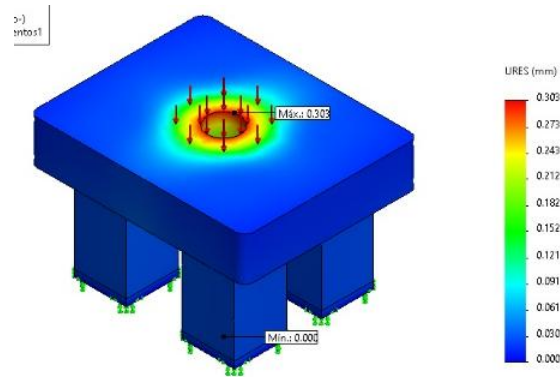


Figura 61. Vista isométrica de la banca móvil, estudio desplazamiento

#### 4.2.3.3 Análisis del factor de seguridad

Para finalizar con el estudio de la boca móvil, se realizó el análisis del factor de seguridad. En la **Figura 62** se presenta el mapa del factor de seguridad de esta pieza, junto con su respectiva escala de colores para la variable FDS (Factor de Seguridad).

A partir del análisis de la **Figura 62**, se puede notar que la pieza presenta un factor de seguridad de 7.9, el cual representa el valor mínimo de FDS en la escala.

Por otro lado, de acuerdo con lo analizado en la sección **4.2.1.3**, donde se definió el límite inferior de FDS para máquinas o componentes críticos que implican seguridad humana, el valor del factor de seguridad de la boca móvil supera dicho límite, lo que sugiere que la pieza es segura para el usuario y su aplicación en este trabajo.



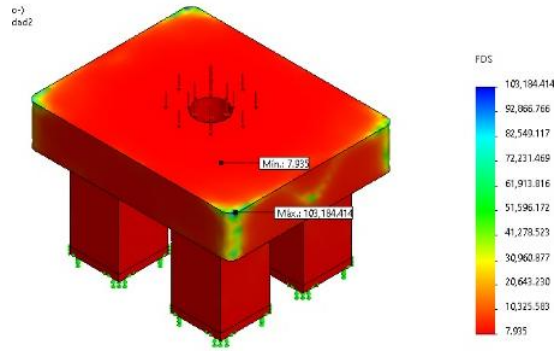


Figura 62. Vista isométrica de la banca móvil, estudio de factor de seguridad

De modo que, con ayuda de los resultados de los análisis mecánicos realizados en SolidWorks Simulation, es posible deducir que la estructura de la briquetadora soporta las fuerzas aplicadas durante el proceso de compactación sin comprometer su estabilidad. Además, los valores del factor de seguridad en cada pieza corresponden a los mínimos reportados en cada análisis y se encuentran dentro de los rangos aceptables, lo que permite inferir que la máquina es segura para su operación en comunidades rurales.

### 4.3 Consideraciones para el correcto funcionamiento de la máquina

En base a las simulaciones realizadas con la briquetadora diseñada, se presentan en la **Tabla 14** los materiales biomásicos que se pueden considerar para ser procesados de manera eficiente. La selección se realizó considerando criterios técnicos como su disponibilidad en comunidades rurales de Puebla, con prioridad en residuos agroindustriales comunes en la región. Además, se evaluó que los materiales tuvieran un poder calorífico adecuado para su uso como biocombustibles sólidos y una alta compactibilidad.

Tabla 14. Materiales biomásicos con viabilidad de compactación. Elaboración propia

MATERIALES BIOMÁSICOS CON VIABILIDAD DE COMPACTACIÓN		
Biomasa	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Poder calorífico (MJ/kg)
Cáscara de girasol	450	20
Cáscara de nuez	500	20



Cáscara de almendra	450	19
Cáscara de coco	700	19
Cáscara de maní	400	19
Aserrín de madera dura		18
Cáscara de cacao		18
Cáscara de café		18 - 20
Pergamino de café	290	17.936
Fibras de palma		17
Aserrín de madera blanda		16
Bagazo de agave	134.2	15.43 – 16.35
Residuos de poda de árboles frutales		15
Paja de trigo		15
Hojas de maíz (totomoxtle)		13 - 16
Bagazo de caña de azúcar	204	14
Cáscara de arroz	600	14
Paja de cebada		14
Residuos de papel y cartón prensado		0.83 - 12.56

Considerando la variedad de biomasa que se puede utilizar, se establecieron los siguientes requisitos para la producción óptima de briquetas:

1. **Contenido de humedad:** La biomasa debe mantener un contenido de humedad entre el 10% y el 15% para asegurar una combustión eficiente y evitar que se apelmace en las paredes de los moldes al momento de entrar en contacto con el aglutinante.
2. **Granulometría:** Es esencial que la biomasa sea previamente triturada para garantizar una compactación uniforme y mejorar el tiempo de combustión. Los requerimientos específicos para diferentes tipos de biomasa son:
  - **Cáscaras duras o de baja flexibilidad:** Deben ser trituradas hasta obtener una textura similar a la del aserrín.
  - **Cáscaras blandas o de flexibilidad media:** Su tamaño debe estar entre 2 mm y 5 mm, y deben reposar en el aglutinante hasta que toda la biomasa quede cubierta.



- **Cáscaras propensas al quiebre:** Deben tener un tamaño máximo de 10 mm y estar completamente cubiertas de aglutinante.
  - **Fibras:** Las fibras gruesas deben tener un largo mínimo de 30 mm y máximo de 40 mm, con tolerancia de hasta 5 mm para fibras más finas.
- 3. Fuerza de compactación:** Para garantizar briquetas estructuralmente estables, la literatura consultada establece que se requiere una presión mínima de **5 MPa**, lo que asegura la cohesión de las partículas sin necesidad de un exceso de aglutinante. Con base en este criterio, el diseño propuesto fue dimensionado considerando dicha presión, por lo que se calculó el torque requerido, obteniendo un valor de **127.57 Nm**. Para alcanzar este torque, será necesario implementar una manivela de **1.33 m**.

Además, la biomasa utilizada en la briquetadora debe cumplir con ciertas características físicas y químicas para poder tener una operatividad óptima:

- 1. Sistema de desmolde:** Para sumar a la efectividad del sistema de desmolde, se recomienda recubrir las paredes internas de los moldes con aditivos como aceite de motor (nuevo o usado), cera, grasa o manteca.
- 2. Ausencia de impurezas:** La biomasa debe estar libre de polvo, piedras y otros contaminantes que puedan afectar el proceso de compactación.
- 3. Densidad aparente:** Es un factor clave para garantizar la eficiencia del proceso y la estabilidad de la briketa final.

## 4.4 De la referencia al rediseño: comparativa técnica

Con el objetivo de verificar las mejoras implementadas en la briquetadora artesanal diseñada en esta tesis, en esta sección se presenta una comparación directa con la máquina previamente desarrollada en el Proyecto B, coordinado por la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT). Este contraste se fundamenta en los resultados ya analizados, con la finalidad de identificar los avances logrados y evaluar su pertinencia en el contexto rural para el cual fue desarrolla esta máquina.



La **Tabla 15** resume las principales diferencias entre ambos dispositivos, abordando aspectos como el mecanismo de compactación, la incorporación del sistema de desmolde, la fuerza aplicada durante la operación, la durabilidad de la máquina, así como su costo estimado y la accesibilidad de los materiales para la posibilidad de futuras replicas. Este análisis comparativo permite establecer con claridad los elementos que representan una mejora significativa y aquellos que podrían seguirse optimizando en futuras versiones del diseño.

*Tabla 15 Comparación técnica de máquinas briquetadoras. Elaboración propia.*

COMPARACIÓN DE MÁQUINAS BRIQUETADORAS		
Criterio	Briquetadora SMADSOT	Briquetadora Tesis
Tipo de residuo recomendado	Bagazo de agave, bagazo de caña, aserrín	Todo aquel que cumpla con las condiciones de granulometría de la sección 4.3
Mecanismo de compactación	Palanca de segundo grado	Tornillo sin fin
¿Implementa sistema de desmolde?	No	Si (palanca de primer grado)
Fuerza de compactación	1.10 N	95.82 N
Presión ejercida por unidad	61.24 Pa	5 MPa
Material estructural	Acero y elementos mecánicos resistentes	
Cantidad de briquetas por ciclo	4 briquetas	
Costo estimado de construcción	\$4,930.00 - \$10,045.00 MXN	
Durabilidad esperada	Alta durabilidad; resistente al uso intensivo y a la humedad	
Accesibilidad de materiales	Alta (material común en comunidades con herrería local)	
Requiere oficio especializado	Herrería (oficio tradicional en zonas rurales)	

Tanto la briquetadora desarrollada en el Proyecto B como la máquina propuesta en esta tesis responden al mismo principio fundamental: ofrecer soluciones viables a través de briquetadoras artesanales para la producción de biocombustibles de segunda generación en contextos rurales. La primera máquina representó un avance significativo y sentó las bases para el desarrollo futuro de la bioenergía en su forma sólida a nivel estatal. Este diseño honró los saberes locales de las comunidades, al facilitar la construcción de puentes entre el conocimiento empírico y las necesidades reales de la población, integrándolos con herramientas de la ingeniería y asistencia técnica orientada a la resolución de problemas locales. Al demostrar que es posible



construir un sistema funcional, accesible y replicable utilizando herramientas convencionales y materiales disponibles localmente, se marcó un precedente valioso para el diseño de tecnologías apropiadas. Su estructura robusta, fabricada en acero, y su mecanismo sencillo, operado mediante una palanca de segundo grado, convirtieron a esta máquina en una referencia clave para el desarrollo de soluciones tecnológicas en zonas rurales.

Es fundamental comprender que la ingeniería no solo debe enfocarse en la innovación técnica, sino también en el bienestar social. En este caso, su aplicación tiene como propósito mejorar la calidad de vida de quienes más lo necesitan, promoviendo el uso responsable y ético del conocimiento científico en beneficio de la sociedad.

A partir de esa base, la briquetadora diseñada en esta tesis se plantea como **una evolución** del trabajo previo, introduciendo mejoras puntuales que refuerzan su eficiencia y versatilidad. Uno de los aportes más relevantes es la incorporación de un **sistema de desmolde** mediante una palanca de primer grado, lo que constituye una **innovación incremental** que facilita la operación continua y reduce el esfuerzo para la expulsión de las briquetas. Asimismo, se implementó un **mecanismo de compactación por tornillo sin fin**, lo que permite aplicar la presión de manera gradual y controlada, haciendo el proceso más eficiente y seguro para un usuario con peso promedio. Además, el nuevo diseño amplía el rango en el material de residuos que pueden ser briquetados, al aceptar cualquier biomasa que cumpla con las condiciones de granulometría establecidas en la sección 4.3, lo que lo hace adaptable a diversas regiones rurales.

Estas mejoras se complementan con un **incremento sustancial en la fuerza y presión de compactación alcanzadas**, sin perder el carácter artesanal del diseño. En comparación con la máquina del Proyecto B, la fuerza y la presión aplicada se incrementó, lo cual refleja una optimización técnica significativa. Así, este trabajo no reemplaza ni descalifica al anterior, sino que lo reconoce como base y lo toma como punto de partida para proponer una versión optimizada, más eficiente y adecuada a las condiciones actuales de uso.



De modo que, el desarrollo de esta nueva briquetadora no fue resultado aislado, sino una construcción progresiva sustentada en la experiencia adquirida durante el Proyecto B (ver **Anexo I**) y en los aprendizajes técnicos y contextuales derivados de dicho proceso. La diseñadora integró de forma crítica tanto el conocimiento empírico como los hallazgos previos, identificando las áreas de oportunidad y proponiendo soluciones viables que mantuvieran el carácter artesanal del dispositivo. De esta manera, los análisis comparativos realizados no solo permitieron validar las mejoras implementadas, sino también evidenciar un proceso de diseño coherente, fundamentado y comprometido con el entorno rural al que está dirigido.



## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES



El desarrollo de esta investigación permitió diseñar una briquetadora artesanal orientada a la producción de biocombustibles sólidos de segunda generación, cumpliendo satisfactoriamente con los propósitos planteados y respondiendo a las necesidades técnicas, sociales y económicas del entorno rural.

El proceso inició con un análisis comparativo entre diversos mecanismos de compresión y desmolde empleados en briquetadoras artesanales. Este estudio permitió identificar que el sistema de tornillo sin fin presenta ventajas relevantes respecto a mecanismos tradicionales como la palanca o la presión hidráulica, al permitir una aplicación constante y controlada de la fuerza, sin requerir componentes industriales ni fuentes externas de energía. Su integración en el diseño de la máquina se fundamentó tanto en su simplicidad operativa como en su facilidad de fabricación y mantenimiento.

A partir de estos hallazgos, el diseño técnico fue realizado bajo una metodología de tipo mixta, que combinó los conocimientos empíricos y técnicos derivados del análisis de la briquetadora desarrollada en el Proyecto B de la SMADSOT. Esta comparación directa con la máquina preexistente permitió identificar limitantes como la ausencia de un sistema de desmolde y el elevado esfuerzo requerido para la operación. La nueva propuesta respondió a estas oportunidades, con un rediseño optimizado, añadiendo un sistema de desmolde, la cual fue una innovación de tipo incremental, que permitió una expulsión eficiente de la briqueta sin comprometer su forma ni su compactación, además de facilitar la operación continua del sistema.

El diseño propuesto se alineó con los parámetros establecidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 2060, asegurando que las briquetas producidas cumplan con los estándares de calidad en cuanto a forma, densidad, tamaño y contenido de humedad. Esta adecuación normativa garantiza que el producto final sea un biocombustible sólido eficiente y de alto rendimiento térmico.

Para sustentar la propuesta, se desarrolló un análisis matemático del sistema de fuerzas involucrado en el mecanismo de compactación, lo que permitió establecer las condiciones óptimas para alcanzar presiones de 5 MPa, valor respaldado por referencias de literatura en la producción de briquetas a partir de residuos agroindustriales. Este análisis fue complementado con simulaciones estructurales mediante el método de elemento finito, utilizando el software SolidWorks. Las



condiciones simuladas consideraron un usuario promedio con masa corporal de 74 kg, asegurando que la operación del sistema fuera segura, ergonómica y accesible para personas de distintas edades y contexturas físicas. Los resultados arrojaron factores de seguridad superiores a 2.0, junto con niveles de tensión y deformación que confirman la viabilidad estructural del dispositivo.

