

REPÚBLICA DE CUBA.
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS "CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



TRABAJO DE DIPLOMA

**DISEÑO DE BRIQUETeadora HIDRÁULICA PARA
PRODUCIR BRIQUETAS MULTITUBULARES DE BAGAZO Y
DE OTRAS BIOMASAS, CON GRANULOMETRÍAS AFINES.**

Autor: Charles Daniel Vázquez Ulloa

Tutores: Dr. Pedro Beltrán Fundora

Año 56 de la Revolución
Cienfuegos, 2014.

DECLARACION DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



“Carlos Rafael Rodríguez”

Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Universidad de Cienfuegos para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de este envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico

Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.

Nombre y Apellidos. Firma.

Firma del Tutor

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellido. Firma.

PENSAMIENTO

La vida es una obra de teatro que no permite ensayos...

Por eso canta, ríe, baila, llora y vive intensamente cada momento de tu vida...

...antes que el telón baje y la obra termine sin aplausos.

Charles Chaplin

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, quiero dar gracias a Dios por levantarme y orientarme hasta el final de la carrera. También, a mis padres, familiares y personas allegadas por sus varias formas de ayuda en estos años de estudio.

Gracias a los profesores y trabajadores de la Universidad, especialmente mi tutor Dr. Pedro Fundora que ha sido como un padre para mí donde me brindo todo su tiempo y dedicación para la realización de este trabajo.

Finalmente, debo expresar mi gratitud a todos mis compañeros que me han demostrado interés y apoyo durante este tiempo, para todos muchas gracias.

RESUMEN

Este trabajo aborda sobre el diseño de la máquina briquetadora hidráulica para producir briquetas cilíndricas multitubulares, a partir de residuos biomásicos que son susceptibles a ser densificados. En el estudio se obtienen modelos teóricos que caracterizan la biomasa en el proceso de densificación en briquetadoras hidráulicas.

Se seleccionó un diseño factorial de una simulación experimental obtenida en investigaciones anteriores sobre este tema, permitiendo obtener un modelo matemático, que satisface la selección de los parámetros geométricos principales que intervienen en la alimentación o carga de una briquetadora y en sus respectivos rangos de variación.

También se usó metodología para la selección de los componentes del sistema hidráulico, que parte del cálculo del flujo y las presiones necesarias del sistema hidráulico, para realizar la densificación de la biomasa, además los cálculos de comprobación de la resistencia mecánica de algunas partes de la máquina.

Los modelos teóricos obtenidos permiten caracterizar la biomasa y el producto densificado en su interacción con la tecnología de densificación, y constituyen una metodología para el diseño de tecnologías de densificación hidráulicas, y como metodología de estudio, pueden ser extendidas a otros tipos de biomásas.

En el trabajo se hace un análisis económico preliminar para determinar los costos de fabricación de la máquina.

PALABRAS CLAVES DEL AUTOR

Briquetas

Briquetadora

Hidráulica

Máquina

Multitubular

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
PENSAMIENTO	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
TABLA DE CONTENIDOS	5
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: EL PROCESO DE DENSIFICACIÓN DE LAS BIOMASAS, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVOS	4
1.1 LA ENERGÍA	4
1.1.1 Fuentes de energía no renovable.....	4
1.1.2 Fuentes de energía renovable.....	4
1.1.3 Propiedades de la energía renovable.....	5
1.2 LA BIOMASA	5
1.2.1 Tipos de residuos biomasicos susceptibles de ser briquetas	7
1.2.2 Formas de extraer la energía de la biomasa	7
1.2.3 Aplicaciones de la biomasa	8
1.2.4 La biomasa y el medio ambiente	8
1.2.5 Pronostico del uso de la biomasa.....	8
1.3 LA BRIQUETA	9
1.3.1 Técnicas:.....	9
1.3.2 Socio-económicas:.....	9
1.3.3 Uso de las briquetas	10
1.3.4 La densificación de la biomasa para producir briqueta	11
1.4 TECNOLOGIA DE DENSIFICACION MÁS USADO EN EL MUNDO Y SUS POTENCIALES DE PRODUCCION	15
1.4.1 Algunos países que emplean el uso de máquinas briqueteadoras.....	15
1.4.2 Característica de la tecnología de densificación más utilizados	16
1.4.3 Análisis comparativo de las diferentes tecnologías de densificación	18
1.4.4 Maquinas briqueteadoras en Cuba	19
1.5 TEORÍA DEL DISEÑO	22
1.5.1 Criterios del diseño	22
1.5.2 Defensa del diseño de una briqueteadora multitubular.....	22
1.5.3 Generalidades sobre el diseño de máquinas	23

1.5.4 Cálculo de las piezas de las maquinas durante el diseño.....	23
--	----

CAPITULO II: METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL CARRO DE ALIMENTACIÓN DE LA BRIQUETeadora Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....25

2.1 INTRODUCCIÓN.....	25
2.2 EXPERIMENTO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD NATURAL DE LA BIOMASA.....	26
2.3 TÉCNICA OPERATORIA PARA DETERMINAR LA DENSIDAD NATURAL DEL BAGAZO DE CAÑA....	26
2.4 EXPERIMENTO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD EN UN PROCESO UNIAxIAL DE DEFORMACIÓN.....	27
2.4.1 Metodología para el experimento.....	27
2.4.2 Descripción del experimento.....	28
2.4.3 Máquinas y dispositivos utilizados.....	29
2.5 CARACTERÍSTICAS DEL CILINDRO HIDRÁULICO.....	33
2.6 ANÁLISIS DE LAS FUERZAS DE LA PALANCA DE ACCIONAMIENTO DEL CARRO DE ALIMENTACIÓN Y CÁLCULO DE SU DIÁMETRO.....	33
.....	33
2.6.1 Cálculo del diámetro crítico de la palanca de accionamiento del carro de alimentación del dispositivo.....	33
2.7 FUNCIONAMIENTO DEL ALIMENTADOR.....	34
.....	36
2.8 MASA DE LA BRIQUETA.....	37
2.9 CALCULOS FUNDAMENTALES PARA LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRÁULICO A PARTIR DE LAS MAGNITUDES DESEADAS.....	40
2.10 CÁLCULO DEL FLUJO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	41
2.11 CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO DE LA BOMBA.....	41
2.12 – Cálculo del flujo real (Qreal).....	42
2.13 CÁLCULO DEL DIAMETRO DE LAS TUBERIAS.....	43
2.13.1 Diámetro en la Línea de Presión.....	43
2.13.2 Diámetro en la Línea de Succión.....	43
i. Diámetro en la Línea de Retorno.....	44
2.7 Selección del Distribuidor.....	44
2.8 Selección del Filtro de Retorno al Tanque.....	45
2.9 Selección del Tapón de Llenado Desvaporizador, Manómetro y Niveles Visuales y Eléctricos..	45
2.10 Recalculando la Velocidad del Líquido en la Línea de Presión.....	45
2.11 Determinación de la Presión de Tarado.....	46
2.12 Determinación de la Potencia de la Bomba para la Selección del Motor.....	46
2.13 Cálculo del Depósito de Aceite.....	47

CAPITULO III: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS CONJUNTOS FUNDAMENTALES DE LA MÁQUINA BRIQUETEADORA.	49
3.1 INTRODUCCIÓN	49
3.3 Calculo de la Resistencia de los Tensores.	54
3.4 Análisis del Tubo de Compactación.....	55
3.4.1Cálculo de la fuerza de perforación (<i>Fvasper</i>) de la briqueta	55
3.4.2 Cálculo de la Fuerza de Fricción (<i>Ff</i>) Mínima Desarrollada por la Briqueta en el Conducto.	55
3.4.3 Cálculo del Espesor Mínimo del Tubo de Compactación.	56
3.5 CALCULO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL BASTIDOR.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL SOPORTE PRINCIPAL.¡Error!	Marcador no definido.
3.7 CALCULO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL TUBO DE COMPACTACIÓN¡Error!	Marcador no definido.
3.8 CALCULO DEL PASADOR.	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO 4: PREDETERMINACIÓN DEL COSTO DE FABRICACIÓN DE LA MAQUINA BRIQUETEADORA HIDRÁULICA	58
4.1 GENERALIDADES DEL COSTO.....	58
4.2 CALCULO DE LAS MATERIAS PRIMAS Y LOS DISPOSITIVOS.....	59
4.3 COSTOS DE MATERIALES AUXILIARES UTILIZADOS	60
4.4 LOS GASTOS RELACIONADOS CON EL TRABAJO HUMANO.....	61
4.4 GASTO GENERADO POR LA AMORTIZACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	62
4.5 COSTO POR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	63
4.6 Costo total de la fabricación.....	64
4.7 Análisis de los resultados	64
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68

INTRODUCCIÓN

Una de las más importantes fuentes de energía es la biomasa, la cual refiere a todos los materiales orgánicos. Se constituye aproximadamente 14% de energía total consumo en el mundo. Según la información divulgada en el mundo de hoy, es aceptable que el abastecimiento del petróleo y sus derivados, aumenta en sus precios, el calentamiento global incluyendo otros problemas ambientales son temas críticos. Por lo tanto, la energía de la biomasa sigue llamando la atención como una fuente de energía útil y limpia, porque con su uso se puede lograr a una reducción despreciable de dióxido de carbono en la atmosfera. Es decir, el dióxido de carbono que se cede durante el proceso de combustión esta compensado por el consumo de dióxido de carbono utilizado en el proceso de fotosíntesis.

Entre los diversos tipos de biomasa, el residuo de la agricultura ha sido una de las mejores elecciones. Sus costos son nulos o muy bajos y su disponibilidad es abundante. Sin embargo en la mayoría de los caso ellos no son aplicables como combustible por razón de su localización y su baja densidad. Estas características no son favorables para la biomasa porque dificultar su manejo, almacenaje, transporte y uso como alternativo energético.

Durante muchos años la Universidad de Cienfuegos ha realizado estudios y experimentos de densificación con presión y diseño de briqueteadoras. Algunas de estas máquinas fueron construidas. Los estudios teóricos podrían ser vistos en algunos de los títulos de grado.

Sin embargo los estudios de combustión demostraron dificultades en las briquetas macizas. Para eliminar este problema el investigador realizó experimentos en las briquetas tubulares y multitubulares. Los resultados fueron satisfactoria y ello fue el estímulo fundamental para el diseño de una máquina briqueteadora hidráulica para producirlas. El siguiente trabajo está dirigido al diseño de un dispositivo hidromecánico para la alimentación de biomasa para una briqueteadora hidráulica para producir briquetas multitubulares de biomosas.

TÍTULO

Diseño de briqueteadora hidráulica para producir briquetas multitubulares de bagazo y de otras biomásas, con granulometrías afines.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La literatura consultada y los sitios web revisado en internet, así como registros de patentes analizados, no se presenta visible al menos, una tecnología de densificación hidráulica que asegure la producción de briquetas multitubulares de bagazo y otras biomásas de granulometrías afines. El favorable comportamiento en la combustión de las briquetas multitubulares de biomásas, reafirma la necesidad del diseño de esta tecnología.

HIPÓTESIS

El diseño de una briqueteadora hidráulica para producir briquetas multitubulares de bagazo y de otras biomásas de granulometrías afines puede ser la posibilidad del aprovechamiento eficiente y racional de estos recursos biomásicos con una alternativa energética sustentable y menos contaminante que los combustibles fósiles.

OBJETIVOS GENERALES

1. Diseñar una briqueteadora hidráulica para producir Briquetas multitubulares de bagazo y de otras biomásas de granulometrías afines.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Estudio del comportamiento del bagazo en el proceso de densificación y su influencia en la alimentación a la briqueteadora.
2. Diseño, selección y cálculos de los elementos componentes de la briqueteadora hidráulica.

TAREAS DE INVESTIGACIÓN

1. Revisar y analizar la bibliografía disponible.
2. Calcular la resistencia mecánica de las partes fundamentales de la máquina.
3. Seleccionar los componentes del sistema hidráulico en función de las necesidades de las briquetas a producir y de la capacidad de la capacidad de producción.
4. Valorar económicamente la alternativa.
5. Realizar planos de unidades ensambladas y los planos de piezas que los forman.

CAPITULO I: EL PROCESO DE DENSIFICACIÓN DE LAS BIOMASAS, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVOS

En este capítulo se analizan el estado de arte, el origen y utilidad de las biomasa para la producción de briquetas y las máquinas involucrado en el proceso. Énfasis fue dado al tema de la energía renovable y no-renovable, la biomasa, las briquetas y las maquinas briqueteadoras; en expectación de desarrollar la idea de la importancia de una máquina que funciona con el dicho recurso (biomasa) para producir un combustible sólido. Se considera los datos de varias fuentes de información, que incluye libros de textos, tesis de grado y maestría, patentes y el internet.

1.1 LA ENERGÍA

Se puede definir la energía como la capacidad que tienen los cuerpos para cambiar o para producir cambios.

Esta energía se manifiesta de múltiples formas, si es en forma de calor se denomina calorífica, si es en forma de luz, luminosa y si es en forma de electricidad, eléctrica.

Hay muchos tipos de energía, pero podemos destacar la solar, la atómica o nuclear, la hidráulica, la química, la eléctrica, la biomásica, la eólica, la mecánica y la térmica.

Los tipos de energía se suelen clasificar en función a su fuente, en especial si su fuente es agotable (no renovable) o no agotable (renovable).

1.1.1 Fuentes de energía no renovable

Las energías no renovables son aquellos que no se reponen al ritmo que se consumen, podemos encontrar:

- I. Combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural)
- II. Nuclear (fission y fusion nuclear).

1.1.2 Fuentes de energía renovable

Las energías renovables son aquellos que no se agotan aunque se utilicen:

- I. Mareomotriz (mares)
- II. Hidráulica (embalses)
- III. Eólica (viento)
- IV. Geotermal (tierra)
- V. Solar (sol)
- VI. Biomasa (vegetación)

1.1.3 Propiedades de la energía renovable

- I. Son recursos que se encuentran muy distribuidos en todo el planeta, lo que permite una dependencia energética.
- II. Generalmente son tecnologías modulares con cortos periodos de construcción, permitiendo la instalación en múltiples emplazamiento.
- III. El proceso tecnológico involucrado es relativamente sencillo, siendo interesante para los países en desarrollo.
- IV. Las máquinas para extraer la energía son fáciles a construir e instalar.
- V. El impacto ambiental es muy bajo.
- VI. Es un recurso inagotable.

Por energía sostenible se entiende la energía producida y utilizada de forma que sustente el desarrollo humano en todas sus dimensiones sociales, económicas y medioambientales. El objetivo de tal sistema es satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

1.2 LA BIOMASA

La biomasa es la cuarta fuente de energía más grande en el mundo¹. Se conoce como biomasa energética al conjunto de materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural (fotosíntesis) o artificial de uso no alimentario. Se pueden clasificarse según su origen en:

Natural: Es la generada en cualquier ecosistema natural sin manipulación humana. Esta fuente no debería explotarse a causa del deterioro ambiental, no obstante constituye un recurso de importancia para países en desarrollo.

Residual: Se genera como resultado de la actividad humana. En este grupo se incluye:

¹Sokhansanj, S., &Turhollow, A. (2004).*Biomass densification-Cubing operation and cost for corn stower.*

- I. Residuos agrícolas y forestales. Contempla los residuos de la actividad agrícola y forestal (hojas, cáscaras, etc.) y de la propia industria forestal (madera, corcho, papel)
- II. Residuos biodegradables de industrias agro-ganaderas y agroalimentarias y también los procedentes de la actividad urbana.
- III. Cultivos energéticos, dedicados a la producción de biomasa con fines no alimentarios.
- IV. Excedentes de cosechas agrícolas: Al resultar excedentes no tienen un destino alimentario, y son susceptibles de usarse como biomasa residual agrícola.
- V. Los mayores por cientos de la biomasa empleada son de origen vegetal. La biomasa vegetal está constituida mayoritariamente por hidratos de carbono, principalmente en forma de compuestos lignocelulósicos, donde predominan las celulosas (hemicelulosa y holocelulosa) y la lignina.

En el mundo los pueblos habían utilizado y sigue utilizando estufas de leña para calentar edificios y para cocinar-convirtiendo la biomasa en una de las más comunes formas de la energía.

Según el informe del banco mundial 50-60% de la energía en los países desarrollados en Asia, y 70-90% de la energía de los países en el proceso de desarrollo en África sacan sus energías de la madera o la biomasa, y la mitad del mundo cocina con madera. Hoy, la biomasa suministra 14% de la energía primaria en el mundo-equivalente a 1000 millón de toneladas de petróleo cada año. Un ejemplo de la cantidad de biomasa utilizada para generar energía en algunas países, tenemos; Kenia 75%, India 50%, China 33%, Brasil 25%, Finlandés 18 %, Irlanda 16 %, Suecia 9% y los Estados Unidos 3%. El gasto mundial en el área de la biomasa es más que U.S\$2 billones/año². Según las estadísticas 2 400 millones de personas dependen de la biomasa para su supervivencia y 1 400 millones de personas están cada día más alejados de los avances tecnológicos³.

²Bhattacharya, S (n.d.). *Biomass energy and densification: A Global Review with Emphasis on Developing Countries Energy Program*. Asian Institute of Technology

³The importance for international bioenergy trade. (2007). (p. 4,14,21). Presented at the IEA Bio-energy Task 40, European Biomass Conference & Exhibition in Berlin, Germany.

1.2.1 Tipos de residuos biomásicos susceptibles de ser briquetas

Anteriormente se hizo una clasificación de la biomasa con respecto a su origen, explicando que la densificación está reservada para aquella de origen vegetal o fitomasa tanto desde el punto de vista de la viabilidad económica como técnica. Las características que debe reunir una materia prima, en general, adecuada para ser densificada son:

- I. Bajo contenido de ceniza.
- II. Bajo contenido de humedad.
- III. Fácil de fluidizarse.
- IV. Bajo costo de recoger y transportar la materia prima.

1.2.2 Formas de extraer la energía de la biomasa⁴

La biomasa está constituida por los elementos carbono, hidrogeno, oxígeno en un gran porcentaje- también tiene en minoridad nitrógeno y azufre.

Hay muchas formas para extraer esta energía química en estos compuestos.