En términos económicos, la briquetadora diseñada representa una solución de bajo costo, con un rango estimado de \$4,930.00 MXN a \$10,045.60 MXN, dependiendo de los materiales y acabados empleados. Esta inversión es considerablemente inferior al costo de tecnologías semiindustriales, y su construcción puede realizarse con herramientas convencionales y materiales reciclables, lo cual promueve su replicabilidad a nivel local.

Como resultado del impacto positivo y el potencial innovador de esta investigación, el diseño de la briquetadora fue inscrito en el **Programa 2024 de Apoyo al Registro de Inventiones y Creaciones** a través de la Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento (DITCO) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla que apoya económicamente con el trámite administrativo de la solicitud de invención o creación ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) o ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). En el **Anexo V**, se evidencia que, en diciembre de 2024, se obtuvo un resultado satisfactorio en las dos categorías en las que fue inscrito el diseño (invención y diseño industrial), con los proyectos identificados bajo los números **2024-32 y 2024-33**, quedando como investigadora responsable la **Dra. Laura Alicia Paniagua Solar**.

Finalmente, este trabajo representa un aporte significativo a la transición energética en entornos rurales, mediante una tecnología accesible, funcional y segura, que aprovecha la energía contenida en residuos agroindustriales. Al combinar elementos de la tecnología artesanal con herramientas de ingeniería moderna, la propuesta se consolida como una solución efectiva que impulsa la economía circular, promueve el empoderamiento comunitario y contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7, sobre energía asequible y no contaminante.



# RECOMENDACIONES

El desarrollo de esta investigación abre la posibilidad de futuras iniciativas que continúen explorando la producción de biocombustibles sólidos. Una extensión relevante de este trabajo sería la construcción del dispositivo, a partir del cual podrían derivarse diversas líneas de investigación y proyectos complementarios, tales como:

## 1. Ampliación del estudio de materiales biomásicos

- Se recomienda evaluar varios tipos de biomasa agroindustrial disponibles en diferentes regiones locales, considerando su composición físico-química y su impacto en la eficiencia de compactación y combustión.
- Realizar caracterizaciones detalladas de humedad, granulometría y contenido de lignina para mejorar la formulación de mezclas con distintos aglutinantes naturales.

## 2. Validación de normativas y estándares de calidad

- Comparar los parámetros de producción de briquetas con normativas internacionales como ISO 17225 o la Norma Técnica Colombiana NTC 2060 para garantizar un producto con alto valor comercial y energético.
- Implementar pruebas adicionales de densidad, resistencia mecánica y emisión de gases para evaluar el impacto ambiental y eficiencia de combustión.

## 3. Evaluación socioeconómica y factibilidad de implementación

- Realizar estudios de mercado que permitan determinar la viabilidad económica de la producción y comercialización de briquetas en comunidades rurales y periurbanas.
- Evaluar modelos de negocios y esquemas de cooperativas para la fabricación y distribución de briquetas, con un enfoque de desarrollo sustentable y generación de empleo.

## 4. Extensión del impacto en comunidades rurales

- Desarrollar programas de capacitación para la apropiación tecnológica en comunidades rurales, promoviendo el uso de briquetas como alternativa energética sostenible.



- Implementar proyectos piloto para evaluar la aceptación y adaptabilidad de la tecnología en distintas condiciones socioculturales y económicas.



# BIBLIOGRAFÍA

- [1] CONAHCYT, «Reservas de crudo en México,» CONAHCYT, 2023. [En línea]. Available: <https://energia.conahcyt.mx/planeas/hidrocarburos/reservas-crudo>. [Último acceso: 23 02 2024].
- [2] O. Ú., «Sedurdad, disponibilidad y sustentabilidad energética en México,» *Revista mexicana de ciencias políticas y sociales*, vol. 62, n° 230, p. 41, agosto 2017.
- [3] T. L. C. X. S. X. X. J. Z. L. X. H. J. Z. & S. Y. Zhiwei W, «Applied Energy,» de *Optimization of a biomass briquette fuel system based on grey relational analysis and analytic hierarchy process: A study using cornstalks in China*, China, ScienceDirect, 2015, pp. 523-532.
- [4] S. y. G. C. S. d. C. AMBIENS Consultoria, «Programa de Gestión de Calidad del Aire y Acción ante el Cambio Climático 2021-2030 del Estado de Puebla,» Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial, Puebla, 2024.
- [5] FAO, «Bioenergía y desarrollo, posibilidades de la biomasa como fuente de energía y desarrollo,» 15 06 2009. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/i0900s/i0900s03.pdf>. [Último acceso: 25 02 2024].
- [6] M. M. M. P. A. M., «Producción y tecnología rural apropiada para uso final de los biocombustibles en las comunidades rurales,» Michoacán, Universidad Intercultural Indígena de Michoacán, 2023, pp. 275-298.
- [7] GOMINE, «Máquina briquetadora de madera de biomasa/arerrín,» GOMINE, 2024. [En línea]. Available: <https://es.sinobriquettemachine.com/products/briquetadora-de-biomasa/>. [Último acceso: 25 02 2024].
- [8] C. S. D. A. C. T. A. G. C. M. B. R. & M. O. Orozco Ramíres Q., «Barreras para la producción de biocombustible y el mercado de biocombustibles sólidos forestales en México desde la perspectiva de las empresas,» *Artículos científicos*, vol. 28, n° 1, p. 15, 2022.
- [9] V. Mack., «Elaboración de Briquetas para Aprovechamiento del Residuo de Arroz en Beneficios del Municipio de El Progreso, Jutiapa,» *Universidad Rafael Landívar*, p. 96, Noviembre 2017.
- [10] C. V. C. R. C. J. R. A. E. O. R. N. & M. C. L. López Rivera J.D, «Evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas obtenidas con la máquina briquetadora construida en FAREM-Estelí,» *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio Ambiente, Tecnología y Desarrollo Humano*, n° 16, pp. 3-14, 29 01 2016.
- [11] V. V. A., «Diseño de briquetas ecológicas para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas en el corregimiento de Nabusimake, municipio de Pueblo Bello-Cesar,» p. 87, Octubre 2014.
- [12] M. P. M., «Desarrollo de una empresa social de briquetas en Mozambique,» *Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)*, p. 196, Agosto 2017.
- [13] R. S. M. & S. U. R. Huaman Ramos H.H, «Diseño y Elaboración de Briquetas Ecológicas para la Obtención de Energía Calorífica con Residuos Agrícolas Generados en Masma Chicche, Jauja,» Universidad Continental, 2021. [En línea]. Available: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Huaman\\_Ramirez\\_Surichiqui\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV_FIN_107_TE_Huaman_Ramirez_Surichiqui_2021.pdf). [Último acceso: 27 08 2024].
- [14] L. Carrillo, *Energía de biomasa*, 1º ed ed., S. Jujuy, Ed., 2004.
- [15] J. F., «Energía de la Biomasa,» Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, España.



- [16] J. A. La Cal Herrera, *Energía de la biomasa y el agua*, 1.0 ed., España: ELEARNING S.L.
- [17] O. F. C.E, «Comprehensive Use of Palm Oil Biomass,» *PALMAS*, vol. 34, n° II, pp. 1-9, 2013.
- [18] A. V. C.A, «Rediseño, construcción y automatización de una máquina para la fabricación de briquetas a partir de biomasa,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2020. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14309/1/15T00735.pdf>. [Último acceso: 2024].
- [19] Real Academia Española, «Biocombustible,» Diccionario de la Lengua Española , [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/biocombustible>. [Último acceso: 2024].
- [20] M. L. S. C. & H. M. Manrique SM, «CAPÍTULO III. BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS,» *Red Iberoamericana de Tecnólogos de Biomasa y Bioenergía Rural*, p. 252, 2023.
- [21] S. E. J. A. I. M. A. Z. R. & O. A. M. Pablos Castro A., «Determination of experimental correlations for estimating the properties of solid biofuels from immediate and elemental analysis,» 2013.
- [22] S. C. E. & G. Q. V., «Los biocombustibles,» *El Cotidiano*, n° 157, pp. 75-82, 2009.
- [23] R. F. P.L.R, «Biocombustibles,» *RED@CTOR*, n° 49, pp. 10-13, 2023.
- [24] G. C. V. M, «Aplicación del diseño concurrente de una máquina briquetadora,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7205/1/20T00868.PDF>. [Último acceso: 2024].
- [25] ecosur network, «Sustitución de leña por Bloque Sólido Combustible,» ecosur network, [En línea]. Available: <https://www.ecosur.org/index.php/es/todos-los-articulos/54-ecosur-e-magazine/edicion-31-junio-2008/344-sustitucion-de-lena-por-bloque-solido-combustible>. [Último acceso: 11 2024].
- [26] FAO, «El innovador carbón vegetal de pasto brinda oportunidades en Ghana,» Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 08 2023. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/newsroom/story/Innovative-grass-charcoal-fuels-opportunity-in-Ghana/es>. [Último acceso: 11 2024].
- [27] T. A. & V. A. Ortiz L, «Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la Cadena Monte-Industria. PARTE III: Producción de elementos densificados,» *Revista CIS-Madera*. [En línea]. [Último acceso: 2024].
- [28] Department of Natural Resource Management, Wolaita Sodo University, «Biomass Briquetting: Opportunities for the Transformation of Traditional Biomass Energy in Ethiopia,» *Journal of Energy Technologies and Policy*, vol. 7, n° 3, 2017.
- [29] ICONTEC, «Briquetas combustibles para uso doméstico. NTC 20260,» ICONTEC, [En línea]. Available: <https://wdn2.ipublishcentral.com//hipertexto500148/viewinsidehtml/501391611239672>. [Último acceso: 2024].
- [30] A. S., «Biocombustibles: factores que inciden en la calidad de la briqueta,» Universidad Nacional de Tucumán, 11 2021. [En línea]. Available: [https://www.facet.unt.edu.ar/iest/wp-content/uploads/sites/22/2022/03/Abdelhamid\\_VF.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.facet.unt.edu.ar/iest/wp-content/uploads/sites/22/2022/03/Abdelhamid_VF.pdf?utm_source=chatgpt.com). [Último acceso: 19 02 2025].
- [31] FAO, «Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida (BEFS RA) Manual de Usuario,» FAO, 2014. [En línea]. Available: [https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d80cfea6-5053-4be9-8db9-d5b44230c26a/content?utm\\_source=chatgpt.com](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d80cfea6-5053-4be9-8db9-d5b44230c26a/content?utm_source=chatgpt.com). [Último acceso: 02 2025].
- [32] C. C. H., «Caracterización del proceso de densificación de biomasa residual proveniente de Palma de Aceite Africana (Tusa),» Universidad Nacional de Colombia, 2016. [En línea]. Available:



<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59261/HuberCabralesContreras.2016.pdf;jsessionid=730F175924F5D0E65AICF7F07B021CFF?sequence=1>. [Último acceso: 02 2025].

- [33] M. G. S. & G. A. C. Escudero Enríquez E, «Elaboración de pellets combustibles a partir de bagazo de agave,» Universidad Autónoma de Querétaro, 14 05 2023. [En línea]. Available: <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/1082/1195>. [Último acceso: 10 2024].
- [34] J. J., «Técnicas simples para la obtención de combustibles básicos,» Conferencia de las Naciones Unidas sobre Fuentes de Energía Nuevas y Renovables, FAO, 1981. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/4/p2070s/p2070s06.htm>. [Último acceso: 2024].
- [35] Entrenamientos.com, «Apretar pelota con mano,» 2024. [En línea]. Available: <https://entrenamientos.com/ejercicios/apretar-pelota-con-mano/>. [Último acceso: 09 2024].
- [36] C. Bustos Flores, «La Producción Artesanal,» *Visión General*, vol. I, n° 1, pp. 37-52, enero-junio 2009.
- [37] Observatorio Cultural CNCA, «Hacia una noción de artesanía para el Consejo Nacional de la Cultura y las Artes,» Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, 2011. [En línea]. Available: [https://www.cultura.gob.cl/wp-content/uploads/2011/10/definiciones\\_artesania.pdf](https://www.cultura.gob.cl/wp-content/uploads/2011/10/definiciones_artesania.pdf). [Último acceso: 17 05 2025].
- [38] Á. d. M. M. & T. N. R., «Epistemología de la tecnología artesanal,» Universidad de Palermo, 2023. [En línea]. Available: <https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/cdc/article/view/8870/14796>. [Último acceso: 2025].
- [39] J. A. Alvarado Lemus y P. Valdes Castro, «Palancas,» de *Mecánica 2. Bachillerato Universitario*, Culiacán, Sinaloa: Servicios Editoriales Once Ríos, S.A. de C.V., 2012, pp. 205-209.
- [40] «Recursos disponibles de biomasa vegetal para elaborar briquetas en las comunidades de Kumiai y PaiPai de la Misión Santa Catarina, Ensenada B. C.,» *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad (TERyS)*, vol. 1, n° 1, pp. 459 - 467, Diciembre 2022.
- [41] C. V. C. R. C. J. R. A. E. O. R. N. & M. C. L. Lopez Rivera J.D, «Evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas obtenidas con la maquina briquetadora construida en FAREM-Esteli,» *Revista científica de FAREM-Esteli. Medio Ambiente, tecnología y desarrollo humano*, n° N° 16, pp. 3-14, 09 diciembre 2016.
- [42] H. L. & S. Zan, «Cómo hacer moldes de briquetas de biomasa,» Engineers Without Borders-USA, 12 02 2022. [En línea]. Available: <https://leehite.org/biomass/Molds/%28Spanish%29%20How%20to%20Make%20Biomass%20Briquette%20Molds.pdf>. [Último acceso: 12 02 2025].
- [43] M. Libre, «Máquina Prensadora De Ladrillos,» [En línea]. Available: [https://www.mercadolibre.com.mx/prensa-de-briquetas-maquina-prensadora-de-ladrillos-fabrican/p/MLM2006775248#polycard\\_client=search-nordic&searchVariation=MLM2006775248&wid=MLM2203113099&position=6&search\\_layout=grid&type=product&tracking\\_id=f47b6c3d-afdd](https://www.mercadolibre.com.mx/prensa-de-briquetas-maquina-prensadora-de-ladrillos-fabrican/p/MLM2006775248#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MLM2006775248&wid=MLM2203113099&position=6&search_layout=grid&type=product&tracking_id=f47b6c3d-afdd).
- [44] M. Libre, «Extractor De Exprimidor Casero,» [En línea]. Available: [https://www.mercadolibre.com.mx/extractor-de-exprimidor-casero-de-maquina-de-prensa-regular/p/MLM2002055676?pdp\\_filters=item\\_id%3A%20MLM3289541080&from=gshop&mat\\_tool=81871137&mat\\_word=&mat\\_source=google&mat\\_campaign\\_id=22187016367&mat\\_ad\\_group\\_id=17295](https://www.mercadolibre.com.mx/extractor-de-exprimidor-casero-de-maquina-de-prensa-regular/p/MLM2002055676?pdp_filters=item_id%3A%20MLM3289541080&from=gshop&mat_tool=81871137&mat_word=&mat_source=google&mat_campaign_id=22187016367&mat_ad_group_id=17295).
- [45] Diamleon Diy Builds, «How To Make A Simple Manual Juice Press Machine | Diy Homemade Juice Press,» YouTube, 2024.



- [46] S. Z. & G. R. Hite L., «Cómo construir una prensa de briquetas de palanca de microcompuestos,» Engineers Without Borders-USA, 01 02 2022. [En línea]. Available: [https://leehite.org/biomass/documents/SpanishManuals/How%20to%20Build%20A%20Micro%20Compo und%20Lever%20Briquette%20Press%20-%20English%20and%20Metric%20\(Spanish\).pdf](https://leehite.org/biomass/documents/SpanishManuals/How%20to%20Build%20A%20Micro%20Compo und%20Lever%20Briquette%20Press%20-%20English%20and%20Metric%20(Spanish).pdf). [Último acceso: 12 02 2025].
- [47] Ostargi. Energías Alternativas, «TH 3400 - Prensa briquetadora,» Ostargi. Briquetadoras de Madera y Biomasa, [En línea]. Available: <https://ostargi.biz/otros/procesado-de-biomasa/briquetadoras/>. [Último acceso: 2024].
- [48] S. C. C. & S. C. B.A., «Diseño y cálculo de una máquina para producir briquetas decascarilla de arroz,» Universidad Nacional de Loja, 2015. [En línea]. Available: [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11838/1/Silva%20Cueva%2C%20C%3%A9sar%20Alfr edo.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11838/1/Silva%20Cueva%2C%20C%3%A9sar%20Alfr edo.pdf?utm_source=chatgpt.com). [Último acceso: 2025].
- [49] Y. MANCHNERY, «Cómo elegir la máquina de briquetas,» YOGIE MANCHNERY, 06 2023. [En línea]. Available: [https://es.yujebearing-machining.com/info/how-to-choose-the-briquetting-machine-83130952.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://es.yujebearing-machining.com/info/how-to-choose-the-briquetting-machine-83130952.html?utm_source=chatgpt.com). [Último acceso: 2025].
- [50] M. Shuliy, «Máquina de briquetas de carbón: la guía definitiva,» Maquinaria Shuliy, 03 2023. [En línea]. Available: [https://charcoalplant.com/es/info/charcoal-briquette-machine-the-ultimate-guide/?utm\\_source=chatgpt.com](https://charcoalplant.com/es/info/charcoal-briquette-machine-the-ultimate-guide/?utm_source=chatgpt.com). [Último acceso: 02 2025].
- [51] mar-masz, «Prensas briquetadoras y de pellets,» mar-masz, [En línea]. Available: [https://mar-masz.pl/es/sklep/rm%C3%A1quinas/prensas-briquetadoras%2C-prensas-de-pellets/?utm\\_source=chatgpt.com](https://mar-masz.pl/es/sklep/rm%C3%A1quinas/prensas-briquetadoras%2C-prensas-de-pellets/?utm_source=chatgpt.com). [Último acceso: 2025].
- [52] RUNXIANG, «Máquina de briquetas de carbón,» RUNXIANG, [En línea]. Available: [https://www.rxpackingmachine.com/coal-and-charcoal-machines/charcoal-briquette-machine.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.rxpackingmachine.com/coal-and-charcoal-machines/charcoal-briquette-machine.html?utm_source=chatgpt.com). [Último acceso: 2025].
- [53] G. P. I. C. H. R. J. L Schallenberg Rodríguez, «Energías Renovables y Eficiencia Energética,» Instituto Tecnológico de Canarias, S.A , 04 2008. [En línea]. Available: <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>. [Último acceso: 2025 03 04].
- [54] O. I. d. E. Atómica, «Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías,» Organismo Internacional de Energía Atómica , 2008. [En línea]. Available: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222s\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222s_web.pdf). [Último acceso: 05 03 2025].
- [55] Gobierno de México, «¿Cuál elijo: proceso artesanal o proceso industrial?,» Gobierno de México, 06 Febrero 2025. [En línea]. Available: <https://nuevaescuelamexicana.sep.gob.mx/contenido/coleccion/cual-elijo-proceso-artesanal-o-proceso-industrial-3/>. [Último acceso: 05 03 2025].
- [56] DATA MÉXICO, «Trabajadores en Actividades Agrícolas y Ganaderas,» Gobierno de México, 2023. [En línea]. Available: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/occupation/trabajadores-en-actividades-agricolas-y-ganaderas?quarters3=20231&quarters4=20231>. [Último acceso: 2024].
- [57] G. O. R., «Pobreza energética en América Latina,» Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 03 2014. [En línea]. Available: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/79cc961b-7908-4fce-a7dd-133d484c1be7/content>. [Último acceso: 01 2025].
- [58] G. O. R., «POBREZA ENERGÉTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE ENEGÍA, POBREZA Y MEDIO AMBIENTE,» El Colegio de México, 02 2011. [En línea]. Available: <https://repositorio.colmex.mx/concern/theses/wp988k120?locale=es>. [Último acceso: 2025].



- [59] D. S. y. O. T. Secretaría de Medio Ambiente, «Estrategía de Eficiencia y Transición Energética del Estado de Puebla,» Gobierno del Estado de Puebla, 29 11 2021. [En línea]. Available: [https://planeader.puebla.gob.mx/programasEstatales/estrategia-de-eficiencia-y-transicion-energetica-del-estado-de-puebla20241209193427.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://planeader.puebla.gob.mx/programasEstatales/estrategia-de-eficiencia-y-transicion-energetica-del-estado-de-puebla20241209193427.pdf?utm_source=chatgpt.com). [Último acceso: 01 2025].
- [60] PNUD, «El cambio climático es un asunto de justicia: he aquí por qué,» PNUD, 07 2023. [En línea]. Available: <https://climatepromise.undp.org/es/news-and-stories/el-cambio-climatico-es-un-asunto-de-justicia-he-aqui-por-que>. [Último acceso: 09 2024].
- [61] INEGI, «Clima Puebla,» INEGI, [En línea]. Available: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/territorio/clima.aspx>. [Último acceso: 09 2024].
- [62] S. M. N. CONAGUA., «Resúmenes Mensuales de Lluvia y Temperatura,» Gobierno de México, 2024. [En línea]. Available: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>. [Último acceso: septiembre 2024].
- [63] O. Mujeres, «Las mujeres y las niñas en el centro de la protección y conservación del medio ambiente,» ONU Mujeres, 04 2024. [En línea]. Available: <https://mexico.unwomen.org/es/stories/noticia/2024/04/madretierra2024>. [Último acceso: 09 2024].
- [64] I. N. d. I. Mujeres, «Acción feminista por la justicia climática,» Gobierno de México, 03 2021. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/inmujeres/articulos/accion-feminista-por-la-justicia-climatica#:~:text=Las%20mujeres%20son%20desproporcionadamente%20vulnerables,sea%20m%C3%AAs%20eficaz%20y%20sustentable..> [Último acceso: 09 2024].
- [65] D. S. y. O. T. d. G. d. E. d. P. Secretaría de Medio Ambiente, «Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030,» 04 04 2022. [En línea]. Available: [https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Publicacion\\_de\\_la\\_Estrategia\\_Estatal\\_de\\_Cambio\\_Climatico\\_2021-2030\\_T2\\_04042022.pdf](https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Publicacion_de_la_Estrategia_Estatal_de_Cambio_Climatico_2021-2030_T2_04042022.pdf). [Último acceso: 09 2024].
- [66] Naciones Unidas, «7. Energía asequible y no contaminante,» Naciones Unidas, 2015. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>. [Último acceso: 10 2024].
- [67] Naciones Unidas, «8 Trabajo decente y crecimiento económico,» Naciones Unidas, 2015. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/economic-growth/>. [Último acceso: 10 2024].
- [68] Naciones Unidas, «12 Producción y consumo responsables,» Naciones Unidas, 2015. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>. [Último acceso: 10 2024].
- [69] Naciones Unidas, «13 Acción por el clima,» Naciones Unidas, 2015. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>. [Último acceso: 10 2024].
- [70] Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial, «Programa de Gestión de Calidad del Aire y Acción ante el Cambio Climático de Puebla 2021-2030 (ProAire-PEACC),» 27 02 2024. [En línea]. Available: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/943879/22\\_ProAire-PEACC-Puebla-2021-2030\\_1ra\\_parte.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/943879/22_ProAire-PEACC-Puebla-2021-2030_1ra_parte.pdf). [Último acceso: 10 2024].
- [71] Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial, «Estrategía de Bioeconomía Circular y Social del Estado de Puebla,» 20 01 2023. [En línea]. Available: [https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Estrategia%20de%20Bioeconom%C3%ADa%20Circular%20y%20Social\\_Final.pdf](https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Estrategia%20de%20Bioeconom%C3%ADa%20Circular%20y%20Social_Final.pdf). [Último acceso: 10 2024].
- [72] CEPAL. [En línea]. Available: <https://www.cepal.org/es>. [Último acceso: 09 2024].



- [73] J. S. L. M. G. M. Q. L. A. T. F. A. R. S. G. & R. M. R. Ortiz Jiménez B, «Nivel de adopción de tecnologías para la producción de jitomate en productores de pequeña escala en el estado de Oaxaca,» *SCIELO*, vol. 4, n° 3, 05 2013.
- [74] J. S. L. E. C. N. R. V. B. P. O. B. & R. S. A. Orozco Cirilo S., «Escuelas de Campo y adopción de tecnología agrícola,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/475/454>. [Último acceso: 09 2024].
- [75] Plataforma Urbana y de Ciudades de América Latina y el Caribe, «Infraestructura urbana y servicios básicos, incluida la energía,» ONU HABITAT, [En línea]. Available: <https://plataformaurbana.cepal.org/es/urban-themes/61-infraestructura-urbana-y-servicios-basicos-incluida-la-energia>. [Último acceso: 09 2024].
- [76] C. G. J.C, «Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computadora - CAD-CAM,» *PROSPECTIVA*, vol. 4, n° 1, pp. 75-81, enero-junio 2006.
- [77] J. Diab, *Introducción a SolidWorks en 10 lecciones*, 1 ed., 2016.
- [78] R. V. C. & L. M. J, *Diseño mecánico con SolidWorks 2015*, 1 ed., Ra-Ma, 2015, p. 412.
- [79] S. Corporation, «Understanding Motion Simulation,» 03 2010. [En línea]. Available: [https://www.solidworks.com/sw/images/content/Training/SIM\\_Motion\\_UnderstandingMotion\\_WP\\_ENG.pdf](https://www.solidworks.com/sw/images/content/Training/SIM_Motion_UnderstandingMotion_WP_ENG.pdf). [Último acceso: 10 2024].
- [80] «Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin,» *Ingemecánica*, [En línea]. Available: <https://www.ingemecanica.com/tutoriales/calculo-de-transportadores-de-tornillo-sin-fin.html>.
- [81] CAMEC TECHNOLOGICAL SOLUTIONS, «Transportadores de tornillo sin fin,» [En línea]. Available: <https://www.camec.net/es/nuestras-divisiones/divisi%C3%B3n-de-reciclaje/sistema-de-transporte/transportadores-de-tornillo-sin-fin>. [Último acceso: 2024].
- [82] Vulka.es, «Tecnología Sin Fin S.L,» [En línea]. Available: [https://www.vulka.es/tecnologia-sin-fin-sl\\_1461186.html](https://www.vulka.es/tecnologia-sin-fin-sl_1461186.html). [Último acceso: 2024].
- [83] Orleghy Renovables, «Alimentación caldera de astilla,» 2012. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/shorts/qrY\\_b8wLmoQ](https://www.youtube.com/shorts/qrY_b8wLmoQ). [Último acceso: 2024].
- [84] R. G. B. & J. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica*, 9 ed., México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V, 2008.
- [85] P. Atkinson y M. Hammersley, *Ethnography: Principles in Practice*, 3rd ed., Londres, Reino Unido: Routledge, 2007.
- [86] M. Q. Patton, *Qualitative Research & Evaluation Methods*, 4th ed., Thousand Oaks, CA.: Sage Publications, 2015.
- [87] Chambers, Robert, «The origins and practice of participatory rural appraisal,» *World Development*, vol. 22, n° 7, pp. 953-969, 1994.
- [88] J. Guzmán Cuevas y J. A. Martínez-Román, «Tipología de la Innovación y Perfiles empresariales. Una Aplicación Empírica,» Universidad de Sevilla, Sevilla, España., 2008.
- [89] R. A. Navarro Medina y C. A. Moreira Basurto, «Discusión de los distintos tipos de innovación,» *Revista Publicando*, vol. 5, n° 15, pp. 59-72, 2018.