1. Combustión directa- quemando la materia prima utilizando calor directo. Esto es la tecnología más sencilla y puede ser lo más económico si la fuente está cercana.
2. Pirolisis- es la degradación termal de la biomasa en la ausencia del oxígeno. La biomasa esta calentada a una temperatura entre 800-1400°F sin la presencia de oxigeno resultando en la creación de gas, combustible, y carbón.
3. Digestión anaeróbica- es un proceso donde se utiliza la materia orgánica para producir metano (el mayor componente del gas natural), y dióxido de carbono.
4. Gasificación- un proceso utilizado para producir metano a través de calor y digestión anaeróbica.
5. Fermentación de alcohol- fuel alcohol puede ser producido por conversión de fécula a azúcar, después el azúcar a alcohol, después separando el alcohol por método de destilación. Pajas de trigo, cebada, las papas, etc. que contiene azúcar, fécula o celuloso puede ser convertido en alcohol por fermentación con levadura.
6. Gas natural- puede ser generado por la descomposición (digestión anaeróbica) de subterráneo materia orgánica.

⁴Patomsok, W. (n.d.). *Physical Characteristics of Maize Cob Briquette under Moderate Die Pressure* Mechanical Engineering Department. Engineering Faculty, NaresuanUniversity, Phitsanulok 65000, Thailand.

7. Cogeneración es la producción simultáneamente de más que una forma de la energía. Cogeneración de la biomasa tiene más potencial que solo la biomasa generación porque se produce calor y electricidad.

1.2.3 Aplicaciones de la biomasa

El rango de uso de la biomasa es desde estufas para cocinar en las casas hasta estaciones para producir electricidad. En aplicaciones residenciales la biomasa puede ser utilizada por calentamiento de hogares y/o cocinando. Las industrias utilizan la biomasa por calentamiento de lugares, calentamiento del agua, generación de electricidad, etc.

Había pronosticado que en el año presente (2010), los beneficios de la biomasa se van a triplicar⁵.

1.2.4 La biomasa y el medio ambiente

La biomasa absorbe el dióxido de carbono durante su crecimiento, y lo cede durante la combustión, por lo tanto, se recicla el dióxido de carbono en el atmosfera y no añade al efecto invernadero. También no se contribuye a la lluvia acida porque durante su combustión se produce un bajo valor de azufre, nitrógeno y ceniza.

1.2.5 Pronostico del uso de la biomasa⁶

El futuro de la energía biomasa será caracterizado por el desarrollo de los organismos ambientales y la utilización de máquinas especiales. Algunos de los usuarios de la biomasa tradicional cambiaran a la energía comercial, particularmente en el área de cocinar. Sin embargo, el cambio climático y otros factores del medio ambiente van a promocionar el uso de la biomasa. La consumación mundial de energía en el año 2000 era alrededor de 370 EJ., se ha pronosticado que en el año 2050 el uso de la biomasa llegara a 328 EJ. Para el año 2025 se cuenta que la biomasa generara aproximadamente 145 EJ. de la energía en el mundo.

⁵ Reed, G. J. (1979). *Biomass densification energy requirements*. Washington D.C.

⁶Bhattacharya, S. Augustus Leon, M., & Rahman, M. (2004). *A Study on Improved Biomass Briquetting*. Energy Program, School of Environment, Resources and Development. Asian Institute of Technology.

1.3 LA BRIQUETA

I. Definición

Los productos densificados reciben diferentes denominaciones según su forma y dimensiones: gránulos, pellets, briquetas, astillas o leños. Si el producto obtenido al final de un proceso de compactación tiene dimensiones superiores a 30 mm se le denomina briketa. Los pellets son las que tiene diámetro entre 6 - 8 mm y longitud entre 10 – 12 ms.

II. Ventajas del uso de las briquetas

La producción de las briquetas presenta numerosas ventajas técnicas y socio-económicas, entre las cuales se encuentran las siguientes:

1.3.1 Técnicas:

Homogeniza la biomasa, haciéndola susceptible de ser empleada en transformaciones termoquímicas (combustión, gasificación, carbonización), que son sensibles a las variaciones de las características del combustible.

La materia densificada permite reducir los volúmenes de almacenamiento y facilitar las manipulaciones y el transporte.

Durante el período de almacenamiento, los desechos húmedos y amontonados ocasionan una oxidación lenta que modifica sensiblemente la distribución molecular de ciertas sustancias orgánicas, lo que disminuye fuertemente el valor calórico inferior. Al cabo de un cierto tiempo, una solidificación del conjunto de la masa acarrea enormes dificultades para su manipulación. La tecnología de extracción necesaria para estos grandes volúmenes, representa en ciertos casos el 50% de la inversión. La densificación evita estos problemas.

Además, si bien no es propia de este proceso, el secado del material, previo a la densificación, le confiere a los productos densificados mayor valor energético, mejorando su valor calórico.

1.3.2 Socio-económicas:

Las ventajas del uso de la briketa incluyen:

- I. Permite comercializar residuos vegetales, generalmente carentes de valor en estado bruto.
- II. Reduce los costos en el transporte.

- III. Los residuos lignocelulósicos, difícilmente valorizados en las transformaciones termoquímicas a causa de su granulometría y humedad inadecuada, pueden transformarse en un combustible que puede sustituir la madera o el carbón vegetal sin modificar sustancialmente las costumbres de los pueblos de los países en desarrollo.
- IV. Favorece el desarrollo de las comunidades o actividades artesanales.
- V. La valorización de residuos puede contribuir a reducir la deforestación.

1.3.3 Uso de las briquetas⁷

I. Países en desarrollo

En general las briquetas son más caras que la madera en los países desarrollados. Por ejemplo, en Katmandú, el capital de Nepal el precio por un kilogramo de briqueta es tres veces mayor que la madera.

Sin embargo las briquetas siguen ventajosas por las siguientes calidades:

- a. Constante suministro del producto: Una pacto de confianza puede ser establecido entre el fabricante y el consumidor. Un ejemplo típico de esta tipo son las briquetas utilizadas en la venta de té para los turistas en Nepal.
- b. Una coherente calidad de combustible: La alternativa más común a las briquetas es la madera desecha. Sin embargo la forma y tamaño; también el contenido de la humedad son variables que afecta la precesión de la combustión.
- c. Amistoso al ambiente: Es un combustible que tiene cero contribuciones al efecto invernadero.
- d. Alta calidad: Las briquetas son superior a las otras biomاسas especialmente la madera. Mientras que la madera puede necesitar más preparación por ejemplo, secar, reducción del tamaño, etc.; la biomasa puede ser introducida directamente en el proceso de combustión.
- e. Bajo precio: La materia prima en algunos casos es gratis, y la tecnología de densificación hace que las briquetas sean un combustible más preferido. En lugares donde el carbón es más caro por razón del precio de transportación, los consumidores prefieren la briqueta.

⁷ S. Sokhansanj, A. F. Turhollow. Biomass densification-Cubing operation and cost for corn stower.2004.p.1

ii. Países desarrollados

El rango de uso de la briqueta es desde estufas para cocinar en las casas hasta estaciones para producir electricidad. En usos residenciales la biomasa puede ser utilizada por calentamiento de hogares y/o cocinando. Las industrias utilizan la biomasa por calentamiento de lugares, calentamiento del agua, generación de electricidad, etc.

1.3.4 La densificación de la biomasa para producir briqueta

El proceso de densificación consiste en reducir el volumen de la biomasa por incremento de presión, para obtener un producto compacto y resistente, que lo haga más fácil de manipular y abastecer que el material original. La materia prima empleada debe ser lignocelulósicas, pues presentan las siguientes ventajas:

- I. La lignina, bajo la acción de las altas temperaturas, actúa como aglomerante en la obtención de un producto densificado compacto, otorgando un valor añadido al residuo.
- II. Evita la contaminación por materia orgánica de suelos y aguas.
- III. Su uso como biomasa contribuye a la prevención de incendios.
- IV. Elimina las emisiones de SO_2 durante la combustión.
- V. No incrementa el efecto invernadero.
- VI. Genera nuevos puestos de trabajo.
- VII. Disminuye la dependencia energética.
- VIII. Convierte los gastos que se producían por eliminación de desperdicios (por ejemplo, recogida, transporte, incineración, vertido) en ingresos, por cuanto al adquirir un nuevo valor de uso adquiere un valor económico.

1.3.4.1 La ciencia de la densificación

El término densificación está reservado a la transformación física de residuos vegetales en un combustible sólido sin adición de aglomerantes (en caso contrario se denomina aglomeración). Implica el uso de alguna forma de presión mecánica para reducir su volumen y facilitar su manejo, transportación y almacenaje.

La biomasa en su forma original tiene una densidad aproximadamente igual a 30 kg/m^3 con humedad entre 10% y 70 % por una unidad volumen. La densificación es un proceso que se desarrolla fundamentalmente en dos fases. Inicialmente al

aplicarle presión ($2-51\text{kg/cm}^2$), el material reduce su volumen, eliminándose el aire existente en los vacíos inter partículas. Posteriormente, al continuar aumentando la presión (hasta 1750kg/cm^2), el elemento que actúa de cimentador, en este caso la lignina, se reblandece acoplándose entre sí las partículas y reduciendo los espacios libres. En este estado, la lignina, acentúa sus propiedades aglutinantes, permitiendo que, al cesar la presión, el nuevo producto permanezca compacto⁸.

En general durante la primera compactación las partículas reordenan su configuración para formar una masa masiva. Las partículas retienen la mayoría de sus propiedades originales, aunque la energía está distribuida a través de las fuerzas inter-atómicas e intermoleculares. Cuando se aumenta la presión de densificación las partículas están forzadas en dirección contraria de la fuerza y se deforman elásticamente y plásticamente. El aumento del contacto entre las partículas desarrollan fuerzas de enlace como van der Waal. A presiones altas los poros de las partículas se rompen hasta que la densidad de la masa logra su mayor densidad máxima real. Si el punto de fundición de la sustancia que forma una mezcla eutéctica es favorable, el calor generado al punto de contacto puede favorecer la fundición de la materia prima. Cuando se enfría la materia fundida se forma puentes-sólidos muy fuertes. La biomasa lignocelulósica contiene componentes como celulosa, hemicelulosa, proteínas, lignina, fibras y ceniza. Entre estos componentes químicos la lignina tiene un bajo punto de ebullición de 140°C . Cuando la biomasa está calentada el lignina se convierte en un material aglomerante y aglutinante.

1.3.4.2 Modelos matemáticos de la densificación

Las propiedades de mayor influencia en la densificación de la biomasa son las características mecánicas de las partículas sólidas. El mecanismo de densificación de materiales diferentes es distinto para cada cual. En el estudio se representan dos ecuaciones fundamentales para la densificación, la de BIP Fundora y la de S. Sokhansanj. Se analiza el trabajo del científico anterior por razón de su valor científico en términos de su experimental exactitud.

⁸ Barriendo, E. (2000). *Dispositivo para producir briquetas cilíndricas tubulares de paja de caña de diferentes dimensiones*. Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos.

1.3.4.3 La ecuación de densificación⁹

El procedimiento de densificación se considera en cuatro etapas:

- I. La primera etapa consiste en expulsar el aire presente entre las partículas para provocar el contacto.
- II. La segunda etapa es la fase principal de compresión, en la que se forma la briqueta.
- III. Durante la tercera etapa, la briqueta se mantiene un cierto tiempo bajo la acción de la presión y el calor. En este momento se operan las deformaciones de la materia en función de la duración y de la temperatura.
- IV. La última etapa es la de expulsión de la briqueta.

Fundora, P utilizó un modelo matemático-exponencial, que satisface adecuadamente los requerimientos de la tendencia experimental y que puede ser extrapolado para valores de los parámetros fundamentales, fuera del rango experimentado, ya que se adapta al comportamiento físico de la sustancia analizada (paja de caña sin preparación previa), y toma en cuenta la influencia e interacción de otros parámetros de la sustancia y del proceso de densificación respectivamente.

La formulación del modelo teórico propuesto.

$$\rho = a - b \cdot e^{-c \cdot P} \dots \dots \dots (kg/m^3) \quad (1.1)$$

Dónde:

a Representa la densidad límite (ρ_1), en kg/m^3 , cuando la presión sobre la biomasa tiende a un valor muy elevado.

b Rrepresenta el rango de densidades que puede alcanzar la biomasa sometida a presión (kg/m^3). $b = \rho_1 - \rho_0$ Siendo: ρ_1 densidad (kg/m^3) para una presión que tiende al infinito.

ρ_0 Densidad inicial de la biomasa natural (kg/m^3)

c Es una constante dimensional, que toma en consideración el material y su estado, así como las condiciones iniciales y finales del proceso de densificación. Su valor influye en la forma de la característica de la densidad-presión, acercándola o no a la forma del modelo experimental.

$$c = \frac{k_0 - \rho_0}{\rho_1 - \rho_0} \dots \dots \dots MPa^{-1} \quad (1.2)$$

⁹Peraza, L., & Pascual, N. (1994). *Modelo físico-matemático para la compactación de la paja de caña*. Universidad de Cienfuegos.

K_0 ... Constante de compresibilidad para $P = 0$ (comienzo de la respuesta elástica de la biomasa) MPa^{-1}

Como puede observarse, es un modelo formado por dos funciones matemáticas: $Y_1 = a; Y_2 = b \cdot e^{-c \cdot P}$; que al sumarse algebraicamente, producen una función con semejante tendencia que la función experimental. Sin embargo, es una función aproximada. La exactitud queda determinada por un proceso matemático de regresión lineal del modelo teórico exponencial lineal izado que tiene como objetivo fundamental, determinar los valores de las constantes dimensionales a, b, c se materializa, buscando el valor de la constante a , que mejores índices estadísticos proporcione, considerando la densidad correspondiente a cada presión analizada, así como los valores de ésta.

1.3.4.4 Compresibilidad (K)¹⁰

$$K = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dP} \quad (1.3)$$

Sabemos:

$$\rho = a - b \cdot e^{-c \cdot P}$$

Así que:

$$\frac{d\rho}{dP} = b \cdot c \cdot e^{-c \cdot P} \quad (1.4)$$

Por lo que:

$$K = \frac{b \cdot c \cdot e^{-c \cdot P}}{a - b \cdot e^{-c \cdot P}} \dots \dots \dots MPa^{-1} \quad (1.5)$$

$$\text{Cuando } P = 0 \Rightarrow K_0 = \frac{b \cdot c}{a - b} \dots \dots \dots MPa^{-1}$$

El módulo de elasticidad (E):

$$E = \frac{1}{K} \dots \dots \dots (MPa) \quad (1.6)$$

Linealizando el modelo teórico, tenemos:

$$\ln(a - \rho) = \ln(b) - c \cdot P \quad (1.7)$$

O sea una función del tipo:

$$y = A + bx ; \text{ Donde } y = \ln(a - \rho) ; A = \ln b ; B = -c ; x = P$$

Considerando:

¹⁰Dr. Fundora Beltrán, P. (2002). *Estudio de la densificación de la paja de caña sin preparación previa con tecnología hidráulica para el perfeccionamiento de su proceso tecnológico*. Tesis. Para optar para el grado científico de Máster en Ciencias Técnicas. Cienfuegos, Universidad de Cienfuegos.

$a = \rho_1 = 1\,750\text{ kg/m}^3$ para diferentes presiones (P) en los diferentes estados de la biomasa, se obtiene un modelo que satisface de forma general, cualquier requerimiento de la biomasa.

1.4 TECNOLOGÍA DE DENSIFICACIÓN MÁS USADO EN EL MUNDO Y SUS POTENCIALES DE PRODUCCIÓN¹¹

Los dos tipos comunes de máquinas briqueteadoras que se encuentran funcionando en los países desarrollados son de husillo sin fin y prensa de pistón. Los tornillos sin fin fueron inventados en Japón y el Estados Unidos en el año 40. Se ha extendido a países como Corea, China, Taiwán, Vietnam, Tailandia, Filipinas, Bangladesh, etc. La prensa de pistón es popular en países como Brasil, India y África. Mientras que estas máquinas están construidas en Brasil e India, en África están importada.

1.4.1 Algunos países que emplean el uso de máquinasbriqueteadoras

China: La tecnología de densificación de tornillo sin fin es muy maduro en China, mientras que el uso de prensas de pistón esta en desarrollo. La capacidad de las máquinas de tornillos está entre 100-120 *kg/h*. Las materias primas más comunes son cascara de arroz, paja de arroz, aserrín de madera y residuos agrícolas. Casi la mitad de las briquetas producidas están utilizadas como combustibles para las calderas.

India: Casi 70 máquinasbriqueteadoras fueron instaladas en el año 1995; desde aquel tiempo el uso de la briqueta ha aumentado. Las maquinas comunes son los tornillos sin fin y las prensas de pistón. Tiene aproximadamente 150 máquinas de tornillo instalados con una capacidad entre 400-2000 *kg/h* y alrededor de 60 maquinas de prensas. En Rajastyan hay tres plantas con una capacidad combinada de 45 000 toneladas al año. En este momento se están construyendo 14 fábricas con una capacidad combinada de 200 000 toneladas al año.

Myanmar: Al principio del año 1990 había solo uno fabricante que diseño una máquina de 10 hp. Antes de 1995 el vendió 10 de sus máquinas.

Nepal: En el año 1982 se instaló una planta con una capacidad de 90 *t/año*. En el año 1984 se instaló 2 plantas mas con capacidad de 1 200 y 1 400 *t/año* respectivamente.

¹¹ExecutiveCommittee of IEA Bioenergy. (n.d.).

Tailandia: Tiene un total de 44 máquinas con una capacidad de 100 *kg/hr*, 9 de ellos densifican cascara de arroz, 7 densifican aserrín y los demás funcionan con otras materias orgánicas.

África: Hay un gran interés en la producción de briquetas en África. Existen plantas de producción másica en Etiopia, Kenia, Malawi, Uganda, Sudan, Zambia y Zimbabue. Algunos países como Camerón, Eritrea, Ghana, Ruanda, Senegal y Tanzania tienen plantas pero no son de producción másica.

ABC Hansen, una compañía de Demarque tiene diez y nueve plantas en los países africanos, por ejemplo; Burkina Faso (1), Eritrea (1), Gambia (1), Ghana (1), Kenia (2), Nigeria (1), Ruanda (1), Sudan (4) y Zambia y Zimbabue.

Brasil: En Sao Paulo, Brasil se consume más que treinta mil toneladas de briquetas mensualmente. En el año 2002, la producción anual de briquetas estaba por encima de un millón de toneladas.