- [90] «La innovación tecnológica como herramienta para el desarrollo de la competitividad en las pymes,» *Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, vol. 3, n° 6, 2014.
- [91] Escuela de Posgrado Newman, «Escuela de Posgrado Newman,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.epnewman.edu.pe/revista/ingenieria/innovacion-tecnologica/>. [Último acceso: 17 05 2025].
- [92] M. M. A.L, «Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín desechos sólidos, vacasa y TETRABRIK, utilizando almidón y cal como aglutinantes,» Universidad de San Carlos Guatemala, 09 2015. [En línea]. Available: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3256/1/Ana%20Luc%C3%ADa%20Mart%C3%ADnez%20Maldonado.pdf>. [Último acceso: 2024].
- [93] N. J. L., «Narrative review of sex differences in participation rates, preferences, motivations, injuries, and neuromuscular adaptations of muscle strength, endurance, activation, size, fiber type, and strength training,» *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 20, n° 2, pp. 494-536, 2023.
- [94] N. G. & K. J. Ronerts B, «Sex differences in resistance training: a systematic review and meta-analysis,» *The Journal of Strength and Conditioning Research*, pp. 1448-1460, 05 2020.
- [95] H. A. & B. S. Handelsman D., «Circulating testosterone as the hormonal basis of sexual differences in sports performance,» *Endocrine Reviews*, vol. 39, n° 5, pp. 803-829, 10 2018.
- [96] Revista Electrónica de Ciencias Aplicadas al Deporte, «Estimación del peso total en amputados en miembro inferiores,» *Revista Electrónica de Ciencias Aplicadas al Deporte (ReCAD)*, vol. 4, n° 13, 06 2011.
- [97] Play Tomi, «¿Cuáes son las extremidades del cuerpo humano?,» [En línea]. Available: <https://play.tomi.digital/es/app/learn?id=312764&type=lesson>. [Último acceso: 2024].
- [98] INEGI, «Censo de Población y Vivienda 2020,» INEGI, 2020. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>. [Último acceso: 10 2024].
- [99] R. A. Serway y C. Vuille, «Torque y las dos condiciones de equilibrio,» de *Fundamentos de Física. Volumen 1*, Ciudad de México, Cengage Learning Editores, S.A. de C.V., 2012, pp. 240-241.
- [100] SafetyCulture, «Factor de Seguridad: coeficiente de seguridad en el diseño y el uso,» SafetyCulture, 01 2024. [En línea]. Available: <https://safetyculture.com/es/temas/factor-de-seguridad/>. [Último acceso: 2024].
- [101] Perval, «Prensa de husillo vertical,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.pervalle.es/tienda/prensa-de-husillo-vertical/>. [Último acceso: 09 2024].
- [102] Mercadolibre, «<https://www.mercadolibre.com.mx/woodworking-vise-carpenter-tool-woodworking-tool-9inch/p/MLM2001115090>,» 2024. [En línea]. [Último acceso: 09 2024].
- [103] Google, «Tipos de tornillos de banco,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/search?sca\\_esv=45911bb8ff09c0be&ins\\_surface=44&hl=es-419&q=tipos+de+tornillos+de+banco&udm=2&fbs=AljP4nJfGojPVHhEACUHPiMQht6\\_BFq6vBloFFRk7qchKG1cRgcE0P7z3SNizmlu0QmZEw1flzsnacDfqVB6Mpb9KFv7a7dIxblFo-lqQlsZ3eGEwgdslu07Yvsr3aHOF4z](https://www.google.com/search?sca_esv=45911bb8ff09c0be&ins_surface=44&hl=es-419&q=tipos+de+tornillos+de+banco&udm=2&fbs=AljP4nJfGojPVHhEACUHPiMQht6_BFq6vBloFFRk7qchKG1cRgcE0P7z3SNizmlu0QmZEw1flzsnacDfqVB6Mpb9KFv7a7dIxblFo-lqQlsZ3eGEwgdslu07Yvsr3aHOF4z). [Último acceso: 2024].
- [104] FerreTornillos, «Esparrago Acme 1 1/2 4 Hilos,» [En línea]. Available: [https://ferretornillosalsa.mercadoshops.com.mx/MLM-1461853896-esparrago-acme-1-12-4-hilos-1-pza--\\_JM](https://ferretornillosalsa.mercadoshops.com.mx/MLM-1461853896-esparrago-acme-1-12-4-hilos-1-pza--_JM). [Último acceso: 2024].



## ANEXOS



## ANEXO I



San Andrés Cholula, Pue A 01 de julio de 2025  
Asunto: Autorización de uso de información

A quien corresponda:

Por medio del presente, le envío un cordial y respetuoso saludo, y al mismo tiempo, con fundamento en los artículos 4º, párrafo quinto, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; 121 de la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla; 30, fracción XVIII; 31, fracción XVI; y 47 de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de Puebla; así como los artículos 2, fracción VIII; y 11, fracción IX, de la Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla; y los artículos 1, 2, 5, fracción II, inciso b); 6 y 18 del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT), se hace constar que la **C. Michelle Bouchan Gámez** colaboró en el desarrollo técnico y formativo de un proyecto institucional promovido por esta Secretaría, a través de la Dirección de Gestión de Cambio Climático, Ciudades Inteligentes y Transición Energética, cuyo objetivo fue el diseño y validación de tecnologías apropiadas para el aprovechamiento energético de residuos agroindustriales en comunidades rurales.

En virtud de lo anterior, se autoriza el uso del contenido del documento titulado **“Reporte técnico de diseño y validación en campo: Desarrollo de tecnología apropiada para biocombustibles sólidos mediante diseño participativo y validación comunitaria de briquetadoras artesanales en el Estado de Puebla”**, para su incorporación en el trabajo de tesis individual de nivel licenciatura titulado **“Diseño de un dispositivo de compactación para biocombustibles sólidos de segunda generación (Briquetadora)”**, el cual tiene fines estrictamente académicos y será presentado ante su institución de educación superior como anexo para la defensa del referido trabajo.

Por razones de confidencialidad institucional, se ha determinado que el proyecto será referido en dicho documento como **“Proyecto B”**, sin que se incluyan datos estratégicos o sensibles relacionados con su operación o planeación interna, más allá de la información contenida en el reporte técnico autorizado.

Asimismo, se deja constancia de que:

1. Las imágenes, tablas, textos y diseños contenidos en el reporte y en el trabajo de tesis citado no podrán ser utilizados con fines comerciales, de reproducción pública o de vinculación con programas gubernamentales sin la autorización expresa y por escrito de esta Secretaría.
2. La propiedad intelectual de los diseños y prototipos desarrollados pertenece en su totalidad al Gobierno del Estado de Puebla, a través de la SMADSOT.



3. Los dispositivos descritos constituyen prototipos de carácter demostrativo y formativo, elaborados en el marco de un proyecto en desarrollo, por lo que no corresponden a productos finalizados ni forman parte de apoyos gubernamentales vigentes.

Finalmente, se reconoce la participación de la C. Michelle Bouchan Gámez en la documentación técnica y en las actividades de campo que sirvieron de base para la elaboración del reporte citado, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos institucionales en materia de transición energética, mitigación del cambio climático y fortalecimiento de capacidades comunitarias.

Sin más por el momento, se extiende la presente para los fines académicos que correspondan.

## ATENTAMENTE



Arantza Olivera López Velarde

Jefa de Departamento de Sustentabilidad Energética  
Dirección de Gestión de Cambio Climático, Ciudades Inteligentes  
y Transición Energética

Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Estado  
de Puebla





## **Reporte Técnico de Diseño y Validación en Campo: Desarrollo de tecnología apropiada para biocombustibles sólidos mediante diseño participativo y validación comunitaria de briquetadoras artesanales en el Estado de Puebla**

La Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT) es la dependencia del Gobierno del Estado de Puebla responsable de formular, coordinar y ejecutar políticas públicas orientadas a la protección ambiental, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, la adaptación al cambio climático y la transición energética. Entre sus líneas estratégicas se encuentra la promoción de tecnologías limpias y apropiadas para comunidades rurales, fomentando la participación social, la resiliencia climática y el desarrollo económico local.

En congruencia con estas atribuciones, y con fundamento en el Artículo 18 del Reglamento Interior de la SMADSOT, la Dirección de Gestión de Cambio Climático, Ciudades Inteligentes y Transición Energética en conjunto con investigadoras del Laboratorio de Biocombustibles de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla impulsó durante el periodo 2023–2024 el desarrollo del *Proyecto B*, con el objetivo de diseñar, validar y transferir tecnologías apropiadas para la producción comunitaria de biocombustibles sólidos a partir de residuos agroindustriales, como el bagazo de agave y el pergamino de café. El propósito central fue contribuir a la reducción del uso de leña en comunidades rurales del estado, mediante soluciones energéticas sustentables desarrolladas con enfoque participativo y pertinencia territorial.

Cada institución (SMADSOT-BUAP) se enfocó en única y exclusivamente en desarrollar de manera complementaria una parte del proyecto. Por parte de la SMADSOT, el diseño y validación de las propuestas mecánicas a implementar. Mientras que, por parte de la BUAP, la formulación adecuada del biocombustible sólido.

El proyecto se estructuró en dos fases complementarias. La primera consistió en un diagnóstico técnico y social en ocho municipios estratégicos del estado:

1. Acatlán de Osorio
2. Chignautla
3. Chignahuapan
4. Izúcar de Matamoros
5. Olintla
6. Puebla
7. Tecali de Herrera





## 8. Zacapoaxtla.

En estos municipios se realizaron mesas de trabajo, talleres prácticos y sesiones de retroalimentación con la participación de aproximadamente 2,809 personas, entre productores, mujeres agricultoras, estudiantes y emprendedores locales. A través del diálogo directo, la escucha activa y el trabajo colaborativo, se recabaron opiniones, sugerencias y saberes comunitarios que fueron integrados al proceso de diseño, demostrando que el conocimiento técnico y el conocimiento local pueden complementarse de manera efectiva.

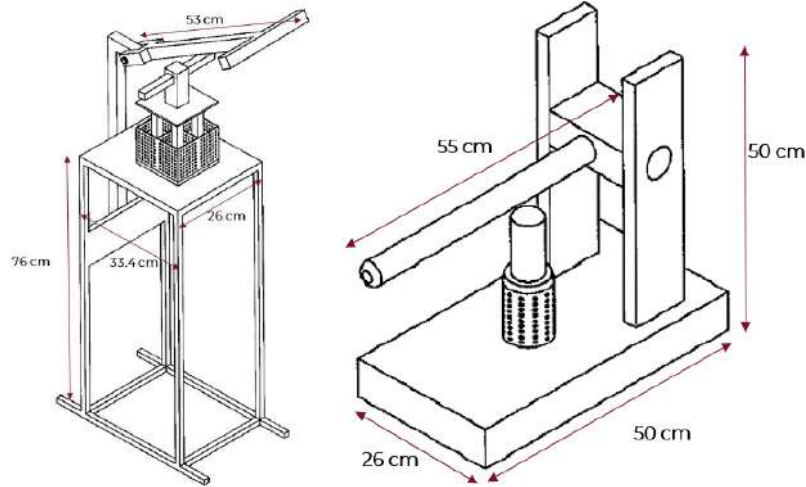
La segunda fase correspondió al diseño, construcción y validación en campo de dos prototipos de briquetadoras artesanales a partir de dos materiales: metal y madera. Ambos dispositivos fueron construidos con herramientas básicas de carpintería y herrería, pensados para ser reproducidos localmente con materiales disponibles y mano de obra comunitaria. Cabe destacar que el uso del metal en el diseño responde no solo a criterios de resistencia estructural, sino también al hecho de que la herrería es un oficio tradicional en muchas comunidades rurales de Puebla, lo que garantiza viabilidad técnica y apropiación cultural del equipo.

El diseño específico de cada máquina fue adaptado a las características físicas de los residuos disponibles en cada región. La briquetadora metálica, con cuatro moldes fijos, fue concebida para residuos de alta densidad como el bagazo de agave o el bagazo de caña.

Por su parte, la briquetadora de madera, con un solo molde, fue diseñada para procesar residuos más ligeros, como el pergamino de café.

Los costos de construcción estimados se ubicaron entre \$789.00 MXN y \$3,480.00 MXN para la versión de madera, y entre \$4,930.00 MXN y \$10,045.00 MXN para la metálica, dependiendo de los materiales utilizados, los medios de fabricación disponibles, el criterio propio y la experiencia de cada fabricante.





*Ilustración 1. Briquetadora de metal (izquierda) y briquetadora de madera (derecha)*

Las pruebas de campo revelaron que la máquina metálica presentó mejor desempeño global, alcanzando una fuerza de compactación de 1.10 N frente a los 0.28 N de la máquina de madera. Si bien esta última logró una presión específica ligeramente superior por unidad (71.81 Pa frente a 61.24 Pa), la capacidad de compactar cuatro briquetas de manera simultánea y su mayor durabilidad ante condiciones de humedad hacen de la versión metálica una opción técnica más eficiente y robusta.

De manera resumida, en la Tabla 1 se presenta la comparativa técnica entre la briquetadora de madera y metal.

*Tabla 1. Comparativa técnica entre la briquetadora de madera y metal.*

Criterio	Briquetadora de madera	Briquetadora de metal
Tipo de residuo recomendado	Pergamino de café	Bagazo de agave, bagazo de caña, aserrín
Material estructural	Madera local	Acero y elementos metálicos resistentes
Cantidad de briquetas por ciclo	1 briqueta	4 briquetas
Fuerza de compactación	0.28 N	1.10 N
Presión ejercida por unidad	71.81 Pa	61.24 Pa (aplicada de forma más uniforme)
Costo estimado de construcción	\$789.00 – \$3,480.00 MXN	\$4,930.00 – \$10,045.00 MXN
Durabilidad esperada	Baja en ambientes húmedos; sensible a hongos y termitas	Alta durabilidad; resistente al uso intensivo y la humedad
Accesibilidad de materiales	Moderada (puede requerir madera tratada)	Alta (material común en comunidades con herrería local)





Requiere oficio especializado	Carpintería básica	Herrería (oficio tradicional en zonas rurales)
Participación comunitaria	Validación en campo, preferida para residuos ligeros	Altamente aceptada en capacitaciones, preferida por durabilidad y fuerza
Posibilidades de mejora	Optimización del sistema de palanca, protección ambiental	Innovación en sistemas de desmolde, aumento de presión
Naturaleza del equipo	Prototipo artesanal de demostración y capacitación	Prototipo artesanal de demostración y capacitación

La validación en campo, combinada con talleres comunitarios, permitió identificar oportunidades claras de mejora: se sugirió rediseñar el sistema de palanca para una distribución más uniforme de la presión, incorporar perforaciones en los moldes para facilitar el secado de las briquetas y desarrollar un sistema de desmolde eficiente. Estas recomendaciones, provenientes directamente de los participantes, refuerzan el valor de un diseño centrado en el usuario y demuestran que la tecnología apropiada no es estática, sino evolutiva y mejorable.

Cabe señalar que ambos dispositivos son prototipos demostrativos y formativos, sin fines comerciales ni asociados a programas gubernamentales de apoyo social. Su finalidad es fortalecer la transferencia de tecnología, promover el aprendizaje técnico y construir colectivamente soluciones energéticas sustentables desde y con las comunidades. A través de estos procesos, se busca impulsar la apropiación local del conocimiento, fomentar la investigación aplicada y promover el uso eficiente de residuos agroindustriales en el marco de la economía circular.