En el norte América (Estados Unidos y Canadá) y Suecia se producen seis ciento ochenta mil y cuatro ciento setenta mil toneladas de pellets de aserrín anualmente. Además Suecia importa más que 1 millón de toneladas de briquetas anualmente. Estados Unidos tiene más que 60 empresas que producen briquetas. En el año 2002 la estimada producción en Austria, Demarque y Noruega estaba cuarenta uno mil, ciento cincuenta mil y veinte mil toneladas respectivamente. En Finlandia se producen más que noventa mil toneladas de briquetas anualmente.

1.4.2 Característica de la tecnología de densificación más utilizados¹²

Las máquinas para densificar las biomásas están clasificados por su mecanismo principal de compresión. Hasta ahora, se han diversificado entre tres grupos; prensas, husillo y de émbolos.

1.4.2.1 Briqueteadora mecánica de prensa

Fueron las primeras máquinas utilizadas en el proceso de densificación, activadas anteriormente por máquinas de vapor. Un embolo se encarga a llevar la biomasa al tubo de alimentación donde un mecanismo de biela manivela realiza el trabajo de compactación. Las briquetas producidas eran generalmente másicas con una densidad entre 1 000- 1 204 *kg/cm³*. Se puede destacar que el diámetro de la

¹² Granada Álvarez, E. (1999). *Estudio de la influencia de los parámetros humedad, temperatura y presión en el proceso de densificación, mediante auto-aglomeración, de biomasa ligneocelulósica residual*. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y Minas. Universidad de Vigo (España).

briqueta que se produce, determina el gasto energético. Son las maquinas mas difundidas después el husillo.

1.4.2.2 Briqueteadora mecánica de husillo

Realiza su función al movimiento continuo de un husillo cilíndrico o cónico con un conducto de similares características, que en su extremo dispone de unas o varias salidas calibradas. Por la elevada fricción entre la superficie del husillo y la biomasa además de su interacción con el cuerpo, se generan temperaturas que alcanzan los 250-300 °C, por lo cual requiere de enfriamiento a la salida, para la garantía de la estabilidad de la briqueta producida.

Como exigencia para el adecuado funcionamiento de esta tecnología es requisito indispensable:

- I. La granulometría de la biomasa no debe superar los 10 ms.
- II. La humedad nunca debe superar el 15 %; comúnmente entre 8-15%.

Estas condiciones garantizan que la biomasa fluya como una sustancia plástica y pueda ser sometida a pasar por diferentes calibres o alrededor de un dado cilíndrico, para formar una briqueta tubular. Los niveles de presión, superan los 150 Mpa y las densidades pueden oscilar entre 1200-1400 kg/cm^3 .. Estas maquinas son productivas pero el gasto de energía puede alcanzar entre 50-70 kWh/T .

1.4.2.3 Briqueteadoras hidráulicas de émbolos

Son las máquinas que ocupan el espacio dejado por las máquinas de husillo y la mecánica de émbolo. La forma de producir la briqueta las hace comparables a las mecánicas de émbolo; pero el modo gradual y sin golpes de funcionamiento, las acerca a las máquinas de husillo. Además, en muchas cualidades supera a una y a otras, al tener la capacidad de asimilar biomasa de disímiles cualidades, con elevada granulometría y humedad que puede llegar hasta 28 %. Sus consumos energéticos son muy inferiores a las anteriormente analizadas. Las recomiendan para usos tales como: reducir volúmenes en la transportación de residuos y para usos comparables con las otras tecnologías.

1.4.3 Análisis comparativo de las diferentes tecnologías de densificación¹³

La siguiente tabla demuestra las ventajas y desventajas de las distintas tecnologías de densificación. Se analiza las diferentes maquinas briqueteadoras en el mundo desde un punto de vista de fiabilidad, económica y su contribución tecnológica.

Tab.1 Comparación entre diferentes tipos de briqueteadoras

Hidráulica	Mecánica de émbolo	Mecánica de husillo
Gasto bajo de energía depende de la presión del sistema hidráulico (20-30 kW/t).	Gasto elevado de energía, que crece con el incremento de la sección transversal de la briqueta (35-45 kW/t)	Posee un muy elevado gasto de energía (50-75 kW/t).
Son máquinas flexibles por lo que se adaptan a variaciones de la biomasa. Aceptan cualquier granulometría y humedades hasta 28 %.	Las características de la biomasa, la granulometría y la humedad son factores que deben ser muy controlados, pues no aceptan cualquier biomasa. La granulometría es la recomendada por el fabricante, y la humedad no debe superar el 15 %.	Admiten granulometría hasta 80 mm, humedad entre el 15 al 17 %. Son menos sensibles al tipo de biomasa, aunque al usar biomasa que no son las que el fabricante propone, puede provocar acelerado deterioro de las partes de la máquina. Sin embargo, para estos casos se propone el precalentamiento entre 110-140°C.
Las tecnologías que se comercializan actualmente, resultan relativamente costosas (180-350 USD/(kg/h)	Son máquinas cuyo costo es inferior a los precedentes pero varía según la capacidad de producción. Oscila entre 80-180 USD/(kg/h)	Los índices de costos son los menores de todas las tecnologías analizadas (50-100 USD/ (kg/h). Sin embargo, los costos de mantenimiento y reparación de las partes fundamentales son muy elevados.

¹³Ing. Dwight Abu, P. (2008). *Metodología del diseño de una maquina briqueteadora flexible multipropósito*. Trabajo de diploma, Universidad de Cienfuegos.

Producen briquetas de media densidad y baja calidad, macizas, con dimensiones promedios de 40-140 mm de diámetro y densidades de 600-1100 kg/m ³ . Su durabilidad es alta.	Las briquetas presentan adecuada calidad, sus dimensiones son de 40-140 mm de diámetro y longitudes entre 100-250 mm. La durabilidad de las briquetas en presencia de humedad alta, es de horas. Densidad 1000-1200 kg/m ³ .	Briquetas de muy alta calidad, lisas y sin poros con densidades entre 1400-1500 kg/m ³ y dimensiones entre 40-110 mm de diámetro con longitudes de 110-300 mm. Son menos sensibles a los cambios de humedad que los casos anteriores.
Se pueden producir múltiples briquetas de forma simultánea.	Solamente se produce una briqueta por cada carrera del émbolo.	Se pueden producir múltiples briquetas de forma simultánea.

1.4.4 Maquinas briqueteadoras en Cuba¹⁴

Los siguientes trabajos fueron desarrollados dentro la Universidad de Cienfuegos. Algunas de las maquinas ya fueron construidas y están en uso.

BHPF-500

La briqueteadora hidráulica de tres etapas de densificación desarrollada en la base de reparación de buques B.R.B, con marca BHPF-500 y capacidad de 500kg/h, produce briquetas macizas de 200 mm de diámetro y longitud entre 200-400 mm, densidades entre 350-750 kg/cm³, con paja de caña entera (200-400 mm), y humedades hasta 22%. La máquina fue el primer prototipo que dio lugar al desarrollo de nuevas versiones. Sus principales limitaciones estaban en su rigidez y la imposibilidad de producir briquetas de dimensiones inferiores a las planteadas. Costo de fabricación de 8 560 USD.

BHPF-700

La briqueteadora Hidráulica BHPF-700, que surgió como resultado del estudio del prototipo anterior y se transfirió como tecnología a la provincia de las Tunas, en la esfera de pan y dulce. Sus características eran muy parecidas al prototipo precedente, con una capacidad de producción ligeramente superior y similar costo de fabricación.

BHPFB-1000

¹⁴Sánchez, Y. (2001). *Diseño de briqueteadora Multipropósito para producir briquetas macizas y tubulares de paja de caña*. Trabajo de diploma, Universidad de Cienfuegos.

La briquetadora hidráulica BHPFB-1000, con características multipropósito de tres etapas. La primera y segunda etapas como unidad ensamblada independiente constituyó la principal novedad de esta máquina, con la cual se garantizaba una preparación o pre-compactación indirecta de la paja de caña para un mayor incremento de su capacidad. Los niveles de rigidez y resistencia fueron superiores a sus versiones precedentes. También la disposición de un carro briqueteador externo en la tercera etapa de densificación, con posibilidades de intercambio de las dimensiones del vástago y de los tubos del briqueteado, amplió las posibilidades de esta máquina. Capacidad máxima de producción 1 000 *kg/h*, costo de fabricación 12 372.63 USD.

BHPF-300E.

Se diseñó la versión BHPF-300E para capacidades de 300 *kg/h*, con posibilidad de intercambio de los vástagos y tubos de briqueteado, con dos etapas de alimentación. Una primera etapa que accionaba directamente sobre una sección axial del tubo del briqueteado y un sistema de cuchillas cortaban la paja que sobresalía de dicha sección y una segunda etapa, constituida por un carro briqueteador con vástago saliente, encargado de la compactación final de la briqueta formada y su desplazamiento (expulsión) en el tubo de briqueteado. La máquina tiene la posibilidad de producir briquetas cilíndricas macizas de diferentes diámetros, gracias a la intercambiabilidad de los tubos y vástagos. Capacidad máxima de producción: 300 *kg/h*, costo de fabricación 5 783,75 USD.

BHFM-2000¹⁵

La briquetadora hidra-mecánica de elevada capacidad con el aprovechamiento de las dos carreras de un cilindro de doble vástago (BHFM-2000) ^[12]. De igual potencialidad hidráulica que la BHPF-1000; pero aprovechando la doble carrera de los cilindros. La primera etapa era accionada por un mecanismo de palanca que funcionaba con el cilindro hidráulico de la segunda etapa. En la última etapa disponía de dos cilindros de doble vástagos conectados en paralelo, de una carrera de 1000 mm y un diámetro interior de 140 mm. La opción fundamental era producir

¹⁵Díaz Torres, J., & Bravo Nunez, J. (1997). *Diseño de la maquina empacadora briquetadora hidráulica de paja de caña*. Trabajo de diploma .

la briqueta de diámetro de 200 mm, aunque permitía otras dimensiones (briquetas macizas). Los niveles de densidad de este tipo de briqueta superaban los 800 kg/m³ y con pequeños calibres se podía alcanzar densidades cercanas a 1100 kg/cm³. Capacidad máxima de producción: 2000 kg/h, costo de fabricación: 17 351.65 USD.

BHPFB-4000

La briqueteadora empacadora BHPFB-4000, con capacidad para 4000 kg/h, de sección cuadrada de 400 mm de lado y con posibilidad de convertirse en briqueteadora multipropósito para otros calibres de tubos. El esquema de esta máquina tenía bastante semejanza con la BHPF-1000, con la diferencia de que se necesitaban dos motores de igual capacidad que la anterior y dos sistemas hidráulicos para garantizar su elevada productividad. Se utilizaron dos alimentadores independientes que funcionaban de forma alterna, para garantizar el aprovechamiento de la doble carrera de los cilindros hidráulicos de la última etapa de compactación. Capacidad máxima de producción: 4 000 kg/h, costo de fabricación: 25 793.97 USD.

BHPF-50

Dada la necesidad de estudio del comportamiento de las dimensiones y densidades de la briqueta en la combustión, así como del comportamiento de la paja de caña y otras biomاسas, surgió la necesidad de concebir una briqueteadora hidráulica pequeña BHPF-50 con calibres de tubo de 50 mm de diámetro y un solo cilindro, para la producción de briquetas cilíndricas macizas de paja de caña y otras biomاسas y determinar en condiciones reales, los parámetros del proceso de densificación y magnitudes físicas de las briquetas. La máquina tiene una capacidad máxima de producción: 50 kg/h, y un costo de fabricación: 2 486.54 USD.

BHPFBT-400¹⁶

La briqueteadora hidráulica multipropósito para producir briquetas cilíndricas macizas o tubulares de diferentes dimensiones (BHPFBT-400) de paja de caña y otras biomاسas, por su novedad se encuentra en fase de registro de patentes. Capacidad máxima de producción: 400 kg/h, costo de fabricación: 8 668.65 USD.

Los precios de venta de algunos tipos de briqueteadoras hidráulicas, aportados por los catálogos de la firma Spanex, Alemania año 1995, son los siguientes: Para 50

¹⁶Castex, I. (1992). *Proyecto Constructivo de briqueteadora Hidráulica para paja de caña*. Trabajo de diploma, Universidad de Cienfuegos.

kg/h de capacidad de producción, el precio es de 23 000 USD que es más de 9 veces superior al costo de fabricación de su similar construida en Cuba. Si la capacidad es de 350 *kg/h* el precio correspondiente es de 83 534 USD y si la capacidad es de 1 000 *kg/h* el precio es de 165 000 USD, que equivale a más de 10 veces el costo de fabricación de su similar en Cuba.

1.5 TEORÍA DEL DISEÑO¹⁷

1.5.1 Criterios del diseño

- I. Diseñar una máquina capaz de ser flexible desde el punto de vista de sus posibilidades, como de la disponibilidad de materiales.
- II. Brindar facilidad en el montaje y desmontaje.
- III. Construir una maquina invariable y lograr intercambiabilidad con las herramientas vinculadas al proceso de compactación.
- IV. Bajo costo de fabricación y posibilidad de mejorar los índices de costo, al utilizar todos los cilíndricos hidráulicos.
- V. Apta para ser usada en cualquier tipo de biomasa con humedad entre 2-16%.
- VI. Posibilidad de aceptar determinadas magnitudes de desgaste de las herramientas para la densificación, sin afectaciones sensibles en la calidad de la briqueta.

1.5.2 Defensa del diseño de una briqueteadora multitubular

Los análisis de las diferentes tecnologías de densificación y sus ventajas, costos, gastos energéticos, posibilidades de densificar biomاسas y los antecedentes en el diseño, nos preparan para desarrollar otra tecnología; las briqueteadoras hidráulicas multitubulares.

La presión del sistema hidráulico de las tecnologías de este tipo, no depende de la sección transversal de la briqueta producida. El gasto de la energía depende de la presión y el flujo de sistema hidráulico. Las maquinas hidráulicas de este tipo, permiten garantizar más estabilidad de la briqueta producida, y resuelve los problemas de las maquinas predecesores. Como es de suponer la profundización del estudio de esta nueva innovación, puede dar la respuesta definitiva a las máquinas de densificación.

¹⁷Reshetov, D. (1990a). *Elementos de Máquinas* (Empresa Nacional de Producción del Ministerio de Educación Superior).

1.5.3 Generalidades sobre el diseño de máquinas¹⁸

El diseño es un proceso de creación de las máquinas en forma de documentos (generalmente, dibujos) que se lleva a cabo de base de cálculos teóricos, prácticas de construcción, tecnología y de explotación, así como también de experiencias. El diseño lleva muchas versiones. En caso general, la óptima es tal versión que permite obtener los índices necesarios de trabajo con un gasto mínimo de trabajo social.

El diseño de máquinas se realiza por fases, lo que permite controlar y aprobar los proyectos en diferentes etapas de elaboración. En las fases principales del diseño de máquinas se elaboran los documentos que siguen:

- I. Especificaciones técnicas: Se hacen para un proyecto de máquinas que entran en la nomenclatura principal de las máquinas de fabricación en serie y en masa.
- II. Anteproyecto: Comprende el desarrollo en croquis de las vistas generales de los conjuntos principales.
- III. Proyecto de contrato: Comprende las vistas generales definitivamente desarrolladas de la máquina y de sus conjuntos, lista para el despiece.
- IV. Proyecto de ejecución: Es un conjunto de vistas generales, dibujos de taller de las piezas, especificaciones y otros documentos, suficiente para la fabricación de la máquina.

Al terminar el diseño es necesario preocuparse por la estética técnica. Entre los conceptos de belleza, desde el punto de vista ingenieril, y de racionalidad estructural. Las estructuras racionales parecen bellas y las bellas resultan racionales.

1.5.4 Cálculo de las piezas de las maquinas durante el diseño

A fin de determinar preliminarmente las medidas de las piezas se emplean los cálculos convencionales simplificados. Las piezas de máquinas tienen que satisfacer la condición de fiabilidad-conservando sus índices de explotación y debe tener el costo mínimo necesario de producción y de explotación. Por eso es importante utilizar los materiales más adecuados teniendo en cuenta su costo y déficit. Los criterios de cálculo más importante que se toman en consideración en el análisis de las piezas son:

¹⁸Feodosiev, V. (1980). *Resistencia de materiales* (Tercera.). Impreso en la URSS: Mir.

- I. Resistencia mecánica
- II. Rigidez
- III. Resistencia al desgaste
- IV. Resistencia al cambio de la temperatura
- V. Resistencia a las vibraciones.

Como definitivos se emplean los cálculos por criterios de capacidad de trabajo y fiabilidad que reflejan con bastante exactitud los fenómenos físicos que se manifiestan durante el funcionamiento de la máquinas.

En los últimos tiempos, muchos cálculos de las piezas se llevan a cabo con calculadoras y computadoras electrónicas digitales, incluso los cálculos de las piezas a fabricar de acuerdo con programas normalizados, cálculos complejos que son difíciles o imposibles para el cálculo a mano, y confección de tablas de cálculos.

Conclusiones parciales

1. Las máquinas briquetadoras hidráulicas en muchas cualidades supera las otras máquinas de densificación en el mercado comercial, al tener la capacidad de asimilar biomasa de disímiles cualidades, con elevada granulometría, humedad y temperatura. Sus consumos energéticos son muy inferiores y demuestran un alto rendimiento de producción, con la posibilidad de producir las briquetas multitubulares se asegura su competitividad con el resto de la tecnología de densificación.
2. Es importante entender el mecanismo fundamental del proceso de densificación de la biomasa y las variables para lograr eso. Razón que, se da los datos necesarios para diseñar maquinas briquetadoras eficientes y se aumenta la calidad de la producción (de briquetas y maquinas).
3. La biomasa puede suministrar una gran parte de la energía en el mundo, un país, un barrio o un hogar a través de; métodos para dirigir los productos forestales y de las agriculturas, una eficiente producción de máquinas para producir briquetas, una alta calidad de briquetas y un calculado diseño de estufas y calderas.
4. En la literatura no se reporta la existencia de máquinasbriquetadoras hidráulicas para producir briquetas multitubulares aunque existen aplicaciones donde se utilizan dichas briquetas.

CAPITULO II: METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL CARRO DE ALIMENTACIÓN DE LA BRIQUETADORA Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

2.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de cualquier máquina para densificar biomاسas requiere del análisis de diferentes factores que obligatoriamente deben ser tomado en consideración para asegurar, por un lado las exigencias de la producción y por otros la fiabilidad, economía en la explotación y costos de inversión. Los factores que satisfacen las exigencias de la producción están vinculados a la calidad de las briquetas dimensiones, densidad, resistencia mecánica y a la capacidad de producción por unidad de tiempo, en ello es determinante el tipo de biomasa y su estado granulometría, humedad y densidad natural por lo que resulta indispensable un estudio para su caracterización en el proceso de densificación.