El enfoque participativo, formativo y territorial del Proyecto B responde directamente al mandato institucional de la SMADSOT, particularmente en lo relativo a la mitigación de emisiones, la promoción de ecotecnologías, la educación ambiental y el fortalecimiento comunitario con perspectiva de desarrollo sostenible. Este proyecto constituye una plataforma técnica y social replicable, susceptible de integrarse con otras ecotecnias y estrategias climáticas del Estado.





Anexo: Evidencia fotográfica



*Ilustración 2. Taller de demostración del funcionamiento de la briquetadora de madera en Chignautla.*



*Ilustración 3. Capacitación Chignautla*





*Ilustración 4. Capacitación Chignahuapan*



*Ilustración 5. Escucha activa en el taller de briquetadoras en Izúcar de Matamoros*





*Ilustración 6 Escucha activa en el taller de briquetadoras en Izúcar de Matamoros*



*Ilustración 7. Escucha activa de la comunidad de Olintla*





*Ilustración 8. Capacitación en la comunidad de Olintla*



*Ilustración 9 Taller de briquetadoras en una comunidad estudiantil del municipio de Puebla*





*Ilustración 10 Validación en campo de la briquetadora de madera en el Laboratorio de Biocombustibles de la BUAP*



*Ilustración 6. Mesa de trabajo con la comunidad de un Palenque en Tecali de Herrera*





*Ilustración 7. Validación en campo de la briquetadora de metal en Tecali de Herrera*



*Ilustración 13. Retroalimentación y observaciones del sistema de desmolde por parte de productores de mezcal en Tecali de Herrera*





Ilustración 14. Mesa de trabajo con emprendedores y agricultores de Zacapoaxtla



Ilustración 15 Taller de briquetadoras en una comunidad estudiantil del municipio de Acatlán de Osorio



# ANEXO II



## Construcciones Generales García

Servicios de mantenimiento, Techumbres en policarbonato y lamina, Pintura en general, Remodelaciones, Tabla roca, Pisos laminados, Plomería, Electricidad

COTIZACION

CGG-137-ITSZ

Atendiendo su amable solicitud estamos enviando cotización solicitada.

CLIENTE		CONTACTO		FECHA
Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Estado de Puebla				15-abr-2024
DIRECCION		TELEFONO / PAGINA WEB		E-MAIL
CANT.	UNIDAD	SERVICIO DE FABRICACIÓN DE MÁQUINA BRIQUETADORA EDUCACIONAL	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1	Pieza	<p><b>Especificaciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Base metálica tipo mesa de medidas 33.40 cm x 26 cm y una altura de 76 cm con patas de apoyo de 50 cm. Al centro de la mesa se ubica una base para molde de 14 cm x 14 cm con un grosor de 1 cm.</li> <li>• Poste de palanca que permita realizar movimientos verticales ascendentes y descendentes, en forma de L invertida, de medidas de 50 cm x 10 cm con un grosor de 3 cm.</li> <li>• Palanca en forma de "Y" perforada para poder acoplarse por medio de un tornillo con el lado más pequeño del poste de palanca y tener movilidad. Toda la pieza tiene un grosor de 3 cm, la parte más larga de la palanca mide 42 cm y la parte más corta tiene dimensiones de 8 cm x 2.5 cm. Tiene adaptada una parte más larga al final de la "Y" a modo de agarradera con una longitud de 27 cm y grosor de 3 cm.</li> <li>• Molde cuadrado de 14 cm x 14 cm de lámina perforada con orificio de 0.5 cm de diámetro teniendo una perforación distante de otra por 1 cm de manera vertical y 1 cm de manera horizontal. El molde de manera interna se encuentra dividido en cuatro partes de medida 6.7 cm x 6.7 con láminas lisas.</li> <li>• Pieza para ejercer presión compuesta de varias piezas con un elemento de lámina central de 14 cm x 14 cm y en la parte superior un pilar de 15 cm x 4 cm y dos agarraderas de 10 cm de largo y 2 cm de ancho en la parte horizontal.</li> <li>• En la parte inferior se encuentran ubicados 4 pilares cuadrangulares de 10 cm de largo y 3 cm por lado. En la base de cada pilar se ubica una lámina de 6.6 cm x 6.6 cm.</li> <li>• La máquina debe de contar con un recubrimiento para protegerla de la humedad</li> </ul>	\$ 8,660.00	\$8,660.00
			<b>SUBTOTAL</b>	\$8,660.00
<b>IMPORTE CON LETRA:</b>			<b>IVA</b>	\$1,385.60
DIEZ MIL CUARENTA Y CINCO 60/100			<b>VALOR TOTAL</b>	<b>\$10,045.60</b>
<p><b>REQUERIMIENTOS:</b></p> <p>- SE REQUIERE 50 % DE ANTICIPO.</p> <p>- TIEMPO DE ENTREGA 15 DÍAS DESPUES DE LA FORMALIZACIÓN DEL CONTRATO.</p> <p>- SOLO SE ENTREGA, NO DE INSTALA</p> <p><b>Cambios no previstos en la presente cotización, incrementa costo. Cotización valida por los próximos 20 días hábiles</b></p>				

Ing. Irving García García  
 Cel: 233 109 0313  
 E-mail: [raiq12@hotmail.com](mailto:raiq12@hotmail.com)  
 Dirección: Zaragoza, Puebla





# RAMOS

## SERVICIOS

<b>Cliente:</b> Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Estado de Puebla <b>Contacto:</b>	<b>Dirección:</b>	<b>Fecha:</b> 15/04/2024 <b>Cotización:</b> 100204202402
--	-------------------	---

DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
<p>SERVICIO DE FABRICACIÓN DE MÁQUINA BRIQUETADORA EDUCACIONAL</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Base metálica tipo mesa de medidas 33.40 cm x 26 cm y una altura de 76 cm con patas de apoyo de 50 cm. Al centro de la mesa se ubica una base para molde de 14 cm x 14 cm con un grosor de 1 cm.</li><li>• Poste de palanca que permita realizar movimientos verticales ascendentes y descendentes, en forma de L invertida, de medidas de 50 cm x 10 cm con un grosor de 3 cm.</li><li>• Palanca en forma de "Y" perforada para poder acoplarse por medio de un tornillo con el lado más pequeño del poste de palanca y tener movilidad. Toda la pieza tiene un grosor de 3 cm, la parte más larga de la palanca mide 42 cm y la parte más corta tiene dimensiones de 8 cm x 2.5 cm. Tiene adaptada una parte más larga al final de la "Y" a modo de agarradera con una longitud de 27 cm y grosor de 3 cm.</li><li>• Molde cuadrado de 14 cm x 14 cm de lámina perforada con orificio de 0.5 cm de diámetro teniendo una perforación distante de otra por 1 cm de manera vertical y 1 cm de manera horizontal. El molde de manera interna se encuentra dividido en cuatro partes de medida 6.7 cm x 6.7 con láminas lisas.</li><li>• Pieza para ejercer presión compuesta de varias piezas con un elemento de lámina central de 14 cm x 14 cm y en la parte superior un pilar de 15 cm x 4 cm y dos agarraderas de 10 cm de largo y 2 cm de ancho en la parte horizontal.</li><li>• En la parte inferior se encuentran ubicados 4 pilares cuadrangulares de 10 cm de largo y 3 cm por lado. En la base de cada pilar se ubica una lámina de 6.6 cm x 6.6 cm.</li><li>• La máquina debe de contar con un recubrimiento para protegerla de la humedad.</li></ul>	Se entrega en taller	1 pz	\$6,075.00	\$6,075.00
<b>NOTA: EL PRESUPUESTO TIENE VALIDES LOS PRÓXIMOS 20 DÍAS HÁBILES EL IVA ES SOLO EN CASO DE REQUERIR FACTURA TIEMPO ESTIMADO DE ENTREGA 10 DÍAS AVILÉS</b>			<b>SUB TOTAL</b>	\$6,075.00
			<b>IVA</b>	\$972.00
			<b>TOTAL</b>	\$7,047.00





PUEBLA PUE, 4 DE ABRIL DE 2024

ATN: Dirección de Gestión de Cambio  
Climático, Ciudades Inteligentes y  
Transición Energética

## **Se requiere la entrega de una máquina briquetadora de metal.**

SUMINISTRO Y FABRICACION DE MAQUINA SEGÚN PLANOS,

CON PLACA DE ACERO AL CARBONO CALIBRE 12, SOPORTE DE PERFIL CUADRADO CALIBRE 14, PINTURA ANTICORROSIVA Y ESMALTE

- BASE METÁLICA TIPO MESA DE MEDIDAS 33.40 CM X 26 CM Y UNA ALTURA DE 76 CM CON PATAS DE APOYO DE 50 CM. AL CENTRO DE LA MESA SE UBICA UNA BASE PARA MOLDE DE 14 CM X 14 CM CON UN GROSOR DE 1 CM.
- POSTE DE PALANCA QUE PERMITA REALIZAR MOVIMIENTOS VERTICALES ASCENDENTES Y DESCENDENTES, EN FORMA DE L INVERTIDA, DE MEDIDAS DE 50 CM X 10 CM CON UN GROSOR DE 3 CM.
- PALANCA EN FORMA DE "Y" PERFORADA PARA PODER ACOPLARSE POR MEDIO DE UN TORNILLO CON EL LADO MÁS PEQUEÑO DEL POSTE DE PALANCA Y TENER MOVILIDAD. TODA LA PIEZA TIENE UN GROSOR DE 3 CM, LA PARTE MÁS LARGA DE LA PALANCA MIDE 42 CM Y LA PARTE MÁS CORTA TIENE DIMENSIONES DE 8 CM X 2.5 CM. TIENE ADAPTADA UNA PARTE MÁS LARGA AL FINAL DE LA "Y" A MODO DE AGARRADERA CON UNA LONGITUD DE 27 CM Y GROSOR DE 3 CM.
- MOLDE CUADRADO DE 14 CM X 14 CM DE LÁMINA PERFORADA CON ORIFICIO DE 0.5 CM DE DIÁMETRO TENIENDO UNA PERFORACIÓN DISTANTE DE OTRA POR 1 CM DE MANERA VERTICAL Y 1 CM DE MANERA HORIZONTAL. EL MOLDE DE MANERA INTERNA SE ENCUENTRA DIVIDIDO EN CUATRO PARTES DE MEDIDA 6.7 CM X 6.7 CON LÁMINAS LISAS.
- PIEZA PARA EJERCER PRESIÓN COMPUESTA DE VARIAS PIEZAS CON UN ELEMENTO DE LÁMINA CENTRAL DE 14 CM X 14 CM Y EN LA PARTE SUPERIOR UN PILAR DE 15 CM X 4 CM Y DOS AGARRADERAS DE 10 CM DE LARGO Y 2 CM DE ANCHO EN LA PARTE HORIZONTAL. EN LA PARTE INFERIOR SE ENCUENTRAN UBICADOS 4 PILARES CUADRANGULARES DE 10 CM DE LARGO Y 3 CM POR LADO. EN LA BASE DE CADA PILAR SE UBICA UNA LÁMINA DE 6.6 CM X 6.6 CM.
- LA MÁQUINA DEBE DE CONTAR CON UN RECUBRIMIENTO PARA PROTEGERLA DE LA HUMEDAD.

**TOTAL \$ 4,250.00 MAS IVA**

**GRAN TOTAL \$ 4,930.00**



## ANEXO III

 **GOMINE Henan Gomine Industrial Technology Co., Ltd**  
No.279, West 3<sup>rd</sup> Ring Road, National Hi-Tech Industry Development Zone, Zhengzhou, China  
Contact Name: William Mobile No.: +86 18848892334 Email ID: sales115@sinogomine.com

---



# Cotización

**Para máquina briquetadora de biomasa GM-50V**

Nombre de contacto: William Fang  
Móvil: +86 18848892334  
Teléfono: +86 371 6919 5222  
Correo electrónico: sales115@sinogomine.com

**Henan Gomine Industrial Technology Co., Ltd**

No. 279, West 3<sup>rd</sup> Ring Road, National Hi-Tech Industry Development Zone, Zhengzhou, China



## Cotización

NÚMERO DE REFERENCIA.:GM240314WF-03

Fecha: 14 de marzo de 2024

**A: Michelle Bouchan Gámez +52 2224899743**

S / N	Artículo	Especificaciones	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	 <p>Máquina de briquetas</p>	1.Modelo: GM-50V 2.Motor: 18.5kw 3.Peso: 650kg 4.Capacidad: 300-500kg/h 5.Dimension: 1700x670x1600mm 6.Potencia del anillo calefactor: 1.8 kw*3	1	2,430	2,430
<b>Precio total de fábrica EXW en China (USD)</b>					<b>2,430</b>
<b>Costo de Envío + Costo de Seguro a Manzanillo, México por Marítimo</b>					<b>440</b>
<b>Precio total CIF Manzanillo, México (USD)</b>					<b>2,870</b>

**Nota.**

1. El precio anterior es por la unidad completa, incluida la máquina principal, el motor, los pemos, etc., todos los accesorios.
2. Artículo de pago: 40% de anticipo por parte del Banco TT, 60% del saldo pagado antes del envío.
3. Tiempo de entrega: 7-10 días después de recibir el pago inicial.
4. Garantía: 12 meses excepto piezas de desgaste.
5. Información bancaria:

Nombre de cuenta: Henan Gomine Industrial Technology Co., Ltd

Nombre del banco: JPMorgan Chase Bank N.A., sucursal de Hong Kong

Dirección del banco: 18/F, 20/F, 22-29/F, CHATER HOUSE, 8 CONNAUGHT ROAD  
 CENTRAL, HONG KONG

País/Región: Hong Kong

Código SWIFT/BIC: CHASHKHH (CHASHKHHXXX \* Si se requieren 11 caracteres)

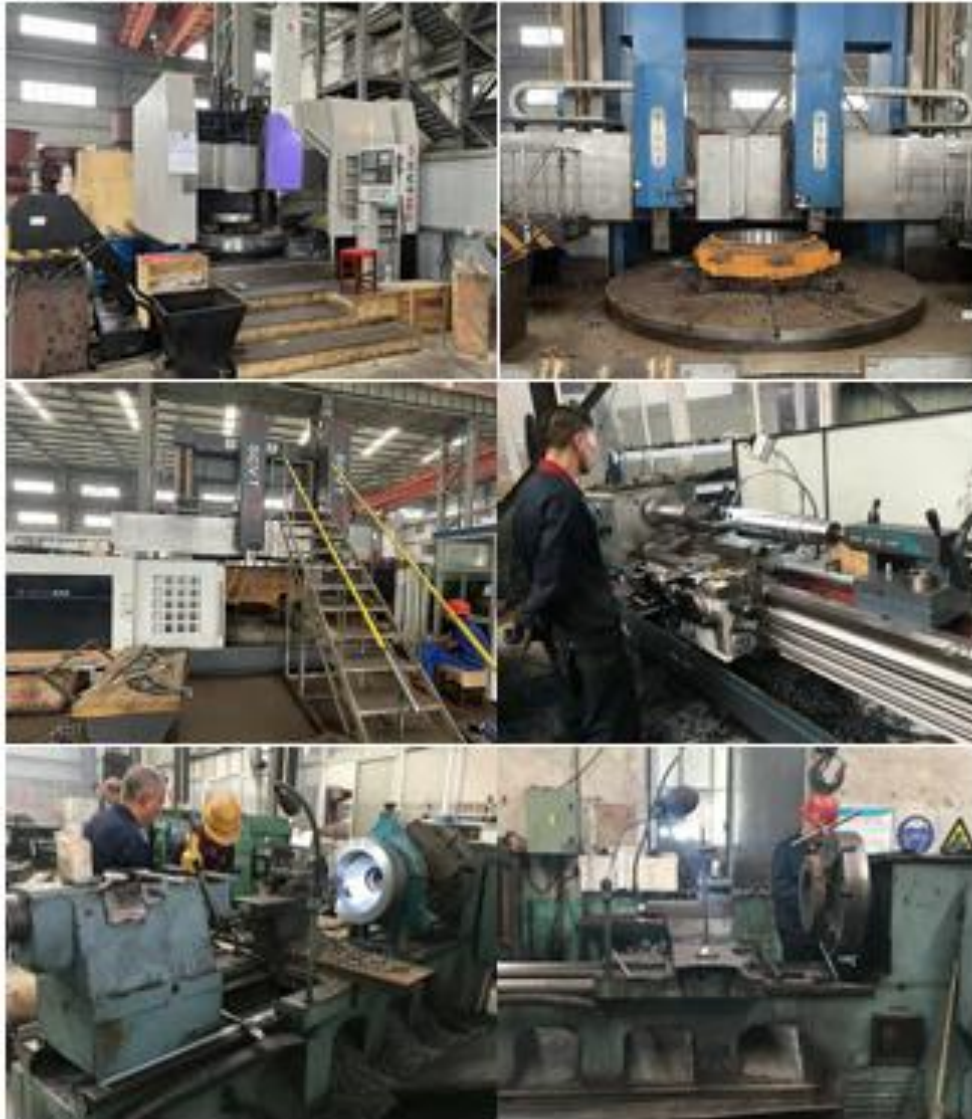
Número de cuenta: 63007958870



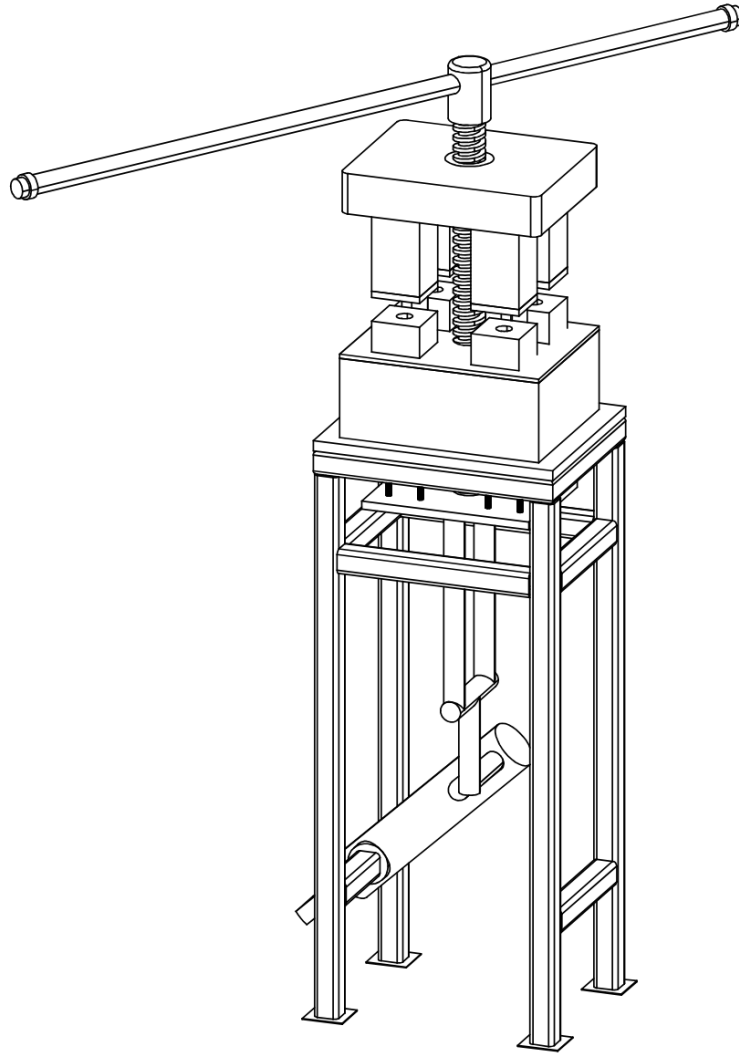
**Fotos de equipos**



**Fotos del taller**



# ANEXO IV



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias de la Electrónica  
Ingeniería en Energías Renovables

Diseño de un Dispositivo de Compactación para  
Biocombustible Sólido de Segunda Generación (Briquetadora)

Otoño 2024

Autor: Michelle Bouchan Gámez

Asesor Principal: Dra. Laura Alicia Paniagua Solar

Co-Asesor: Dr. Javier Flores Mendez

Dibujo:

Diseño completo

Material: Hierro Dúctil, madera de pino  
y nylon

Peso:  
16.60 kg

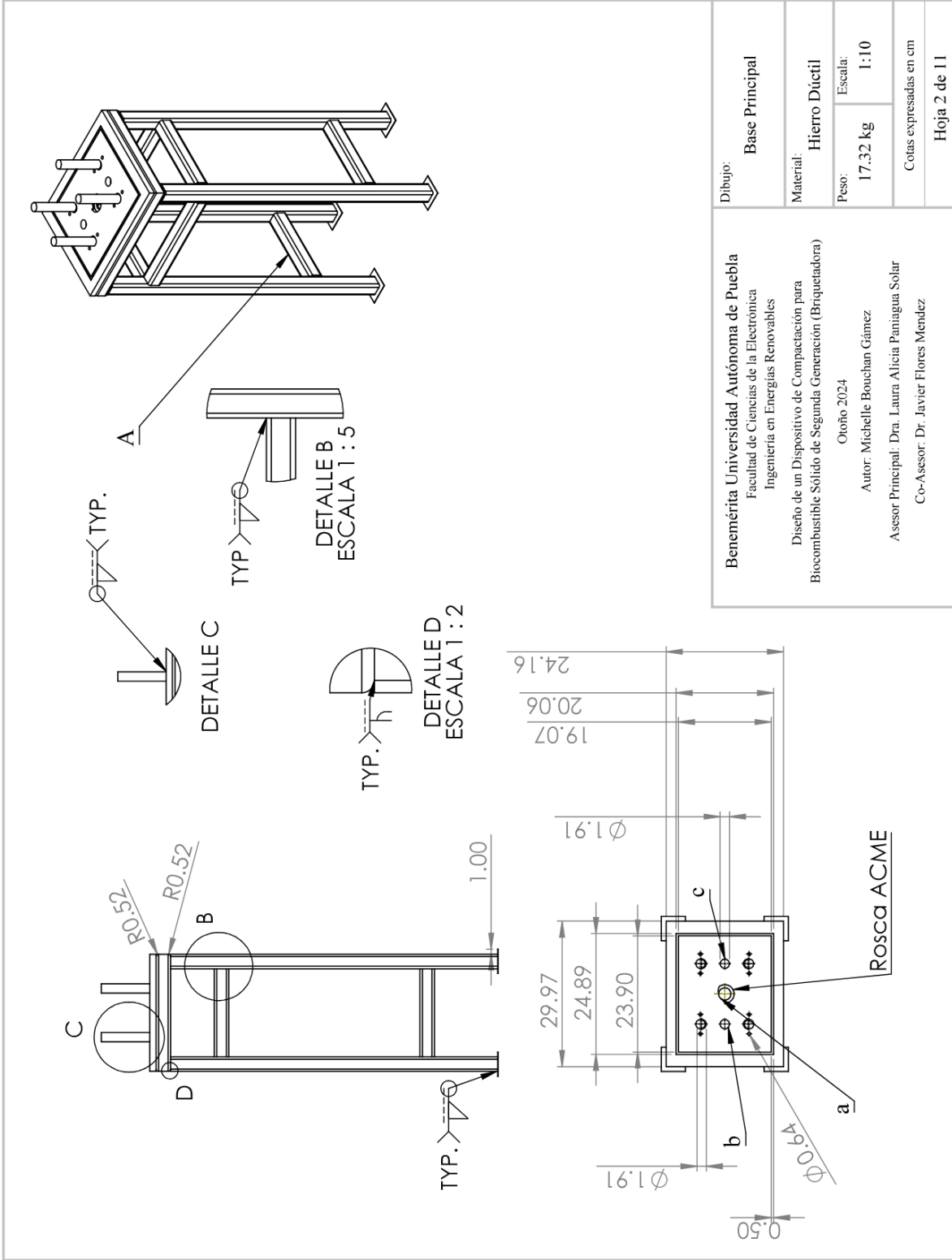
Escala:  
1:7

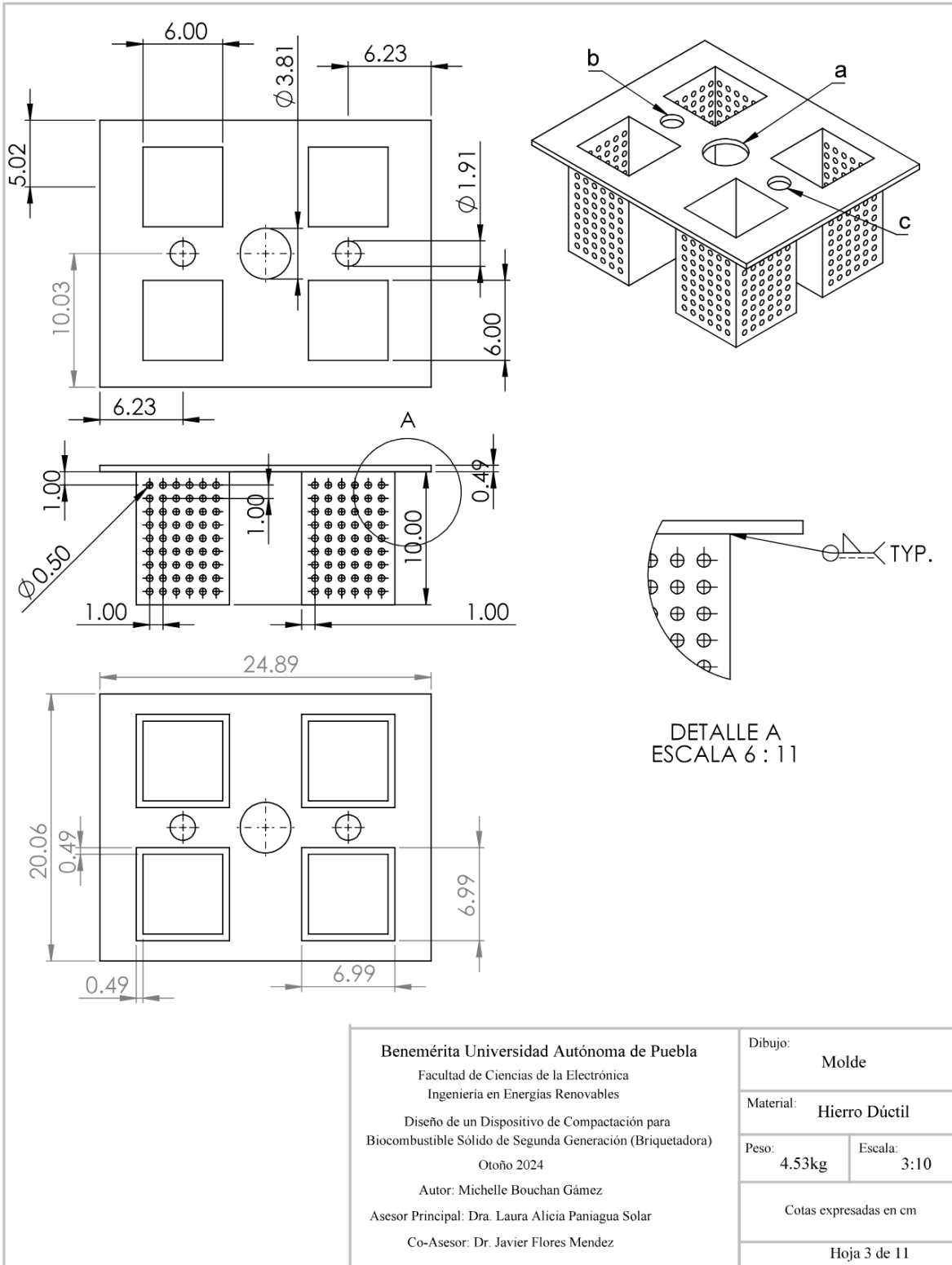
Licencia SolidWorks:

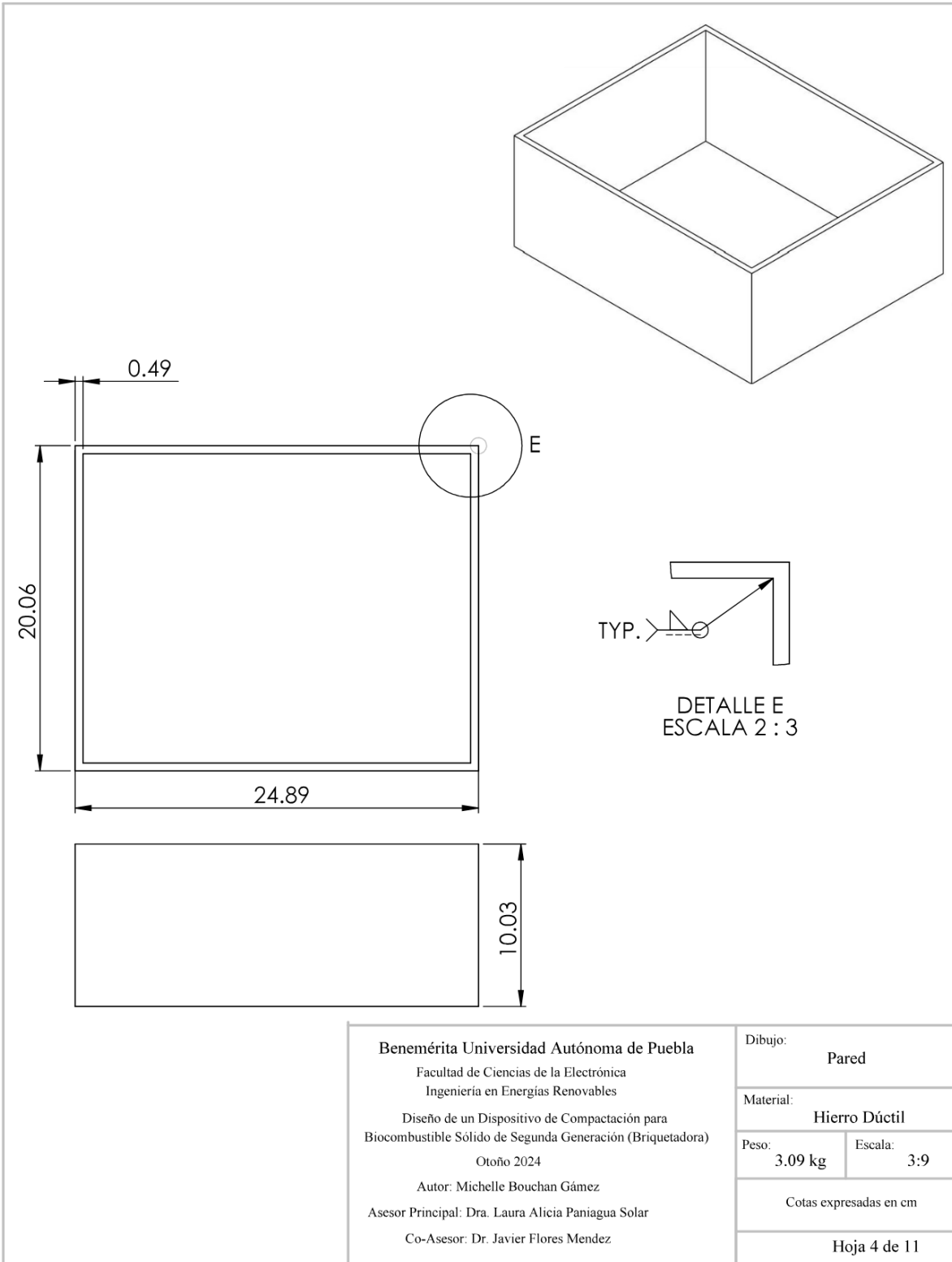
Versión Educativa 2023-2024  
9710 0297 1672