Desde hace algunos años, se viene trabajando en el diseño y construcción de máquinas briquetadoras hidráulicas, para lograr briquetas de determinados tipos de biomاسas. En todas ellas se centró el análisis en factores como diseño, funcionabilidad, etc.; pero en ninguno de los casos se hizo un estudio para optimizar los sistemas hidráulicos con que trabajarían estas máquinas, significando estos, alrededor de un 70% del costo final del equipo.

La adecuada selección de los componentes de un sistema hidráulico requiere del conocimiento de la presión necesaria en la aplicación, lo que es igual a la demanda de presión, además del flujo (Q) necesario.

El criterio principal de selección de los componentes hidráulicos de una briquetadora hidráulica, lo determina la presión (p) de trabajo, ya que dependiendo de esta magnitud física, se decide la densidad final de la briqueta, en función de su sección transversal, biomasa utilizada y estado de la misma, lo cual constituye el factor fundamental para caracterizar su calidad.

El segundo criterio en importancia lo determina el flujo (Q) y ello depende de la capacidad de producción de briquetas deseadas, lo que se corresponde con la masa de briquetas producidas en la unidad de tiempo (Kg/h).

2.2 EXPERIMENTO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD NATURAL DE LA BIOMASA.

Título: Experimento para determinar la densidad natural de las biomasas.

Objetivo: Determinar la densidad inicial (natural) de bagazo de caña.

Tipo de biomasa: Bagazo de caña.

Condiciones iniciales de la biomasa: Se encuentra dentro de los parámetros recomendados (humedad, granulometría).

2.3 TÉCNICA OPERATORIA PARA DETERMINAR LA DENSIDAD NATURAL DEL BAGAZO DE CAÑA.

- I. Tomar las dimensiones de la caja.
- II. Colocar la caja sobre la placa que sirve de base.
- III. Introducir la biomasa en la caja sin presionar, hasta que esta alcance la altura H de la caja.
- IV. Tomar un recipiente, pesarlo en la balanza y tomar el valor de su masa (m_1).
- V. Descargar dentro del recipiente la biomasa ocupada en la caja.
- VI. Pesar el recipiente cargado de biomasa, tomar este valor sumario de la masa ($m_t = m_1 + m_2$).
- VII. Determinar la diferencia de peso ($m_2 = m_t - m_1$)
- VIII. Determinar el volumen de la caja $V = B * H * L$ en m^3 .
- IX. Determinar la densidad natural de la biomasa ($\rho = \frac{m}{v}$) en kg/m^3

Dónde:

m_2 Masa de la biomasa en (kg)

v Volumen de la caja en. (m^3)

Instrumento de medición

- I. Balanza digital de precisión (0,1g).

Dispositivo utilizado

- II. Caja pequeña de cartón.

Tab. 2.3 Resultado de la densidad natural (Bagazo de caña)

Muestra	Masa de la biomasa (Bagazo de caña)(kg)	Volumen del tubo m^3	Densidad natural (kg/m^3)
1	0,020	0.000236256	84

2.4 EXPERIMENTO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD EN UN PROCESO UNIAxIAL DE DEFORMACIÓN.

2.4.1 Metodología para el experimento.

Sustancia a densificar: Biomosas (Bagazo de caña con humedades de 12%).

Parámetros a controlar: Presión.

Factores a medir: Densidad

El dispositivo para densificar biomosas (bagazo de caña), se muestra en la figura 2.3

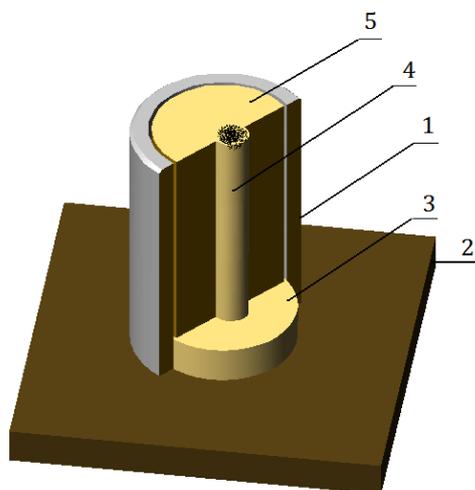


Fig.2.4.1 Dispositivo para densificar biomosas

1. Tubo de diámetro interior (80) mm, espesor 8mm y 120mm de longitud;
- 2-. Placa metálica independiente;
- 3-. Soporte del vástago;
- 4.Vástago;
5. Biomosas (bagazo de caña).

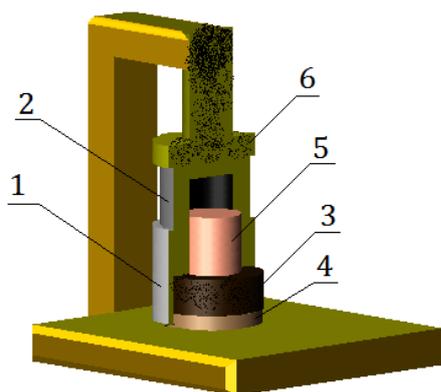


Fig. 2.4.2 Instalación experimental

1. Tubo de densificación de diámetro interior (80) mm y longitud 120
2. Embolo de densificación
3. Bagaza de caña
4. Soporte del vástago
5. Vástago para el conducto de la briqueta
6. Husillo de la prensa

2.4.2 Descripción del experimento

El dispositivo de la figura 2.5, se apoya sobre una placa plana de acero con más 25 mm de espesor, en una prensa hidráulica universal de un solo montante (figura 2.5) con regulador de la presión y con émbolo tubular(4) colocado sobre la biomasa (3) y guiado por el vástago (5) que en su parte inferior presenta la dimensión deseada del conducto de la briqueta en una longitud que se corresponde aproximadamente con la posible longitud de la briqueta (Puede no existir el conducto en el experimento), en su parte superior es ligeramente inferior al diámetro del conducto de la briqueta, con vista a facilitar su extracción, en el dispositivo antes mencionado. Se midieron dos valores de la presión en el manómetro de la prensa, que fue convertida a presión sobre la biomasa, por la ecuación:

$$P_{briq} = \frac{P_{cil} \cdot D_{cil}^2}{D_{briq}^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D_{briq}} \right)^2 \right]} \quad (2.4.2.1)$$

Dónde:

P_{briq} representa la presión sobre la biomasa, en MPa

P_{cil} la presión en el cilindro hidráulico de la prensa y registrada en el manómetro.

D_{briq} Diámetro exterior de la briqueta

d Diámetro del conducto de la briqueta

D_{cil} Diámetro interior del cilindro hidráulico

También se midió la longitud de la biomasa densificada en el interior del conducto para cada valor de la presión, todo lo cual hizo posible la determinación de la densidad para cada valor de la presión (0.1, 0.4) Mpa. Es importante señalar que para producir las briquetas cilíndricas en este tipo de instalación se hace imprescindible la utilización de varios dispositivos.

2.4.3 Máquinas y dispositivos utilizados.

- I. Prensa hidráulica
- II. Dispositivo para densificar (Fig. 2.7)

Instrumentos de medición

- I. Balanza digital -precisión 0,1 g.
- II. Pie de Rey (precisión 0,05 mm).

Utilizando el procedimiento empleado para la definición del modelo de comportamiento de la densidad de el bagazo de caña sin preparación previa, con la presión de compactación; se procedió a la reducción de los experimentos a dos corridas experimentales, tal simplificación obedece al comportamiento lineal de la densidad de las biomosas respecto a la presión de compactación, en el rango de (0 a 10) Mpa y a la coincidencia de los modelos lineales ($\rho_{(P)} = K \cdot P + \rho_0$) con el modelo exponencial ($\rho_{(P)} = a - b \cdot e^{-c \cdot P}$) definido anteriormente, donde además son coincidentes los valores de la densidad $\rho_{(P)}$ cuando la variación de presión (P) es cero ($\rho_{(P)} = \rho_0$), que representa el intercepto del diagrama densidad – presión, para cualquiera de los dos modelos utilizados.

Partiendo de la ecuación de la recta que pasa por dos puntos coordenados de los correspondientes parámetros.

Se puede plantear.

$$\frac{\rho - \rho_1}{P - P_1} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{P_2 - P_1} \quad (2.4.3.1)$$

Dónde:

ρ_2 y ρ_1 - Representan las densidades medias determinadas para dos valores de la presión entre (0 – 10) MPa [kg/m^3]

P_2 y P_1 - Valores de las presiones correspondientes [MPa].

$$\rho_{(P)} = \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{P_2 - P_1} \right) \cdot P + \left[\rho_1 - \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{P_2 - P_1} \right) \cdot P_1 \right] \quad (2.4.3.2)$$

$$\rho_{(P)} = m \cdot P + \rho_0$$

Dónde:

$$m = \frac{\rho_2 - \rho_1}{P_2 - P_1} \quad (2.4.3.3)$$

$$\rho_0 = \rho_1 - m \cdot P_1 \quad (2.4.3.4)$$

En el modelo exponencial

$$\rho_{(P)} = a - b \cdot e^{-c \cdot P} \quad (2.4.3.5)$$

Se definió: $\rho_0 = a - b$

Dónde: a - Representa el límite máximo de la densidad de las biomosas.

La literatura considera:

$a = 1750 \text{ kg/m}^3$ para presiones hasta 200 MPa.

b Intervalo de definición de función exponencial (kg/m^3)

Si se utiliza en la definición de los modelos Físicos – Matemáticos de cualquier biomasa, el valor del límite máximo de la densidad que sugiere la literatura científica ; ($a = 1750 \text{ kg/m}^3$) y el valor de (ρ_0) definido por el modelo lineal, determinado según el experimento con dos presiones diferentes entre (0 – 10) MPa; ello permite determinar la constante dimensional (b) del modelo exponencial para cualquier biomasa, en las condiciones del experimento mostrado, si las dimensiones difieren de los experimentos, es necesario introducir un factor de cambio de dimensiones ($\psi = \frac{A_0}{A_x}$, A_0 sección transversal de la briqueta del experimento, sección transversal

De la briqueta deseada.

$$b = a - \rho_0 \dots \dots \dots \text{kg/m}^3 \quad (2.4.3.6)$$

Además la constante dimensional (c)

$$c = \frac{\ln\left(\frac{b}{a - \rho_1}\right)}{P_1} \dots \dots \dots \text{MPa}^{-1} \quad (2.4.3.7)$$

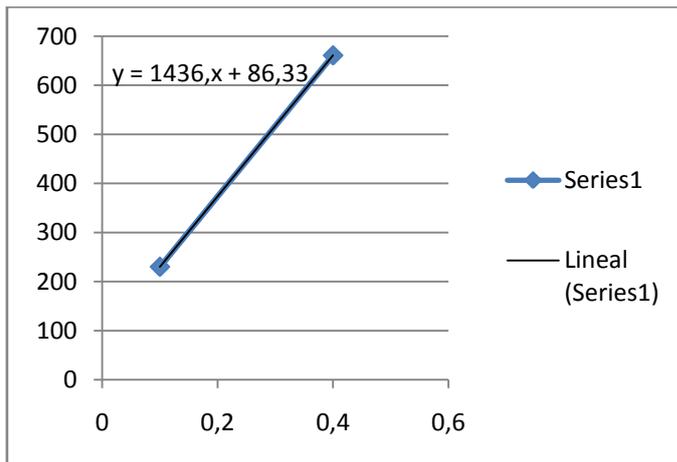
Para las condiciones de la sección transversal de las briquetas, diferentes a los experimentos.

$$b' = a - \psi \cdot \rho_0 \dots \dots \dots \text{kg/m}^3 \quad (2.4.3.8)$$

$$c' = \psi \cdot c$$

Los valores de las constantes dimensionales (a, b, c) para las biomosas satisfacen el modelo exponencial ($\rho_{(P)} = a - b \cdot e^{-c \cdot P}$).

$$\rho_1 = \frac{4m}{\pi D^2 L} = 230 \text{ kg/m}^3 \quad P_1 = 0.1 \text{ MPa} \quad \rho_2 = \frac{4m}{\pi D^2 L} = 661 \text{ kg/m}^3 \quad P_2 = 0.4 \text{ MPa}$$



Ecuación lineal de la densidad V_s presión

$$\rho_p = 1436 \times p + 86,33 \quad (2.4.3.9)$$

$$V_i = 2\pi DLB \quad (2.4.3.10)$$

$$V_i = 2\pi \times 0.15 \times 0.4 \times 0.3V_i = \mathbf{0.1125m^3}$$

$$m_i = \rho_o \times V_i \quad m_i = \mathbf{9.45kg} \quad (2.4.3.11)$$

$$V_f = \frac{\pi \times D^2}{2} \times L$$

$$V_f = \frac{\pi \times 0.15^2}{2} \times 0.4V_f = \mathbf{0.014m^3} \quad (2.4.3.12)$$

$$\rho_f = \frac{m_i}{V_f} \quad (2.4.3.13)$$

$$\rho_f = \frac{9.45}{0.014} = \mathbf{675 kg/m^3}$$

$$\rho_p = 1436 \times p + 86.33 \quad \text{Despejamos } p$$

$$p = \frac{675 - 86.33}{1436} = \mathbf{0.41MPa}$$

$$F_{pistón} = p \times A_{comp} \quad A_{comp} = \pi \times D \times L \quad (2.4.3.14)(2.4.3.15)$$

$$F_{pistón} = 0.41 \times \pi \times 150 \times 400$$

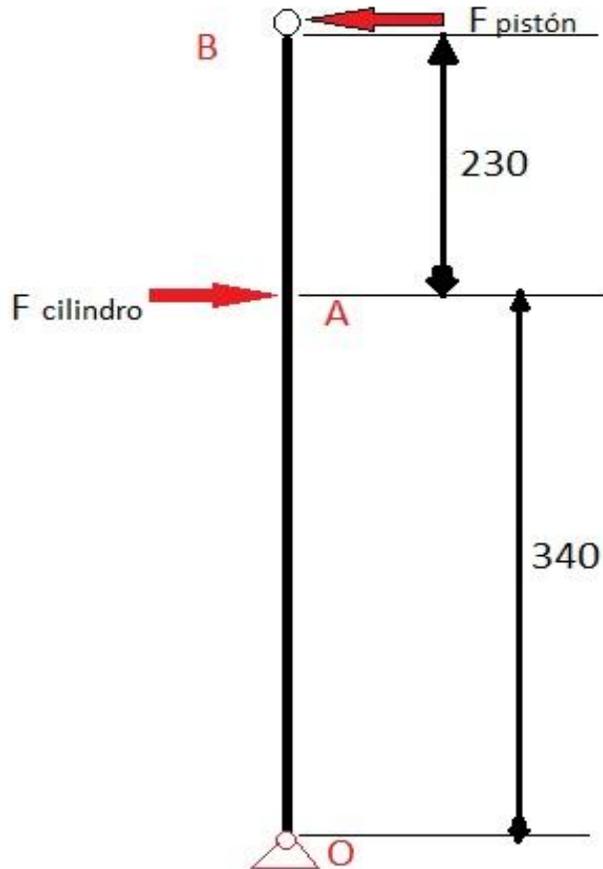
$$F_{pistón} = \mathbf{77.283kN}$$

$$\sum M_o = 0$$

$$-F_{cilindro} \times l_{OA} + F_{pistón} \times l_{OB} = 0$$

$$F_{cilindro} = F_{pistón} \times \frac{l_{OB}}{l_{OA}}$$

$$F_{cilindro} = 129.5kN$$



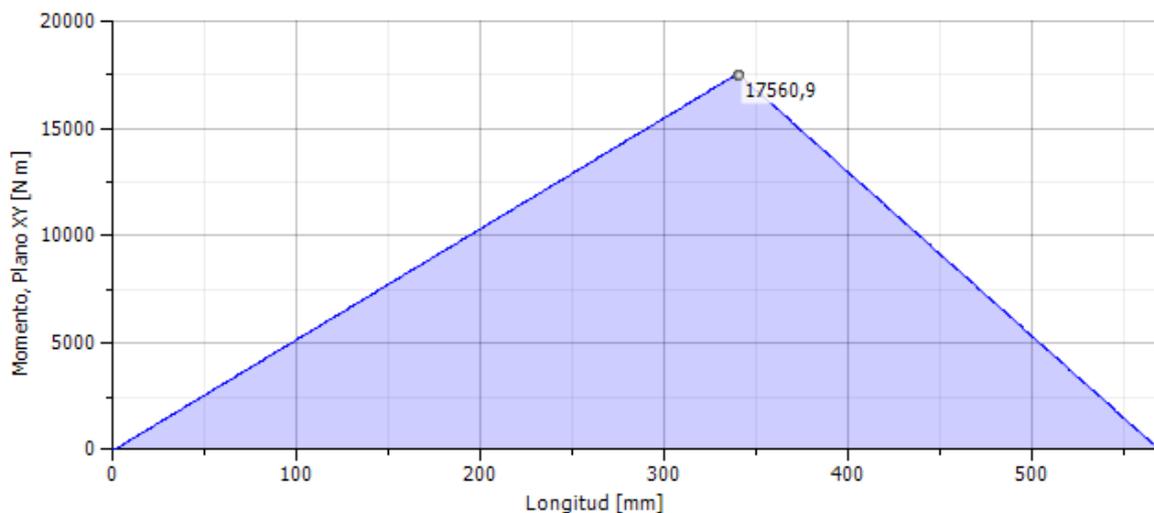
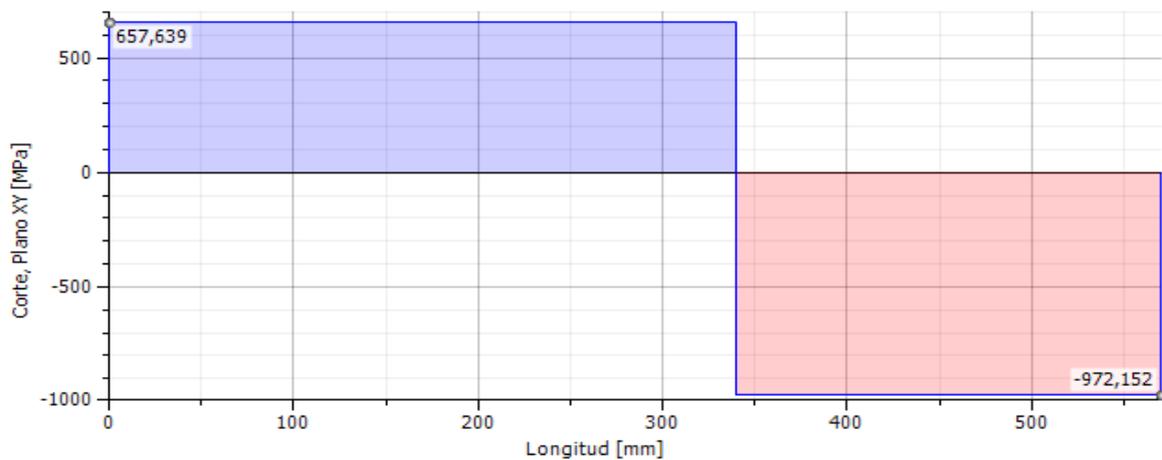
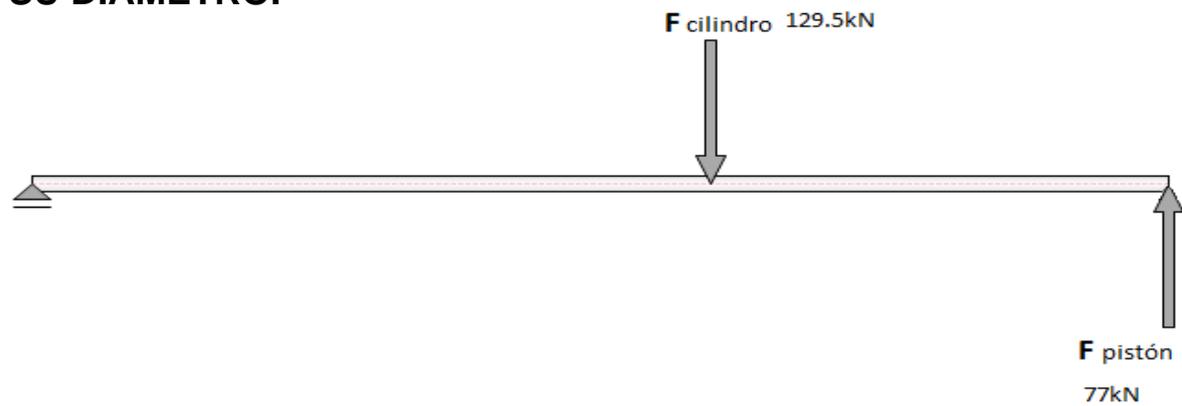
2.5 CARACTERÍSTICAS DEL CILINDRO HIDRÁULICO.

$$F_{cil} = \frac{\pi D_{cil}^2}{4} \times p_{cil}$$

$$p_{cil} = \frac{F_{cil} \times 4}{\pi D_{cil}^2}$$

R/ con un diámetro de 100mm tiene que tener una presión de 16MPa.

2.6 ANÁLISIS DE LAS FUERZAS DE LA PALANCA DE ACCIONAMIENTO DEL CARRO DE ALIMENTACIÓN Y CÁLCULO DE SU DIÁMETRO.



2.6.1 Cálculo del diámetro crítico de la palanca de accionamiento del carro de alimentación del dispositivo.

Para Acero 45 $[\sigma]_{-1} = 72 \text{ Mpa} \approx 7.2 \times 10^4 \text{ k}$

$$d_{crit.} \geq 2.17 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sqrt{Mfres_{m\acute{a}x}^2 + T^2}}{[\sigma]}} \geq 2.17 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sqrt{308.35kN + 0}}{[\sigma]}}$$

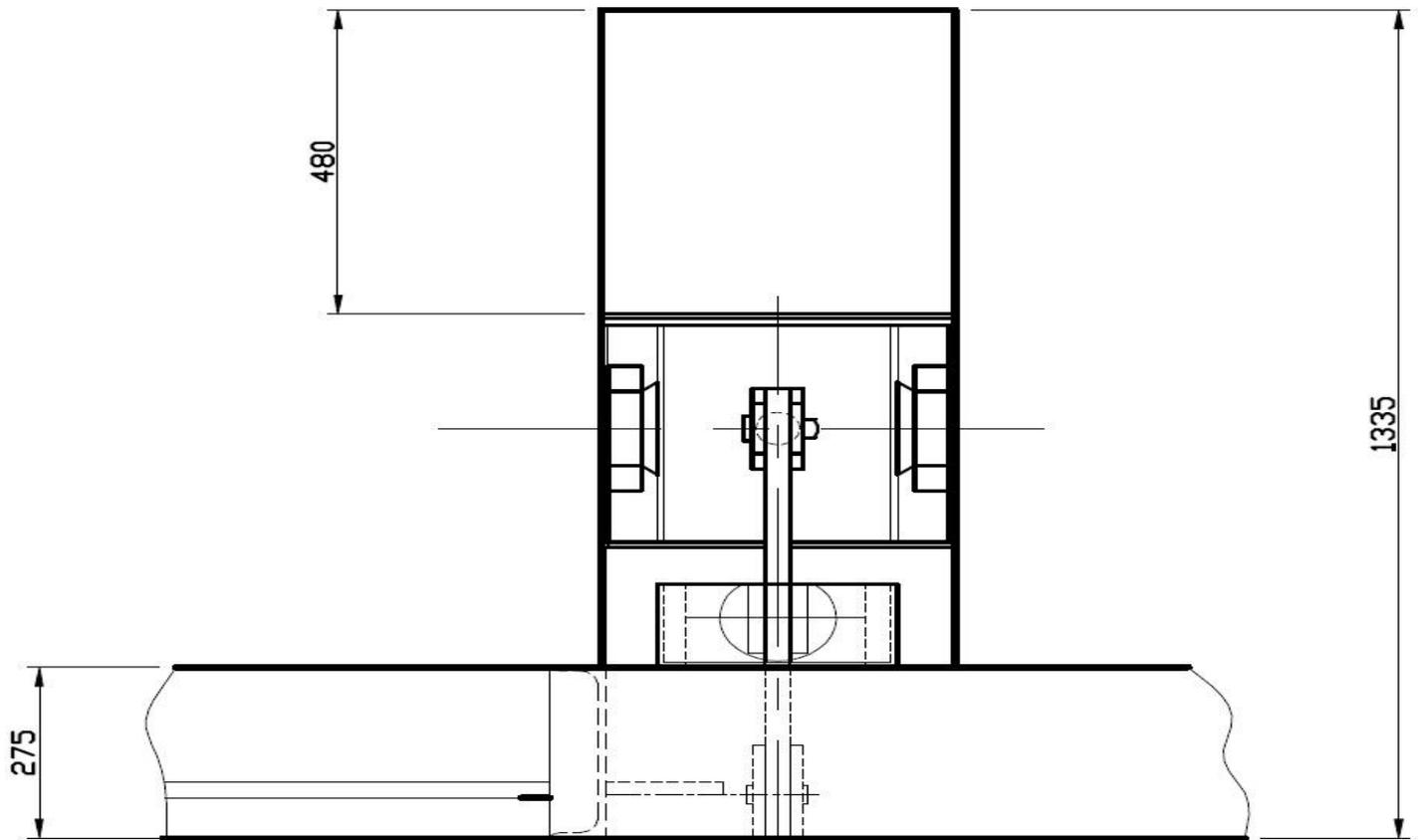
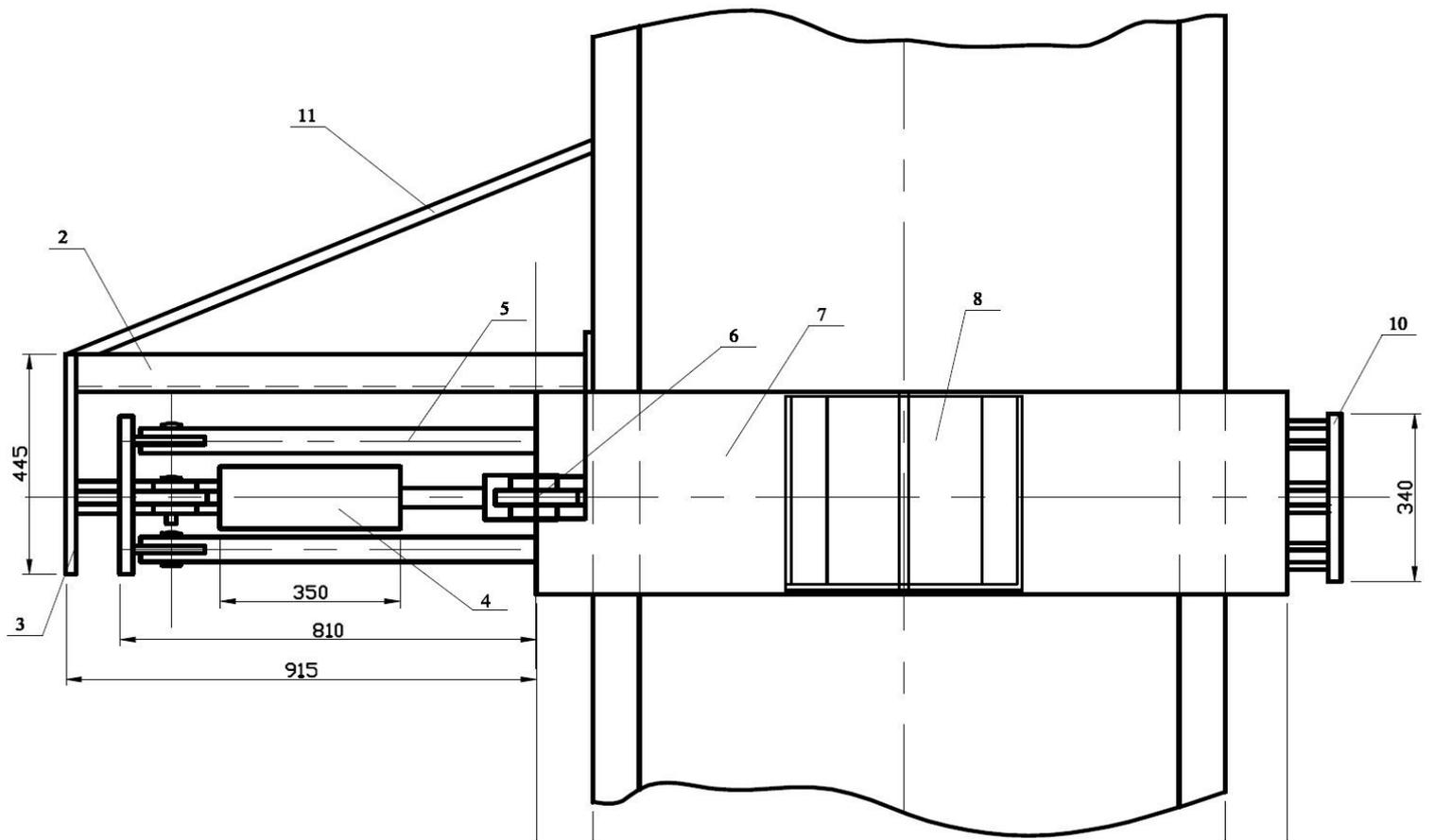
$$d_{crit.} \geq 2.17 \cdot \sqrt[3]{\frac{17.5}{7.2 \times 10^4}} \geq 0.130 \text{ m}$$

$$d_{crit.} \approx 130 \text{ mm}$$

2.7 FUNCIONAMIENTO DEL ALIMENTADOR.

Con la biomasa en la tolva de alimentación y el carros de alimentación (8) en su posición inicial la biomasa alcanza el fondo de la cámara de alimentación (7) ella asegura en estas condiciones una masa inicial de biomasa según el volumen de barrido por los carros de alimentación y la densidad inicial de la biomasa (bagazo de caña) que puede estar entre 2 o 8 kg.

Con el accionamiento del cilindro (4) que se conecta flotante, en los brazos de accionamiento (3) se asegura el movimiento simultaneo de los carros de alimentación (8) a la posición central de la tolva. Gracias a las conexión de las barras (3) y (10) articuladas al bastidor (2) mediante la biela (5) que la conecta para formar un mecanismo paralelogramo. A las barras (6) y (10) se unen las bielas de accionamiento de los carros (9) que aseguran, en la posición mostrada en el diseño del dispositivo la formación de unas briquetas transversales.



ELEVACIÓN LATERAL

2.8 MASA DE LA BRIQUETA.

$$m_{briq} = \frac{150^2}{9025} \times (a_2 - b_2 \times e^{-c_2 \times L}) \times 10^{-3} \quad (2.8.1)$$

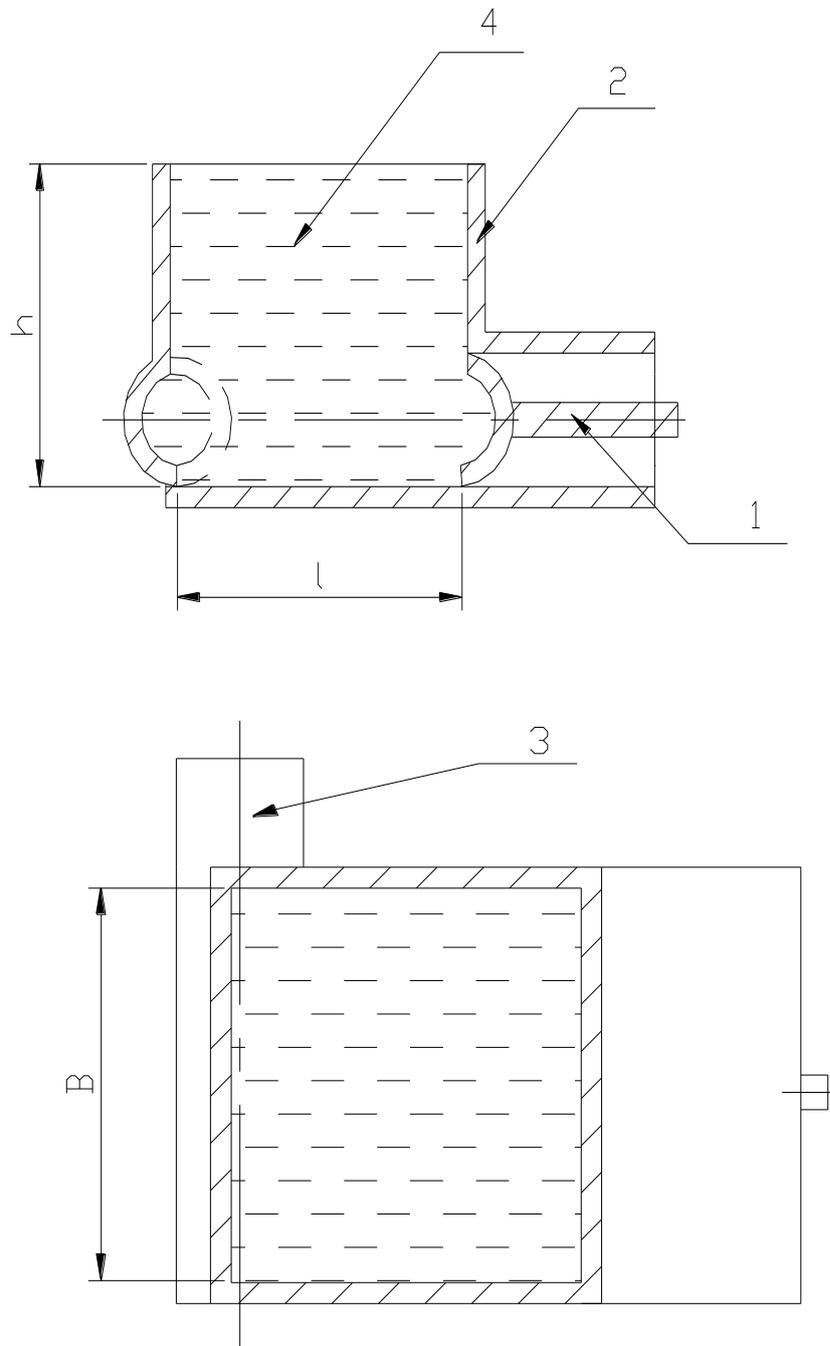


Fig. 2.8.1 Dispositivo para simular la alimentación en Briqueteadoras de dos etapas de alimentación- densificación.

1- Carro de alimentación; 2- Tolva; 3- Tubo de briqueteado; 4- Biomasa

El incremento de la densidad constituye el factor de mayor significación en el aumento de la masa real de la briqueta, conjuntamente con el desplazamiento y el número de etapas (nivel superior) en ambas.

En el coeficiente de carga (β) no influye la densidad natural (ρ_i). Sin embargo los valores inferiores de los niveles de los factores; desplazamiento(s) y número de etapas (et) lo incrementan favorablemente.

Los diseños de experimentos realizados anteriormente permiten acotar los factores más significativos en el incremento de la masa de briqueta (mb), como puede observarse, la densidad natural de la biomasa (ρ_i) resultó ser el de mayor significación, seguido de la carrera de los dispositivos de alimentación y en menos medida de la velocidad de estos. Sin embargo en todos los casos se comprobó una tendencia física de comportamiento ver gráfico (Fig 2.8) de la masa de briqueta (mb) con la magnitud del volumen barrido, con una marcada incidencia en la carrera de los dispositivos de alimentación, ello permitió utilizar un modelo Físico – Matemático semejante al usado para la densidad de las biomosas.