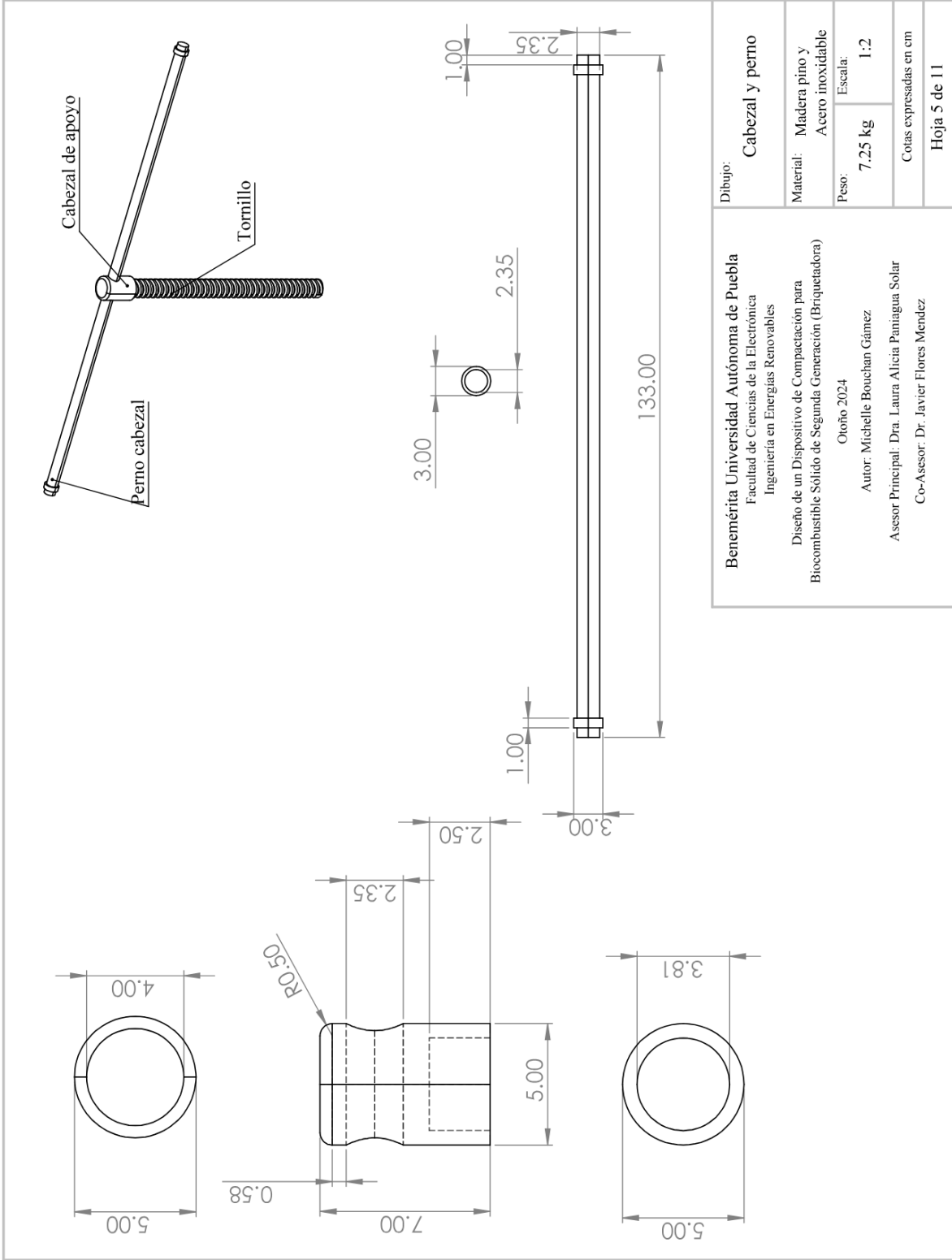


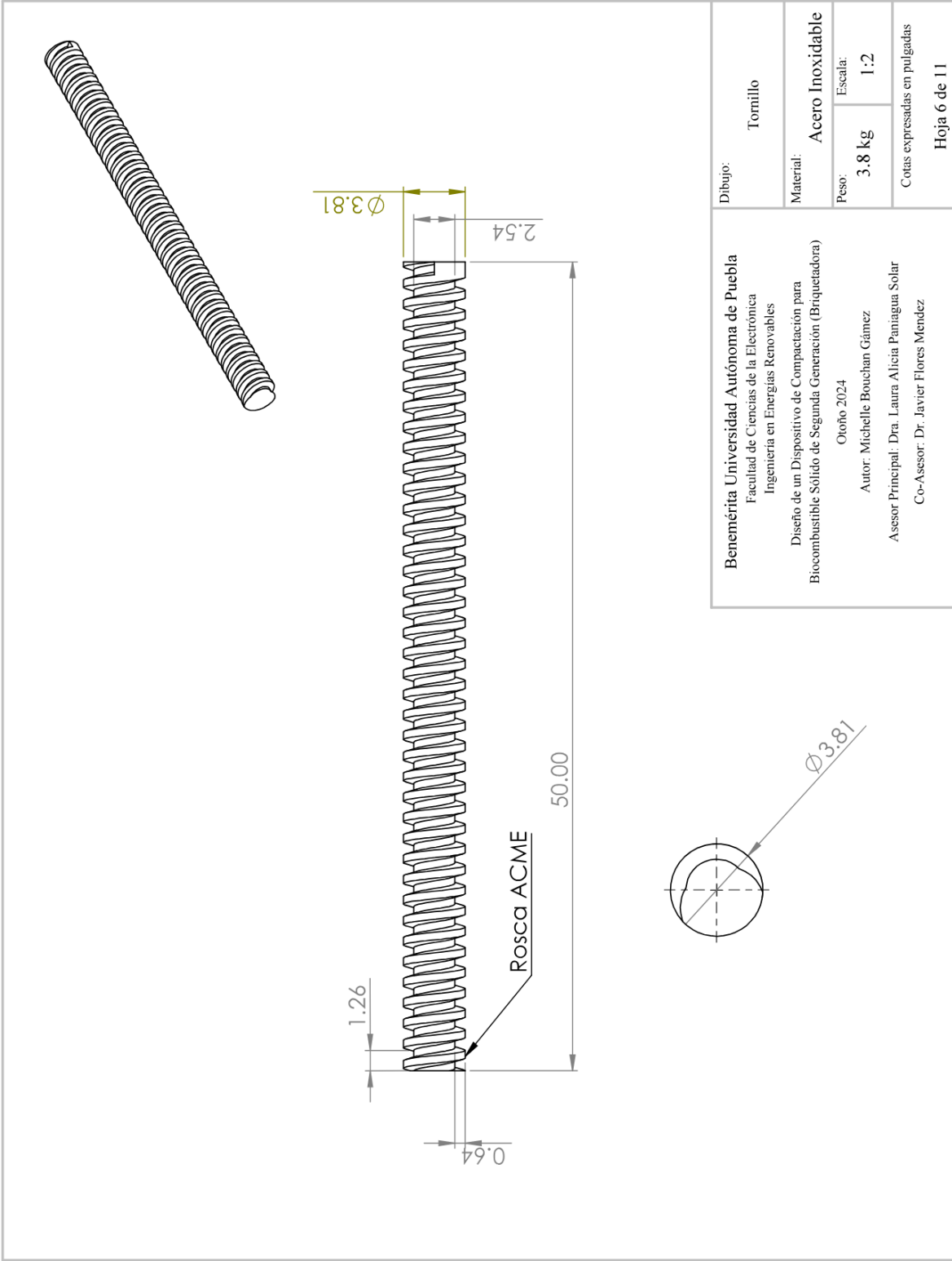


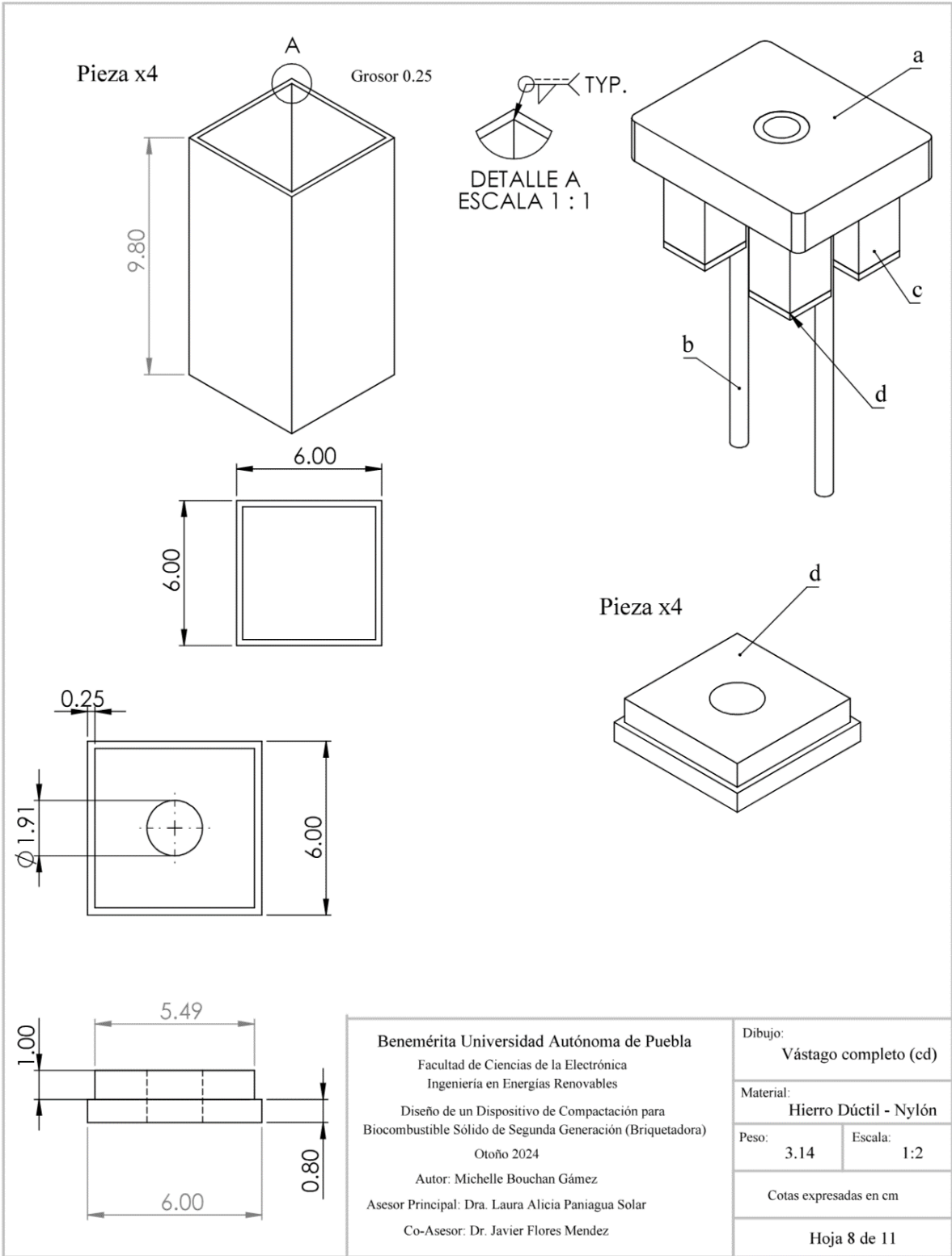


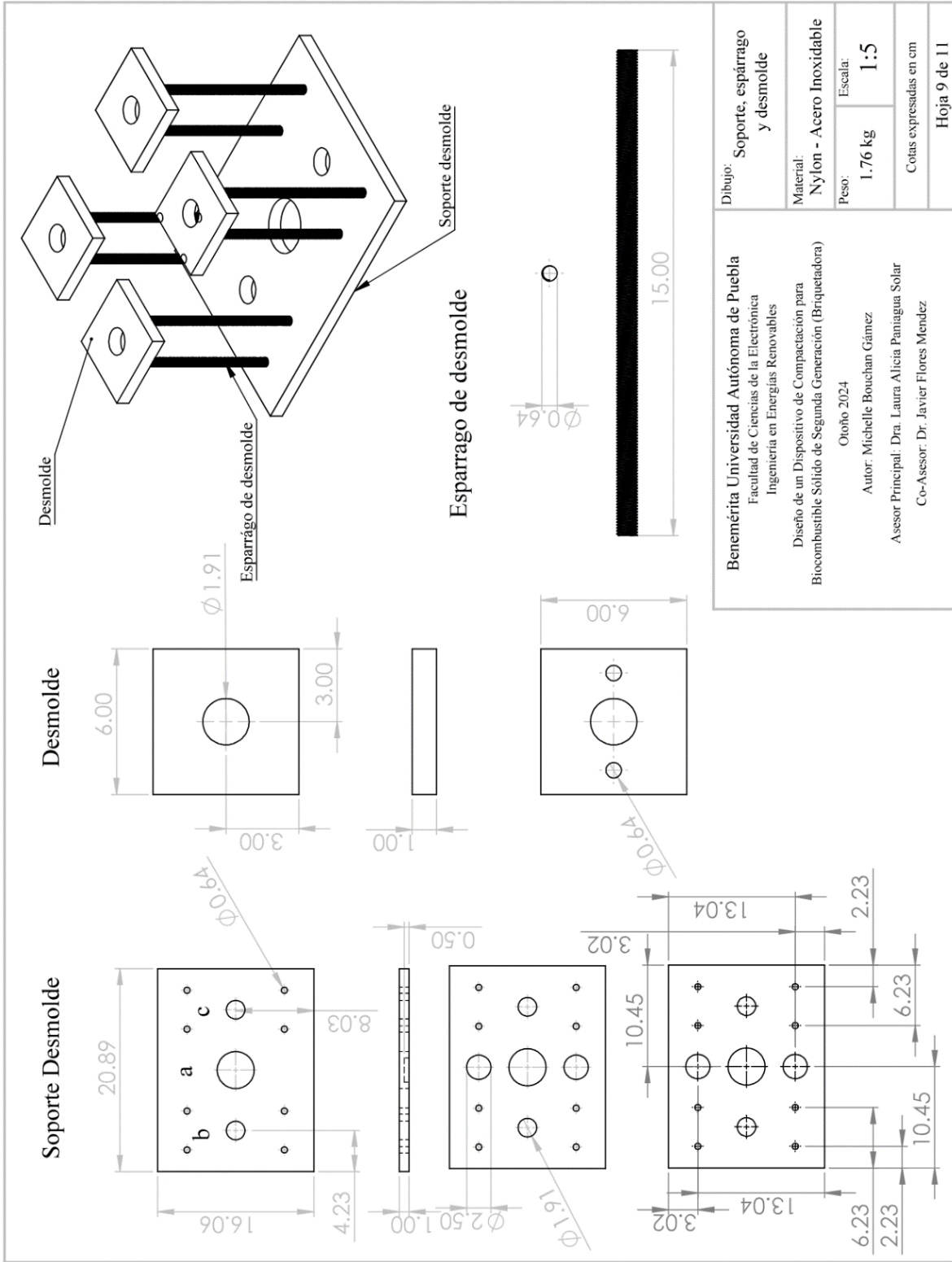


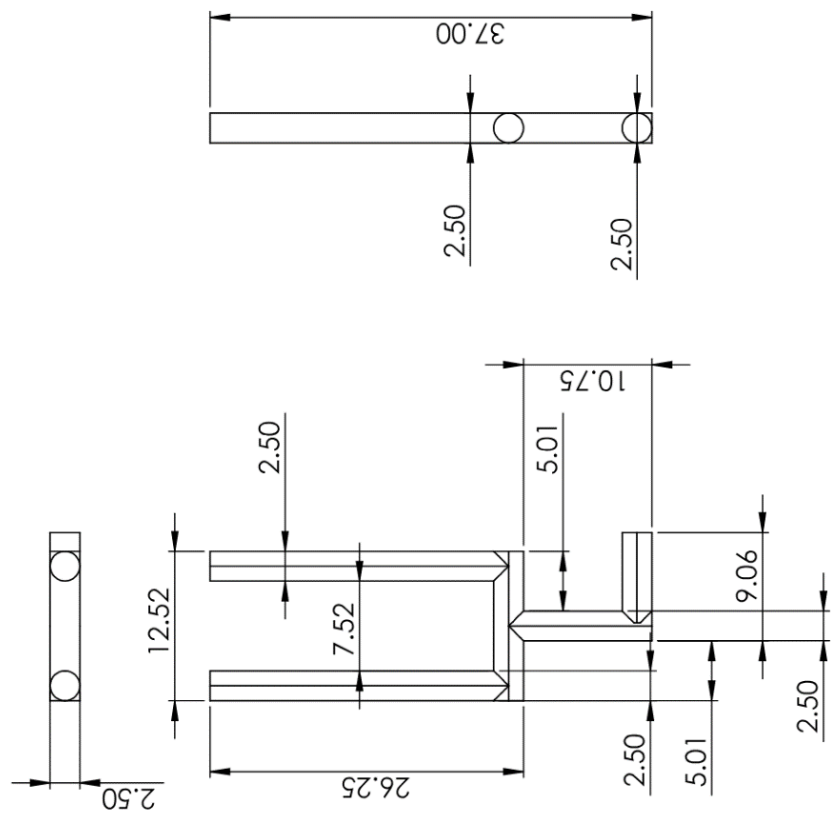
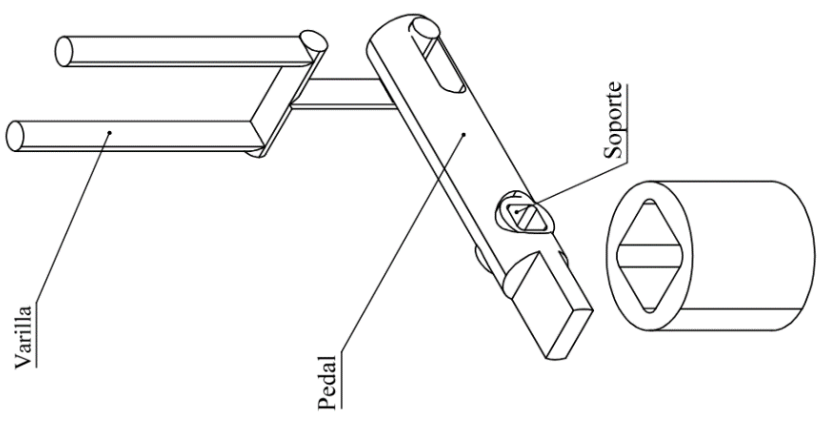






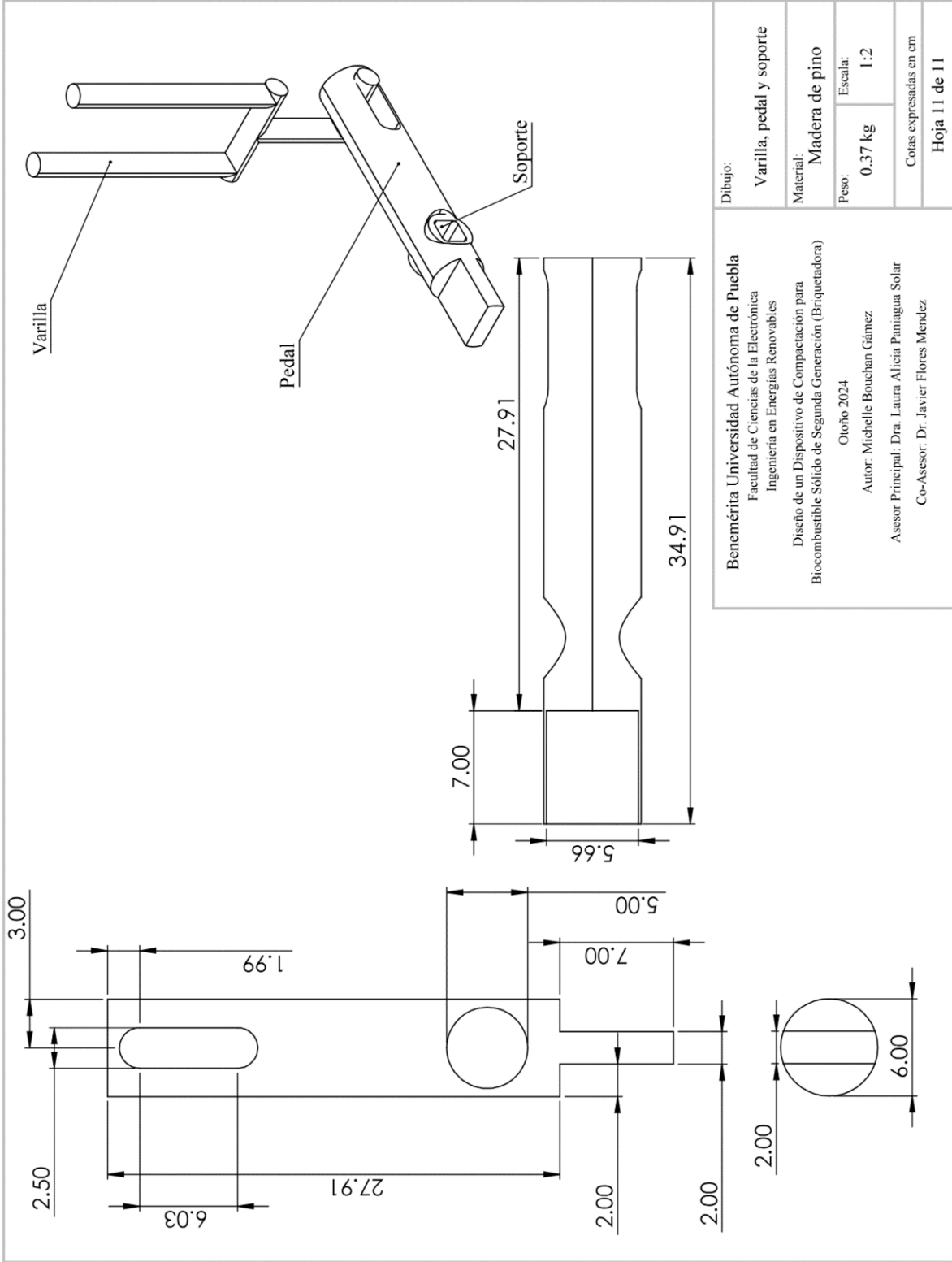






<b>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla</b> Facultad de Ciencias de la Electrónica Ingeniería en Energías Renovables		<b>Dibujo:</b> Varilla, pedal y soporte
Diseño de un Dispositivo de Compactación para Biocombustible Sólido de Segunda Generación (Briquetadora) Otoño 2024 Autor: Michelle Bouchan Gámez Asesor Principal: Dra. Laura Alicia Paniagua Solar Co-Asesor: Dr. Javier Flores Méndez		<b>Materia:</b> Madera de pino
		<b>Peso:</b> 0.37 kg <b>Escala:</b> 1:2
		Cotas expresadas en cm Hoja 10 de 11





Dibujo:		Varilla, pedal y soporte	
Material:		Madera de pino	
Peso:	0.37 kg	Escala:	1:2
Cotas expresadas en cm		Hoja 11 de 11	

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
 Facultad de Ciencias de la Electrónica  
 Ingeniería en Energías Renovables  
 Diseño de un Dispositivo de Compactación para  
 Biocombustible Sólido de Segunda Generación (Briquetadora)  
 Otoño 2024  
 Autor: Michelle Bouchan Gámez  
 Asesor Principal: Dra. Laura Alicia Paniagua Solar  
 Co-Asesor: Dr. Javier Flores Mendez



## ANEXO V



**BUAP**

### PROGRAMA 2024 DE APOYO AL REGISTRO DE CREACIONES E INVENCIONES

De conformidad con la Convocatoria del Programa 2024 de Apoyo al Registro de Creaciones e Inventiones se dan a conocer los resultados de aquellas propuestas que cumplen con la viabilidad de patentabilidad.

#### PROYECTOS ACEPTADOS

No. Proyecto	Investigador Responsable	No. Proyecto	Investigador Responsable
2024-01	Aurora Vargas Treviño	2024-20	Albino Moreno Rodríguez
2024-02	Aurora Vargas Treviño	2024-21	Luis Armando Moreno Coria
2024-03	Irene Aurora Espinosa de Santillana	2024-22	José Isrrael Rodríguez Mora
2024-04	Enrique Quiroga González	2024-23	José Isrrael Rodríguez Mora
2024-05	Enrique Quiroga González	2024-24	Juan Pablo Padilla Martínez
2024-06	Luis Armando Moreno Coria	2024-25	Claudia Santacruz Vázquez
2024-07	Elías Manjarrez López	2024-26	Olivia Cruz Hernández
2024-08	Filiberto Candia García	2024-27	Bruno Moreau García Sánchez
2024-09	José Antonio Rivera Tapia	2024-28	Claudia Santacruz Vázquez
2024-10	Beatriz Tlatelpa Romero	2024-29	Sandra Leticia Castillejos Mosqueda
2024-11	Enrique Quiroga González	2024-30	Marino Conde Guevara
2024-12	Enrique Ricardo Pablo Buendía Lozada	2024-31	Juan Carlos García Gutiérrez
2024-13	Elena Georgina Hernández Velasco	2024-32	Laura Alicia Paniagua Solar
2024-14	Sergio Josue Ortiz Hernández	2024-33	Laura Alicia Paniagua Solar
2024-15	Mara Edna Serrano Acuña	2024-34	Celia Lizeth Gómez Muñoz
2024-16	Elsa Adriana Camarillo Jiménez	2024-35	Israel Camacho Abrego
2024-17	Alfredo García Juárez	2024-36	Julia Flores Tochiuitl
2024-18	Jorge Cerna Cortez	2024-37	Julia Flores Tochiuitl
2024-19	Albino Moreno Rodríguez	2024-38	Juana Deysi Santamaria Juárez

Atte.

“Pensar bien para vivir mejor”  
H. Puebla de Z. diciembre de 2024