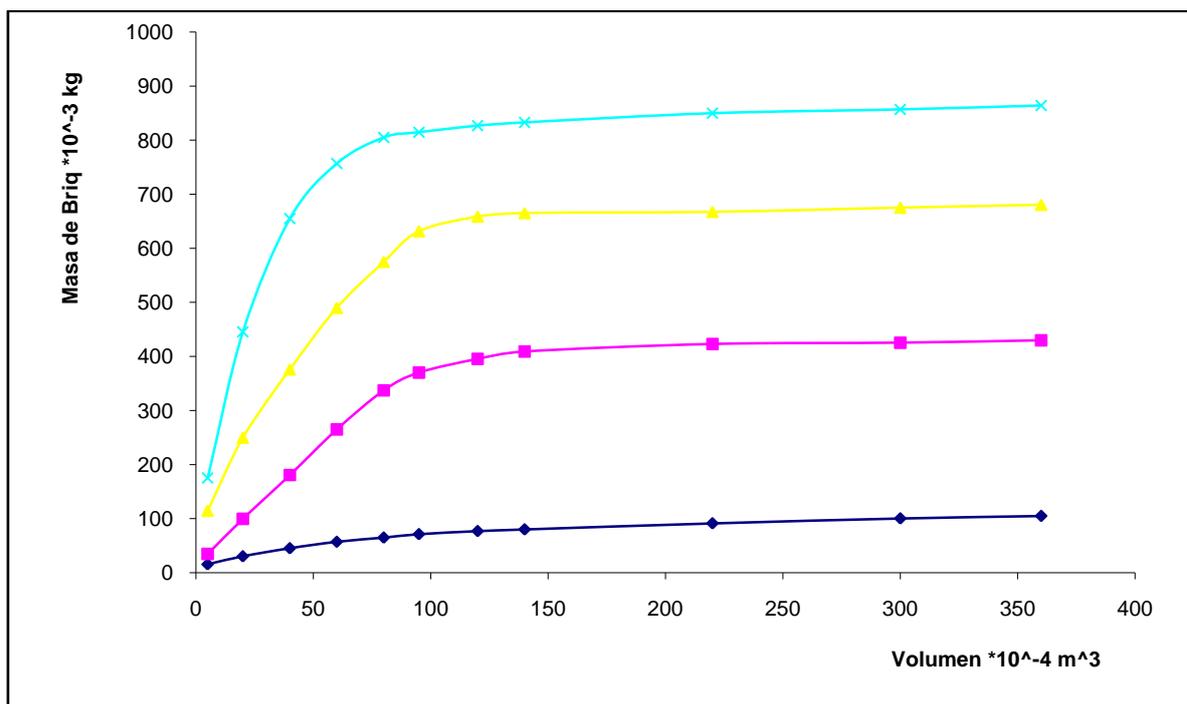


Fig. 2.8.2 Gráfico que representa el comportamiento de la masa de la briqueta con el volumen barrido.

Dónde: a_2 - Representa la masa límite en gramos (g)

b_2 - El intervalo de definición de la función acotada (g)

c_2 - Constante que depende de las propiedades físicas y del tipo de biomasa utilizada (dm^3)⁻¹

En la tabla (2.8.1) se exponen los resultados de la masa de briqueta obtenida, para diferentes biomasa y volúmenes barridos. Para los dispositivos de alimentación se consideró un diámetro de 150 mm para la briqueta y una carrera máxima de 300 mm.

El gráfico de la fig. (2.8.2) caracteriza la tendencia física del comportamiento y demuestra que en las condiciones de los experimentos, un incremento de volumen superior ($12 \times 10^{-4} \text{ dm}^3$) resulta menos significativo que para menores valores, desde el punto de vista de la masa de la briqueta (mb). Lo que da criterio para asegurar que en briqueteadoras de una y dos etapas de alimentación - densificación no se debe elevar la masa (mb) a cuenta del volumen barrido; incrementando la magnitud de la carrera de los dispositivos de alimentación. Ya que precisamente es esta magnitud, la principal responsable del comportamiento físico precedente. Más vale incrementar las secciones transversales y el número de ciclos de estas, para garantizar mayor masa de briqueta (mb).

$$a_2 = 472b_2 = 413c_2 = 0.145$$

Sustituyendo los valores obtenido en la ecuación (2.8.1)

$$m_{\text{briq}} = \frac{150^2}{9025} \times (472 - 413 \times e^{-0.145 \times 400}) \times 10^{-3} \quad m_{\text{briq}} = \mathbf{1.5kg}$$

Masa real de la briqueta.

2.9 CÁLCULOS FUNDAMENTALES PARA LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRÁULICO A PARTIR DE LAS MAGNITUDES DESEADAS

Donde se debe tener:

- Una muestra de la biomasa a briquetear.
- La densidad final que desea. (consultar al diseñador 700 kg/m^3)
- La capacidad de producción de la máquina en Kilogramos por hora.(Se asume 250 kg/h)
- Tiene la posibilidad de escoger bajo recomendaciones del diseñador el tipo de briqueta (tubular o maciza), así como sus diámetros más adecuados (D ; d).
De esta manera obteniendo los valores de $\gamma = d/D_{(95)}$ – Relación de diámetro del conducto a la briqueta y $\gamma_x = d/D_{x1}$ – Relación real de diámetros.
- Asumir un valor de presión del cilindro para poder determinar los demás parámetros que dependen de ello (20 Mpa)
- Tanto el número de briquetas (Z) como las dimensiones de ancho del carro (B) y carrera del cilindro (l), se deben escoger bajo recomendaciones del diseñador.
- El valor de pérdida de la densidad después de salir la briqueta (Δ), se escoge en el rango ($20 - 50$)
- Los números de cilindros que se escojan para cada etapa ($K1$ y $K2$), estarán en correspondencia con las exigencias en cuanto a disponibilidad y costo, serán tanteados hasta obtener los valores deseados. En el caso de una briqueteadora de dos o tres etapas el valor de $K1$, estará fijado en dos, por cuestiones de diseños de las máquinas.
- Siendo tomados como valores constantes para todos los casos, el rendimiento volumétrico ($\eta_v = 0.95$) y la relación de diámetro del vástago con el del Cilindro ($\xi = d_v/D_{cil}$) en 0.55 , por encontrarse estos valores para todos los casos entre ($0.5 - 0.6$).

2.10 CÁLCULO DEL FLUJO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

Con todos los parámetros hallados anteriormente, ya estamos en condiciones de seleccionar los valores del flujo para nuestro sistema hidráulico, que será en primer orden, quien permita la obtención del cubicaje de la bomba hidráulica a emplear, después de ser seleccionada del mismo modo que los procedimientos anteriores en las Tablas Catálogos de la metodología.

Estos valores de flujo serán recalculados con el valor del cubicaje correcto para obtener los valores reales, que serán empleados más adelante en la selección de los demás elementos del sistema hidráulico.

Capacidad de producción (Cpa)= 250kg/h Se asume

Número de briquetas (Z) =2 parámetros

Geométricos (B, l) B=630mm l=200mm

Masa Briqueta (mb)= 1.5kg

Briquetadoras de dos Etapas de Alimentación – Densificación.

$$Q_{2etapa} = 1.3 \cdot 10^{-8} \frac{Cpa_2 \cdot \left(1 - \xi^2\right)}{mb_2 \cdot Z} \cdot \left(k_1 \cdot D_{cil1}^2 + 1.4 \cdot B \cdot k_2 \cdot D_{cil2}^2 \right) \quad (2.3.1)$$

$$Q_{2etapa} = 80.34 l/min$$

2.11 CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO DE LA BOMBA.

Con los valores de flujo obtenidos anteriormente asumimos las revoluciones (n) y el rendimiento volumétrico ($\eta_v=0.95$) para todos los casos, se obtiene el cubicaje de la bomba, con el cual buscamos en catálogos para seleccionar la bomba que se usará y a la vez permitirá recalculer los valores de flujo real (Q_{real}) que servirá para continuar con el desarrollo de la metodología.

$$q = \frac{33.82 \cdot 1000 \cdot Q}{n \cdot \eta_v} \quad \left[\frac{cm^3}{rev} \right]$$

SERIE POLARIS

	POLARIS Bomba	POLARIS Motor	Cubicaje cc/rev	V.min. rpm	V.max rpm	Presión bar	Peso Kg.
POLARIS 10	PLP10.1	PLM10.1	1	650	4000	260	1.40
	PLP10.2	PLM10.2	2	650	4000	260	1.50
	PLP10.3,15	PLM10.3,15	3.1	650	4000	260	1.54
	PLP10.4	PLM10.4	4	650	4000	250	1.58
	PLP10.5	PLM10.5	4.9	650	4000	250	1.65
	PLP10.6,3	PLM10.6,3	6.2	650	3500	230	1.73
	PLP10.8	PLM10.8	7.9	650	3500	180	1.80
	PLP10.10	PLM10.10	9.9	650	3500	140	1.90
POLARIS 20	PLP20.4	PLM20.4	4.8	600	4000	280	3.80
	PLP20.6,3	PLM20.6,3	6.5	600	4000	280	3.85
	PLP20.8	PLM20.8	8.3	600	3500	280	3.90
	PLP20.11,2	PLM20.11,2	11.1	600	3500	270	4.05
	PLP20.14	PLM20.14	14.4	500	3500	260	4.15
	PLP20.16	PLM20.16	16.6	500	3000	250	4.30
	PLP20.20	PLM20.20	20.8	500	3000	200	4.45
	PLP20.25	PLM20.25	26	500	2500	170	4.70
PLP20.31,5	PLM20.31,5	32.6	500	2000	130	4.90	
POLARIS 30	PLP30.22	PLM30.22	21.89	350	3000	250	11.00
	PLP30.27	PLM30.27	26.58	350	3000	250	11.10
	PLP30.34	PLM30.34	34.39	350	3000	240	11.20
	PLP30.38	PLM30.38	38.53	350	3000	240	11.30
	PLP30.43	PLM30.43	43.77	350	3000	230	11.55
	PLP30.51	PLM30.51	51.59	350	2500	210	11.80
	PLP30.61	PLM30.61	60.97	350	2500	190	12.00
	PLP30.73	PLM30.73	73.47	350	2500	170	12.50
PLP30.82	PLM30.82	81.29	350	2200	160	12.70	
PLP30.90	PLM30.90	90.66	350	2200	150	13.00	

$$q_{cat} = 34.39 \text{ m}^3/\text{r}$$

2.12 – Cálculo del flujo real (Qreal).

Para la obtención del flujo real se recalcula con un despeje de la ecuación (2.4.1),

$$Q_{real} = \frac{q_{B\ Cat} \cdot n \cdot \eta_v}{1000} \quad \text{l/min} \quad (2.5.1)$$

$$Q_{real} = 98.01 \text{ l/min}$$

2.13 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS.

Para la obtención del diámetro de las tuberías es necesario tener como datos los valores de velocidad en las diferentes líneas, siendo escogidos estos valores de la bibliografía (Catálogos).

2.13.1 Diámetro en la Línea de Presión.

$$d_{pres} = 4.61 \cdot \sqrt{\frac{Q_{real}}{v_{pres}}} \quad \text{[mm]} \quad (2.6.1.1)$$

$$d_{pres} = 17.8 \text{mm}$$

Con el valor obtenido se va a la “Tabla Catálogo” y se escoge el valor inmediato superior, colocándose luego en la tabla de la (fig. 2.6.1) para ser usada en posteriores cálculos. Del mismo modo que para la bomba seleccionada anteriormente, este valor real seleccionado, se usa para sacar el código de la manguera, que será usada en la línea de presión y su costo actual aproximado y llevarlo a la tabla resumen donde formará parte, como un elemento más del sistema hidráulico seleccionado. $v_{pres} = 6 \text{m/s}$

2.13.2 Diámetro en la Línea de Succión.

$$d_{succ} = 4.61 \cdot \sqrt{\frac{Q_{real}}{v_{succ}}} \quad \text{[mm]} \quad (2.6.2.1)$$

$$d_{succ} = 34.2 \text{ mm}$$

i. Diámetro en la Línea de Retorno.

Todo el procedimiento del mismo modo que para los casos anteriores. $V_{ret} = 1.82$ m/s

$$(2..3.1) \quad d_{ret} = 4.61 \cdot \sqrt{\frac{Q_{real}}{v_{ret}}} \quad \text{[mm]}$$

$$d_{ret} = 27.8 \text{ mm}$$

Valores Obtenidos por Catálogos	
Desplaz. geométrico(cubicaje cc/rev)	$Q_{B \text{ cat}} = 34,39 \text{ cc/rev}$
Diámetro de la tubería de presión	$d_{p \text{ cat}} = 19 \text{ mm}$
Diámetro de la tubería de succión	$d_{s \text{ cat}} = 38,1 \text{ mm}$
Diámetro de la tubería de retorno	$d_{r \text{ cat}} = 31,8 \text{ mm}$

2.7 Selección del Distribuidor.

Según el caudal real de la bomba hallado anteriormente, procedemos del mismo modo que se ha hecho ya varias veces, a seleccionar de la “Tabla Catálogo” el código y el precio de este elemento. La tabla que muestra los datos y todos los demás parámetros de estas unidades se puede ver en la (fig. 2.7) del anexo, de donde fueron extraídos los datos para completar nuestra metodología.

Es necesario aclarar que se escogió en el catálogo la selección de distribuidores manuales, pues son los más sencillos (se sabe que existen otras variantes de accionamiento), y también el caso de por elementos, pues estarían los bloques con los que contaría en dependencia del número de cilindros. Repercutiendo esto en el costo final del sistema.

2.8 Selección del Filtro de Retorno al Tanque.

Para la selección del filtro, se procedió del mismo modo que se hizo para el distribuidor, teniendo presente el valor del caudal o flujo hallado anteriormente es el eslabón que permite seleccionarlo, para luego asentarlo en la tabla resumen, con su costo y cantidad de unidades. En la fig. 2.8.1 del anexo se muestran la tabla del catálogo de donde fueron extraídos los datos y algunas otras especificaciones técnicas pertinentes.

2.9 Selección del Tapón de Llenado Desvaporizador, Manómetro y Niveles Visuales y Eléctricos.

Para la selección de estos dos elementos, que no por menor tamaño tienen menos importancia, se apeló a la experiencia de los profesionales en este campo, quienes nos recomendaron escoger del catálogo INTERESAL, S.A. [], específicamente del programa OMT, los siguientes elementos fig. (3.15), los cuales han demostrado que reúnen las condiciones necesarias para nuestro sistema hidráulico en el caso de cualquiera que sea el sistema escogido.

Niveles de aceite visuales	LV2T OMT	19,20 €	1	19,20 €
Tapones de llenado	TR-2 OMT	6,00 €	1	6,00 €

Fig. 2.9.1 Muestra un pedazo de la tabla resumen donde se encuentran estos valores de manera fija para cualquier sistema hidráulico.

Para el caso del manómetro, se escogió del mismo modo que los elementos anteriores, la diferencia se debió al lugar de donde se obtuvo, que fue vía Internet, en una de las web consultadas. Se escogió para todos los casos el MGS10/13/A-250bar, pues reúne las características de nuestros sistemas, sólo habría que tener presente el rango de presiones.

2.10 Recalculando la Velocidad del Líquido en la Línea de Presión.

Este es uno de los parámetros que será usado en cálculos posteriores, por tanto, después de haber obtenido el diámetro real de la tubería de presión ya estamos en condiciones de recalcarlo para obtener su valor real para cada caso en cuestión.

Tomando el valor hallado y ubicado en la tabla de valores obtenidos por catálogos aplicamos la siguiente ecuación.

$$V_{p\ real} = \frac{Q_{real} \cdot 10^2}{4.71 \cdot d_{p\ cat}^2} \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad (2.10.1)$$

$$V_{p\ real} = 4.48m/s$$

2.11 Determinación de la Presión de Tarado.

La presión de tarado de la válvula de seguridad incorporada en el mismo bloque del distribuidor resume todas las caídas de presión anteriormente definida y por supuesto sumada a la presión de trabajo que se calcula por la siguiente expresión.

$$P_{trab} = \frac{9.993 \cdot P_{cil} \cdot D_{cil}^2}{D_{cil\ cat}^2} \quad \left[Kpa \right] \quad (2.11.1)$$

Los diámetros se simplifican ya que directamente por conveniencia se escogieron los diámetros de los cilindros por catálogos.

$$P_{cil} = 20Mpa$$

$$p_{trab} = 119.98Kpa$$

La constante por la cual se multiplica la expresión, es un resultado debido de trabajar con la presión del cilindro de los datos de entrada que se encuentra en Mpa y la P_{trab} que será en Kpa. El diámetro del cilindro (D_{cil}) para el caso de las briquetadoras de dos etapas se escoge el mayor.

2.12 Determinación de la Potencia de la Bomba para la Selección del Motor.

Usando la presión de tarado anteriormente hallada y el flujo real con el que hemos venido trabajando se puede determinar la potencia de la bomba para luego poder determinar las exigencias del motor que requeriría.

$$N_B = 0.00166 \cdot p_{Tarado} \cdot Q_{real} \quad \left[Kw \right] \quad (2.12.1)$$

$$N_B = 26.42 \text{ Kw}$$

La potencia del motor se calcula por la siguiente expresión:

$$N_m = \frac{N_B}{\eta_{mec.}} \quad (3.14)$$

Con el valor obtenido, se selecciona el motor del mismo modo anteriormente logrado con los demás elementos, en la tabla extraída de la web del fabricante.

2.13 Cálculo del Depósito de Aceite.

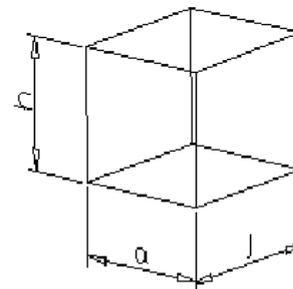
En el caso del tanque que contendrá el aceite del sistema hidráulico, se realiza el cálculo del volumen del tanque teniendo presente, los valores de los coeficientes de interpolación de temperatura dentro del tanque (K_1 y K_2), las cuales determinan la ubicación futura de tal sistema, como en nuestros casos regularmente las máquinas trabajarán bajo techo, escogimos el valor de $K_1=5$ de un rango de (3,5 – 6), seleccionado por experiencia de los especialistas en esta rama. Los valores para K_2 se encuentran entre (6 –10) respectivamente y se escoge en caso necesario $K_2= 8$.

$$V_{tanq} = Q_{real} \cdot K_1 \left[h^3 \right] \quad (2.13.1)$$

$$h = \sqrt{\frac{V_{tanq}}{0.9}} \left[h \right] \quad (2.13.2)$$

$$l = 0.9 \cdot h \left[h \right] \quad (2.13.3)$$

$$h = a$$



$$V_{tanq} = 0.65 \text{ m}^3$$

Los valores que representan a, h y l son el ancho, altura y longitud respectivamente todas dadas en [m]

Conclusiones Parciales del Capítulo II

1. Para diseñar una briquetadora hidráulica, se requiere de la solicitud del consumidos, la producción por hora de la máquina, dimensiones y forma de briqueta deseada, densidad final, etc. Son muy importantes los datos que permiten caracterizar la biomasa, que deben ser solicitados por el diseñador.
2. La determinación de la capacidad de producción, masa de la briqueta y dimensiones geométricas constituyen una importante herramienta para la selección de los elementos del sistema hidráulico apropiado.

CAPITULO III: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS CONJUNTOS FUNDAMENTALES DE LA MÁQUINA BRIQUETEADORA.

3.1 INTRODUCCIÓN

Los cálculos de la resistencia mecánica aseguran que la máquina resista las fuerzas más elevadas que se generan durante el proceso de densificación de la biomasa.

En la ingeniería, especialmente en el campo de diseño, la mayoría de cálculos hechos a mano están siendo sustituidos por cálculo electrónico que normalmente utilizan un algoritmo complejo que permiten obtener soluciones de los problemas. Esta nos permite obtener productos de calidad superior a menor coste, o para mejorar procesos existentes, o para estudiar el fallo de un componente estructural o un equipo.

Los programas de AEF (análisis por elementos finitos) facilitan el proceso de cálculo y da resultados favorables. La transformación de un sistema de ingeniera (con infinitas incógnitas a un modelo de elementos finitos requiere un conocimiento profundo del programa. En realidad dicho modelo es una idealización matemática de un sistema real, si analiza por otro modo puede ser muy laborosa o imposible.

El termino elemento finito resume el concepto básico del modelo: la transformación de un sistema físico, con un número infinito de incógnitas, a uno que tiene un numero finito de incógnitas relacionado entre sí por elementos de un tamaño finito. Un nudo es una localización en el espacio de un punto en el que se considera que existen ciertos grados de libertad (desplazamiento, potenciales, temperatura, etc.) y acciones (fuerzas, corrientes, condiciones de contorno...) del sistema físico.

Un elemento es una representación matemática matricial, denominada matriz de rigidez, de la interacción entre los grados de libertad de un conjunto de nudos. Los elementos pueden ser puntuales, lineales, superficiales, volumétricos,... y pueden estar en espacio dos o tres dimensiones.

Cada nudo tiene ciertos grados de libertad (GDL) que caracterizan la respuesta del campo (las ecuaciones diferenciales que representan el problema que se requiere resolver). La información se pasa de un elemento a otro por los nodos comunes.

Los GDL en un nudo dependen de los elementos que se conectan en dicho nudo.

Las condiciones de análisis estructurales incluyen:

- I. Restricciones de desplazamiento
- II. Fuerzas aplicadas en nudos
- III. Presión sobre elementos
- IV. Temperaturas en nudos
- V. Carga volumétrica o de inercia (gravedad)

3.2 Calculo de la Resistencia Mecánica de los Tornillos de la Base del Soporte Principal.



Fig. 3.1 Esquema de análisis de la etapa de compactación

Dónde:

1. Soporte de los cilindros hidráulicos.
- 2.- Bastidor de la máquina de vigas canales ISO 657/11- CH 270 x 95.
- 3.- Soporte de los tubos de briqueteado.
- 4.- Tubos de briqueteado.

N_t - Representa la tensión de un tensor.

$N_{1...4}$ Representa la fuerza en los tornillos respectivamente.

Datos

La presión en cada cilindro es 30 MPa. Entonces, para los dos cilindros es:

$$60 \text{ MPa} = 600 \text{ kgf/cm}^2 = 6 \text{ kN/cm}^2$$

$$1 \text{ kgf} = 0,01 \text{ kN}$$

Sabemos:

$$F_{cil} = P_{cil} \cdot A_{cil}$$

$$\Rightarrow F_{max\ cil} = 3\text{ kN/cm}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 25^2\text{ cm} \cdot \text{cm} = 1\,472,5\text{ kN}$$

$$F_{vas} = P_{vas} \cdot A_{vas}^{total} = 3\text{ kN/cm}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3^2\text{ cm} \cdot \text{cm} \cdot 19 = 403\text{ kN}$$

Para realizar el cálculo de las fuerzas normales en los tornillos, se toma el momento del sistema respecto al punto A, como se muestra en la figura.

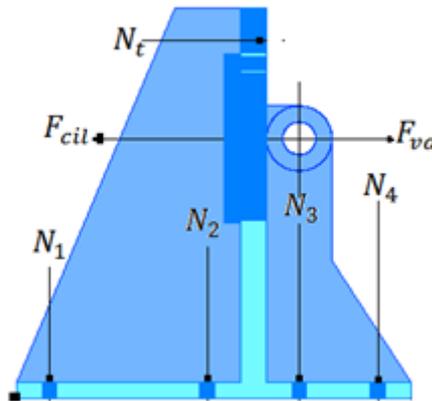


Fig. 3.2 Esquema de análisis de los tornillos del soporte de los cilindros

$$b_1 = 50\text{ mm}, b_2 = 290\text{ mm}, b_3 = 430\text{ mm}, b_4 = 550\text{ mm},$$

$$h_{ten} = 600\text{ mm}, h_{cil} = 250\text{ mm}, h_{vas} = 250\text{ mm}$$

Usando la ecuación de equilibrio da:

$$\sum M_A = 0.$$

$$4 \cdot N_1 \cdot b_1 + 4 \cdot N_2 \cdot b_2 + 6 \cdot N_3 \cdot b_3 + 6 \cdot N_4 \cdot b_4 + 2 \cdot N_t \cdot h_{ten} - 2 \cdot F_{max\ cil} \cdot h_{cil} + F_{vas} \cdot h_{vas} = 0$$

$$4 \cdot N_1 \cdot 5 + 4 \cdot N_2 \cdot 31,5 + 6 \cdot N_3 \cdot 44 + 6 \cdot N_4 \cdot 55 + 2 \cdot N_{ten} \cdot 60 - 2 \cdot 1472,5 \cdot 25 + 403,18 \cdot 25 = 0$$

El sistema es hiperestático y la ecuación de equilibrio tiene 5 incógnitas.

Para resolver la ecuación se utiliza el método de deformación:

$$\Delta L = \frac{N \cdot L}{A_{tor} \cdot E}$$

$$L \dots \dots \dots 8\text{ cm}$$

$$E \dots \dots \dots \text{Módulo de elasticidad del acero (kgf/cm}^2\text{)}$$

Los diámetros de los tornillos y el material son iguales, así que se cumple que:

$$A_{tor_1} = A_{tor_2} = A_{tor_3} = A_{tor_4} = A_{tor_5} = A_{tor_6} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 2,2^2}{4} = 3,8 \text{ cm}^2$$

$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_t = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kgf/cm}^2 = 0,0206 \cdot 10^6 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{ten} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 3,5^2}{4} = 9,6 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto se obtiene que:

$$N_2 = \frac{b_3 \cdot N_1}{b_1} = \frac{31,5 \cdot N_1}{5} = 6,3 \cdot N_1$$

$$N_3 = \frac{b_4 \cdot N_1}{b_1} = \frac{44 \cdot N_1}{5} = 8,8 \cdot N_1$$

$$N_4 = \frac{b_6 \cdot N_1}{b_1} = \frac{55 \cdot N_1}{5} = 11 \cdot N_1$$

$$N_T = \frac{A_{ten} \cdot h_2 \cdot L_{Tor}}{b_1 \cdot A_{Tor} \cdot L_{ten}} \cdot N_1 = \frac{9,62 \cdot 60,8 \cdot N_1}{3,8 \cdot 400,5} = 0,61 \cdot N_1$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de equilibrio da:

$$20 \cdot N_1 + 116,5,8 \cdot N_1 + 258,8,6 \cdot N_1 + 330,11 \cdot N_1 + 120,0,61 \cdot N_1 - 63 \ 545,5 \text{ kN} = 0$$

$$20 \cdot N_1 + 672,8 \cdot N_1 + 2218,8 \cdot N_1 + 3630 \cdot N_1 + 73,2 \cdot N_1 - 63 \ 545,5 \text{ kN} = 0$$

$$6 \ 614,8 \ N_1 = 63 \ 545,5 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow N_1 = 9,6 \text{ kN}$$

Sustituyendo $N_1 = 4,86 \text{ kN}$ en las siguientes ecuaciones da:

$$N_2 = 5,8 \cdot N_1 = 5,8 \cdot 9,6 \text{ kN} = 55,7 \text{ kN}$$

$$N_3 = 8,6 \cdot N_1 = 8,6 \cdot 9,6 \text{ kN} = 82,62 \text{ kN}$$

$$N_4 = 11 \cdot N_1 = 11 \cdot 9,6 \text{ kN} = 105,67 \text{ kN}$$

$$N_T = 0,61 \cdot 9,6 \text{ kN} = 5,86 \text{ kN}$$

Se determina la fuerza de cortante (Q) por la ecuación de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \dots \dots \dots kN$$

$$20. Q + 2. F_{cil} - 2. N_T - F_{vas} = 0$$

$$\Rightarrow Q = \frac{2. N_T - 2. F_{max cil} + F_{vas}}{30}$$

$$Q = \frac{2.5,86 kN - 2.1472,5 kN + 403 kN}{30} = - 84,34 kN$$

$$Q = 84,34 kN$$

Así, los tornillos están sometidos a un estado tensionar y soportan una fuerza normal (N) y uno de cortante (Q). Los tornillos más cargado son de la cuarta fila, por lo que para garantizar su resistencia se realizará el siguiente cálculo de comprobación.

Comprobación:

Este tipo de unión (tensado previo) no es de tipo hermética, el tensado previo debe garantizar una compresión mínima después de aplicar la carga de trabajo lo cual es alrededor de 10 % de la fuerza de trabajo.

$$N_{eq} = (N_4 + 0,1. N_4) = (105,67 kN + 0,1.105,67 kN) = 116,23 kN$$

La tensión normal será hallada por la siguiente ecuación:

$$\sigma_N = \frac{N_{eq}}{A_{tor}} = \frac{116,23 kN}{3,8 cm^2} = 30,59 kN/cm^2$$

Por lo tanto:

La tensión tangencial provocada por la fuerza transversal Q se puede calcular por:

$$\tau = \frac{Q}{A_{tor}}$$

$$\tau = \frac{84,34 kN}{3,8 cm^2} = 22,19 kN/cm^2$$

Según la norma cubana NC 57-76:85 para tornillos de acero 45 templado:

$$\sigma_u = 10 400 kgf/cm^2 = 102 kN/cm^2.$$

La tensión permisible para tornillos del acero 45 templado puede ser calculada por:

$$[\sigma] = 0,86. \sigma_u = 0,86.102 \text{ kN/cm}^2 = 88 \text{ kN/cm}^2$$

Por la cuarta teoría de resistencia:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_N^2 + 3. \tau^2} \leq [\sigma]$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{30,59^2 + 3.22,19^2} = 49,12 \text{ kN/cm}^2.$$

$$49,12 \text{ kN/cm}^2 \leq 88 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eq} \leq [\sigma]$$

Los tornillos en la base del soporte pueden soportar la fuerza resultante de la fase de densificación, es decir, cuando la maquina esta actuado por la fuerza máxima, el soporte no se pierda su estabilidad.

3.3 Calculo de la Resistencia de los Tensores.

Los tensores en su extremo presentan una unión roscada no pretensada, la tuerca es apretada bajo carga en el montaje, por lo que se ve sometida las tensiones tangenciales adicionales debido al momento torsor al apretar, lo que adiciona un 30% más de la tensión normal equivalente que la de trabajo.

Para calcular la tensión normal equivalente:

$$N_{eq} = 1,3. N_T = 1,3.5,86 \text{ kN} = 7,68 \text{ kN}$$

La tensión normal se determina por:

$$\sigma_N = \frac{N_{eq}}{A_{ten}} = \frac{\pi. 3,5^2}{4} = 9,62 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_N = \frac{7,68 \text{ kN}}{9,62} = 0,79 \text{ kN/cm}^2$$

La tensión permisible para tornillos del acero al carbono es 32 kN/cm^2 .

$$0,79 \text{ kN/cm}^2 \leq 32 \text{ kN/cm}^2$$

$\sigma_{eq} \leq [\sigma]$ Observación: Los tensores son capaces de aguantar la carga.

3.4 Análisis del Tubo de Compactación.

3.4.1 Cálculo de la fuerza de perforación (F_{vas}^{per}) de la briqueta

La fuerza de perforación en realidad es la fuerza que debe suministrar el vástago para crear los huecos en la briqueta.

$$F_{vas}^{per} = \mu \cdot \lambda \cdot z \cdot \pi \cdot d_{pun} \cdot l_{briq} \cdot P_{vas}$$

d_{pun} Diámetro de un punzón

$\mu \cdot \lambda$ Correlación de coeficiente de proporcionalidad.

$$\mu \cdot \lambda_{est} = 0,0127$$

Sabemos:

$$l_{briq} = \frac{m_{briq}}{\rho_{briq} \cdot A_{briq}}$$

$$A_{briq} = \frac{\pi}{4} \cdot 25^2 \text{ cm} \cdot \text{cm} \cdot \left(1 - \left(\frac{3 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} \right)^2 \cdot 19 \right) = 356,57 \text{ cm}^2 = 0,0357 \text{ m}^2$$

$$l_{briq} = \frac{15,53 \text{ kg}}{1090,44 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0357 \text{ m}^2} = 0,398 \text{ m} = 39,8 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow F_{vas}^{per} = 0,0127 \cdot 19 \cdot \pi \cdot 3 \text{ cm} \cdot 39,8 \text{ cm} \cdot 3 \text{ kN/cm}^2 = 271,54 \text{ kN}$$

3.4.2 Cálculo de la Fuerza de Fricción (F_f) Mínima Desarrollada por la Briqueta en el Conducto.

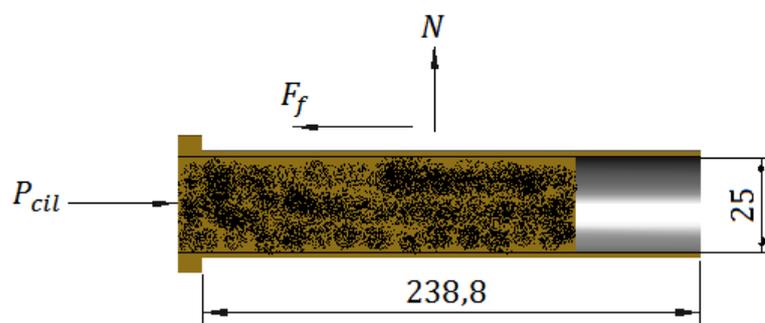


Fig. 3.3 Fuerza de fricción en tubo de salida.

$$F_f = \mu \cdot N$$

N Fuerza normal de la biomasa en el conducto

$$N = \pi \cdot D_{briq} \cdot l_{tubo} \cdot \lambda \cdot P_{cil}$$

$$F_f = \mu \cdot \lambda \cdot \pi \cdot D_{briq} \cdot l_{tubo} \cdot P_{cil}$$

$$l_{tubo} = \text{numero de briquetas en el tubo} \cdot l_{briq}$$

$$l_{tubo} = 6.39,8 = 39,8 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow F_f = 0,0127 \cdot \pi \cdot 25 \text{ cm} \cdot 238,8 \text{ cm} \cdot 6 \text{ kN/cm}^2 = 1\,429,15 \text{ kN}$$

Comprobación:

$$F_{vas}^{per} < F_f < F_{cil}$$

$$271,54 \text{ kN} < 1\,429,15 \text{ kN} < 2\,945 \text{ kN}$$

Observación: La fuerza de fricción de las briquetas en el tubo de salida tiene que ser superior a la fuerza de perforación del vástago, (si no, las briquetas van a salir empujado por la acción del vástago sin la formación de los orificios), a la misma vez tiene que ser inferior a la fuerza de empuje del embolo garantizando la salida de las briquetas. Ojo, la fuerza responsable para la densificación de la biomasa es la misma que garantiza la expulsión de las briquetas.

3.4.3 Cálculo del Espesor Mínimo del Tubo de Compactación.

Se determina el espesor (δ_{tubo}) del tubo a partir de la ecuación 2.48:

$$\delta_{tubo} \geq \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot \lambda_{est} \cdot r \cdot l \cdot P_{cil} + r^2 \cdot [\sigma]_t}{[\sigma]_t}} - \frac{D_{briq}}{2} \dots \dots \dots mm$$

Material del tubo: Acero 20 normalizado

$$\sigma_F = 42 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow [\sigma]_t = \frac{\sigma_F}{n} = \frac{42}{1,8} = 23 \text{ MPa}$$

$$(\mu \cdot \lambda_{est})_{briq} = \mu \cdot \lambda_{est} \left(1 - \frac{d}{D} eq\right)$$

$$\mu \cdot \lambda_{est} \dots \dots \dots 0,0127$$

$$(\mu \cdot \lambda_{est})_{briq} = 0,0127 \cdot (1 - 0,52) = 0,0061$$

$$l = l_{briq} = 398 \text{ mm}$$

Sustituyendo los valores

$$\delta_{tubo} \geq \sqrt{\frac{2.0,0061.125.398,60 + 125^2.23}{23}} - \frac{250}{2} = 6,2 \text{ mm}$$

Observación: Se necesita un tubo con un espesor mínimo de 6,2 *mm*. Además de esto, se colocan nervios transversales y laterales en el tubo, que a su propósito incrementan la resistencia mecánica del tubo. Ver comprobación en el epígrafe 3.4 y el diseño final en el anexo 13.

Conclusiones parciales

1. Las características geométricas de una briqueteadora hidráulica multitubular, se calcula en función o en base de los dimensiones de la briqueta y de la capacidad de producción de la misma. Estas características son las básicas y fundamentales para diseñar tal máquina.
2. Se describe una secuencia general de fórmulas que permite extraer valores en términos de magnitudes físicos de los elementos críticos de cualquiera máquina que se quiere diseñar. Se puede seguir la estructura del cálculo del caso presentado y lograr a un resultado definitiva.
3. El uso de un algoritmo electrónico facilita el proceso de diseño, de tal manera, que si lo dicho esta hecho a escala, permite el diseñador ver en el espacio la pieza o el conjunto de piezas en su totalidad, haciendo posible corregir errores geométricos de acoplamiento de un elemento y sus agregados.
4. El uso de programas certificadas para diseñar permite obtener productos de calidad superior a menor costo también se puede mejorar procesos existentes y estudiar el fallo de un componente estructural con sus componentes.

CAPITULO 4: PREDETERMINACIÓN DEL COSTO DE FABRICACIÓN DE LA MAQUINA BRIQUETEADORA HIDRÁULICA¹⁹

4.1 GENERALIDADES DEL COSTO

El costo de producción constituye un instrumento de control y de vital importancia, ya que el análisis del mismo refleja el conjunto de gastos incurridos en la fabricación del producto o prestación de servicio. Es también la expresión monetaria de los gastos de producción, es decir, los gastos corrientes de las empresas en la elaboración de la producción. En él se incluyen los gastos de materias primas y materiales auxiliares empleados en cualquier tipo de fabricación, los gastos de trabajo humano que representamos por salario, la parte de los activos fijos tangibles que se transfieren al producto en forma de depreciación, el valor de la energía consumida, los gastos por concepto de seguridad social, así como otros gastos necesarios que apoyan indirectamente todo tipo de fabricación.

El costo como categoría económica expresa la eficiencia en el trabajo, constituye un indicador generalizador de la calidad y permite comparar la producción obtenida y la magnitud de los gastos incurridos en su fabricación, reflejando en el ahorro de los recursos materiales, humanos y financieros.

Los principales elementos del costo de producción expresado en forma monetaria son:

- I. El valor de las materias primas.
- II. Materiales auxiliares empleados en la fabricación de la máquina.
- III. Los gastos relacionados con el trabajo humano, que compensa los valores de los productos para sí, representándolo por el salario.
- IV. La parte de los activos fijos tangibles que se transfieren en al producto en forma de depreciación.
- V. El valor de la energía consumida.
- VI. Los gastos indirectos y otros gastos.

¹⁹Dr. Fundora Beltrán, P. (2002). *Estudio de la densificación de la paja de caña sin preparación previa con tecnología hidráulica para el perfeccionamiento de su proceso tecnológico*. Tesis. Para optar para el grado científico de Máster en Ciencias Técnicas. Cienfuegos, Universidad de Cienfuegos.

4.2 CALCULO DE LAS MATERIAS PRIMAS Y LOS DISPOSITIVOS

En el diseño de la máquina se utilizó varios materiales primas y dispositivos. Para simplificar el cálculo económico del dicho se las analiza en una forma tabular expresando el costo total por unidad o por tonelada métrica precediendo la deducción de la cantidad y precio.

Tabla 4.1 Listado de materiales, dispositivos y piezas

No.	Designación	Material	UM	USD	Cantidad utilizada	USD
1	Viga canal (N:27) (20')	AC- 20(CT3)	TM	\$5,14/ft	92'	472,88
2	Cilindro hidráulico 120	-	UN	520,00	2	1040,00
3	Cilindro hidráulico 160	-	UN	910,00	2	1710,00
4	Plancha 40x4000x6000 mm	AC- 20(CT3)	TM	632,00	1,5	948,00
5	Plancha 25x4000x6000 mm	AC- 20(CT3)	TM	632,00	1,2	758,00
6	Plancha 8x4000x6000 mm	AC- 20(CT3)	TM	450,00	5,37	2416,5
6	Tubo sin costura 250x6000 mm	AC-35	UN	173,16	0,6	103,89
7	Barra cuadrada 40x40 mm	AC-35	TM	65,00	1	65,00
8	Tornillo M24x100 Tuerca M24 Arandela M24	AC	UN	1,07	36	38,52
		AC	-	0,85	36	30,6
		-	-	0,45	36	16,2
9	Tornillo M20x110 Tuerca M20 Arandela M20	AC		1,44	50	72,00
			UN	0,85	50	42,50
				0,32	50	25,00
10	Tornillo M12x75 Tuerca M12 Arandela M12	AC		0,535	48	25,68
			UN	0,425	48	20,4
				0,225	48	10,8
10	Caja de bola 6206	-	UN	15,5	4	62,00
11	Muelle vagón ferrocarril	-	UN	25,75	2	51,5

CAPITULO 4: PREDETERMINACIÓN DEL COSTO DE FABRICACIÓN DE LA MAQUINA BRIQUETEADORA HIDRÁULICA

	Ø180x230					
12	Motor eléctrico (75 kW)	-	UN	575,00	1	15 325,00
13	Bomba hidráulica	-	UN	799,95	1	799,95
14	Distribuidor hidráulico	-	UN	497,95	1	397,95
15	Acero angular 25x25x6000 mm	-	UN	15,75	7,5	118,125
16	Barras rectangulares 25x100x6000 mm	-	UN	40,05	3,68	147,38
17	Mangueras alta presión	-	UN	25,50	5	127,50
18	Depósito de aceite	-	UN	125	1	125,00
19	Arrancador magnético	-	UN	25	1	24
20	Manómetro	-	UN	10,50	1	10,5
21	Válvula de paso de globo 1 1/2	-	UN	25,50	2	51
Costo total						\$25 815,88

4.3 COSTOS DE MATERIALES AUXILIARES UTILIZADOS

Los bienes materiales son los materiales más importantes del costo de producción, desde el punto de vista cuantitativo-monetario. Esto representa el valor de todas las materiales primas y materiales que se integran y consumen en el proceso de producción.

En la fabricación de esta máquina se utilizaron materiales auxiliares, cuyo precio fue necesario investigar en las entidades correspondientes. El costo de materiales fue determinado tomando en cuenta su precio de adquisición y la cantidad de unidades utilizadas.

Durante el proceso de soldadura se utilizaron:

Tabla 4.2 Costo de electrodos

Designación	Unidades	UM	USD/kg	Cantidad utilizada (kg)	USD
Electrodo	Ac	TM	3,75	20	75,00
Recargo 10%	-	-	-	-	7,5
Costo Total	-	-	-	-	\$82,5

En el corte de materiales fueron utilizados el oxígeno y el acetileno. La siguiente tabla refleja el costo por unidad y el total de estos materiales.

Tabla 4.3 Costo del oxígeno y acetileno

Materiales	Unidades	Costo por unidad (USD)	Costo total (USD)
Balón de oxigeno	1	70,00	70,00
Balón de acetileno	1	85,00	85,00
Recargo 10%			15,5
Costo Total	-	-	\$170,50

4.4 LOS GASTOS RELACIONADOS CON EL TRABAJO HUMANO

El salario es la expresión monetaria de la parte fundamental del producto necesario que se crea en las empresas, y se destina al consumo individual de los trabajadores, incluyendo las remuneraciones que se realicen a los obreros, a partir del fondo de salario.

La seguridad social incluye los gastos originados por la aplicación al salario de la tasa aprobada para ella. En la realización del cálculo se desglosa por los operarios que intervienen en la fabricación de cada pieza, teniendo en cuenta la tarifa horaria correspondiente a cada uno, las horas trabajadas y el gasto de salario según las mismas.

Para determinar el gasto de salario se multiplicaron las tarifas horarias por las horas que debe trabajar cada obrero, dado el salario devengado por cada trabajador, y este se multiplica por el coeficiente empleado para vacaciones (9,09%) y el coeficiente empleado para la seguridad social que representa el 14% sobre la suma del salario y las vacaciones.

El gasto total en salario y seguridad social se determinó por la suma del salario, las vacaciones y la seguridad social. Esto se representa en la siguiente tabla.

Tabla 4.4 Gastos de salarios y seguridad social

Obreros	Horas de trabajo	Tarifa horario	Gasto de salario (MN)
Soldador A	64,02	1,62	104,10
Soldador B	101,39	1,33	134,81
Pailero	69,32	1,56	109,29
Tornero B	41,5	1,72	71,46
Tornero C	12,65	1,1	13,96
Fresador B	55,98	1,3	72,60
Ayudante	70,11	0,8	56,60
Taladrador B	42,43	0,86	36,80
Cortador de materiales	11,57	0,91	10,58
Total de salario			591,70
Total de vacaciones			59,17
Total de seguridad			91,12
Total			741,99 (U.S \$30,92)

4.4 GASTO GENERADO POR LA AMORTIZACIÓN DE LOS EQUIPOS

La amortización es el traspaso gradual del valor de los medios de trabajo, a medida que se desgastan, a los productos que se elaboran y la utilización de ese valor para la reproducción ulterior de los fondos fijos de producción.

Los descuentos de amortización representan el valor en forma monetaria de los fondos fijos en funcionamiento, traspasado a la producción elaborada y se incluye en el costo de producción. Con la amortización se persigue acumular recursos para reponer el gasto de los fondos fijos durante su tiempo de explotación, así como restituirlos totalmente cuando se les da de baja en la producción.

La amortización incluye los gastos calculados a partir del valor inicial de los activos fijos tangibles, aplicándole las tasas de amortización establecidas para cada equipo. Para la realización del cálculo que se refleja en la tabla siguiente, se tomaron en cuenta los precios de los equipos, el porcinito establecido para cada uno y el tiempo efectivo de utilización de los mismos.

Tabla 4.5 Amortización de los Equipos

Maquina	País	Precio(USD)	Amortización actual (USD)	Amortización por horas(USD)	Tiempo efectivo (h)	Gasto total(USD)
Taladro 2 M 55	URSS	2131,82	42,64	0,018	43,43	0,78
Rectificador de soldadura	URSS	1748,48	34,97	0,015	172,43	2,59
Torno 16K20	URSS	35178,00	703,56	0,305	54,41	16,59
Segueta mecánica	URSS	850,00	17,00	0,007	9,57	0,07
Fresadora 6 P12 y 13	URSS	7054,77	141,10	0,061	55,98	3,41
Rectificador 3Y132	URSS	4100,00	82,00	0,036	18,00	0,65
Equipo de oxicorte	URSS	13860	693,00	0,301	86,00	25,89
Costo total						\$47,98

4.5 COSTO POR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Fue necesario determinar la energía eléctrica necesaria de acuerdo del consumo de las maquinas herramientas utilizadas y la cantidad de horas trabajadas por cada uno de ellas y teniendo en cuenta los datos aportados por la empresa eléctrica del costo kWh. = \$0.09

En la siguiente tabla se muestra dichos cálculos.

Tabla 4.6 Costo de la energía eléctrica

Equipos	Horas de trabajo	Gasto en una hora (KW)	Energía Consumida (kWh)	Costo Total (USD)
Taladro	22,15	8,4	186,06	16,74
Rectificador de soldadura	100,3	32,0	3209,6	288,864
Torno	30,00	12,97	389,1	35,019
Segueta mecánica	8,00	1,5	12,00	1,08
Fresadora	35,00	13,62	476,70	42,84
Rectificadora	10,00	10,53	105,30	9,477
Costo total				\$394,02

4.6 Costo total de la fabricación

Después de tener valoración de los costos, analizando diversos gastos que se tendrá en la fabricación de la máquina, se refleja en la siguiente tabla el costo preliminar en las tablas anteriores.

Tabla 4.7 Costo total de fabricación

Gasto total de materiales y piezas.	USD
Dispositivos y materiales	25 815,88
Materiales auxiliares	253,00
Gastos en salarios y seguridad social	30,92
Amortización de equipos	47,98
Energía eléctrica	394,02
Total	\$26 541,80

4.7 Análisis de los resultados

Como se observa en la tabla anterior, el costo total de fabricación de la maquina es de \$26 541,80USD.

Si incorporamos un 23% para las ganancias de la empresa productora, el costo de la maquina es de \$36 646,41USD.

El precio de venta de la tonelada de briqueta, en el lugar de consumo oscila entre \$10,3 USD Y \$15,4 USD²⁰. Se considera el mejor precio de la tonelada de briqueta,

²⁰Dr. Fundora Beltrán, P. (2002). *Estudio de la densificación de la paja de caña sin preparación previa con tecnología hidráulica para el perfeccionamiento de su proceso tecnológico.*

como el gasto en producirla, incluyendo el salario, gasto de energía, amortización de equipos etc. Si una tonelada de petróleo es aproximadamente equivalente a tres toneladas de briquetas. El precio actual de la tonelada de petróleo es de \$74,93USD/Barril (592,84 USD/T). Por equivalencia energética, una tonelada de briqueta vale \$180,13 USD, si restamos el costo en producir la, ahorraremos \$360,25 USD, si empleamos las briquetas como combustible alternativo y sustituyendo del petróleo en aplicaciones específicas. La briqueteadora diseñada puede producir briquetas a capacidades mayores de 2,43 t/h. Si trabajamos 8 horas al día, 24 días al mes y 10 meses al año, se producen 4 665,6 toneladas de briquetas al año, que representa un ahorro de equivalente de \$1 680 782,4 USD.

Conclusiones parciales

1. El incremento de los precios del petróleo y su abastamiento fortalece la necesidad de usar las briquetas de biomasa como fuente de energía alternativa y renovable.
2. Los resultados precedentes confirman la factibilidad técnico-económica de la densificación con briqueteadoras hidráulicas y posibilitan asegurar que constituye la tecnología de densificación apropiada para las características de y condiciones de las biomasa.
3. Se asume un precio de venta de la briqueteadora elevado e igual a tres veces superior al costo de fabricación, resulta comparable con el precio unitario inferior de las tecnologías mecánicas de husillo y tres veces menor que el precio unitario correspondiente a las tecnologías afines. La ganancia, al utilizar briquetas de biomasa además de ser económica, también es medioambiental.
4. El análisis demostró que es factible, desde el punto de vista económico, que resulta ventajosa densificar las biomasa. Para Cuba y los países del tercer mundo y muchos países desarrollados carentes de petróleo esta resulta una alternativa obligada.

CONCLUSIONES

1. El valor técnico y socio-económico del uso de las briquetas se ve más clara cuando este sustituido por otros combustibles non-renovables por ejemplo el petróleo y el carbón. Incrementando la cantidad de máquinas en funcionamiento y/o sus capacidades de producción favorece la factibilidad y fiabilidad de la dicha máquina.
2. La metodología ilustrada para el diseño de una briqueteadora multitubular es una herramienta útil para cualquier ingeniero/técnico que desee construir una máquina. Es clara, concisa y sistemática mostrando los pasos necesarios para el desarrollo de un equipo partiendo de la capacidad de producción y dimensiones físicas de la briqueta.
3. La briqueteadora hidráulica para producir briquetas multitubulares, Tiene además la posibilidad producir briquetas tubulares y macizas de diferentes dimensiones y en número que se corresponda con la sección transversal de las mismas.
4. Es flexible y sirve para compactar biomasa de diferentes densidades y granulometría. Su empleo es una respuesta definitiva e ideal a la producción de combustibles sólido utilizando la biomasa.

RECOMENDACIONES

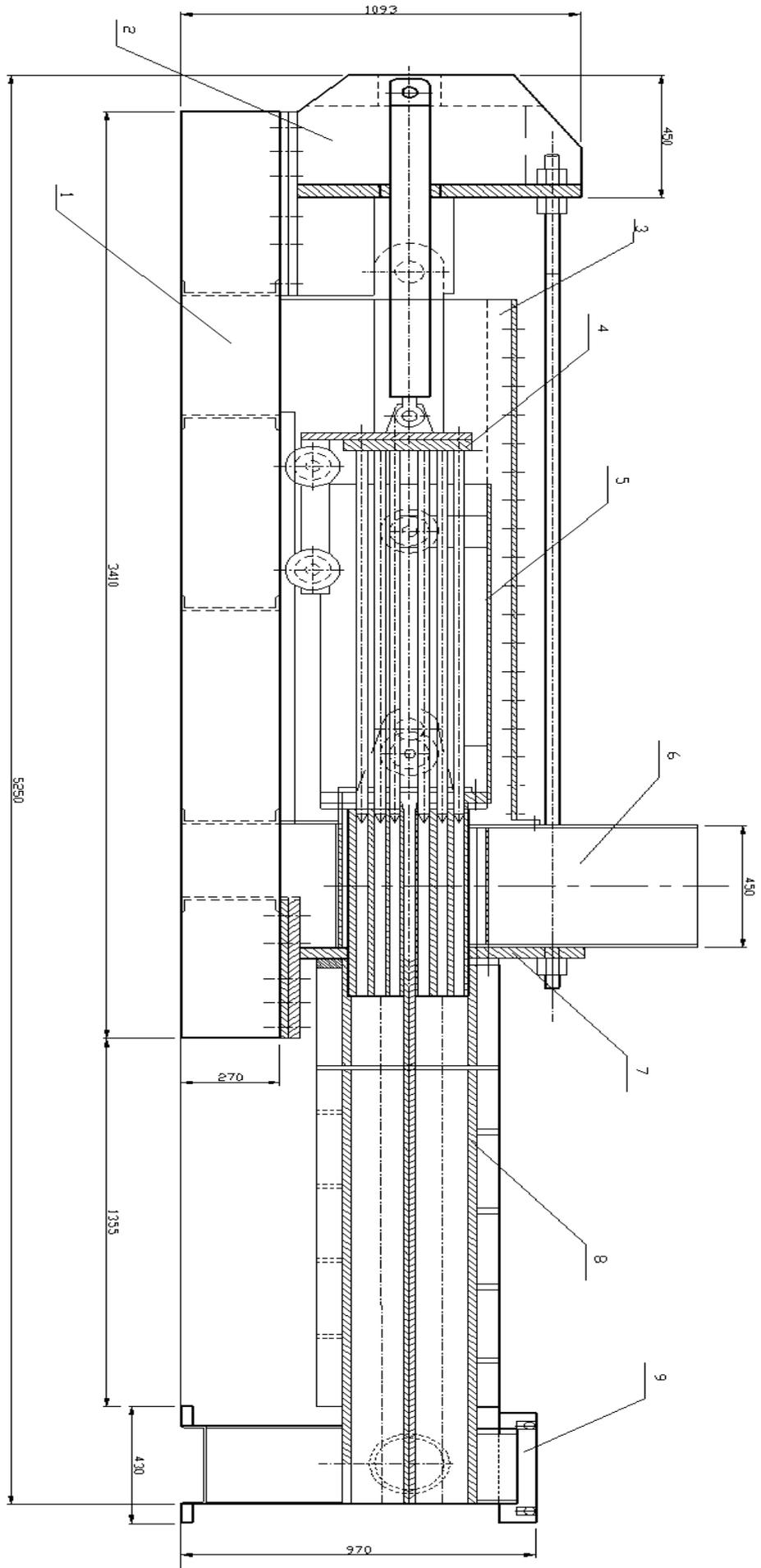
1. Promocionar el uso de briquetas por medios de comunicaciones como un combustible sólido útil para hogares e industrias según sus aplicaciones.
2. Informar la población (domésticoe industrial) sobre la importancia de utilizar esta tecnología (briquetas) para satisfacer sus demandas energéticas no solo en tiempo de crisis tradicionales, pero también en la vida cotidiana.
3. Utilizar la metodología en conjunto con el ejemplo mostrado como una guía en el diseño de otra briqueteadora hidráulica multitubular de capacidad distinta.
4. Diseminar localmente e internacionalmente los logros de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

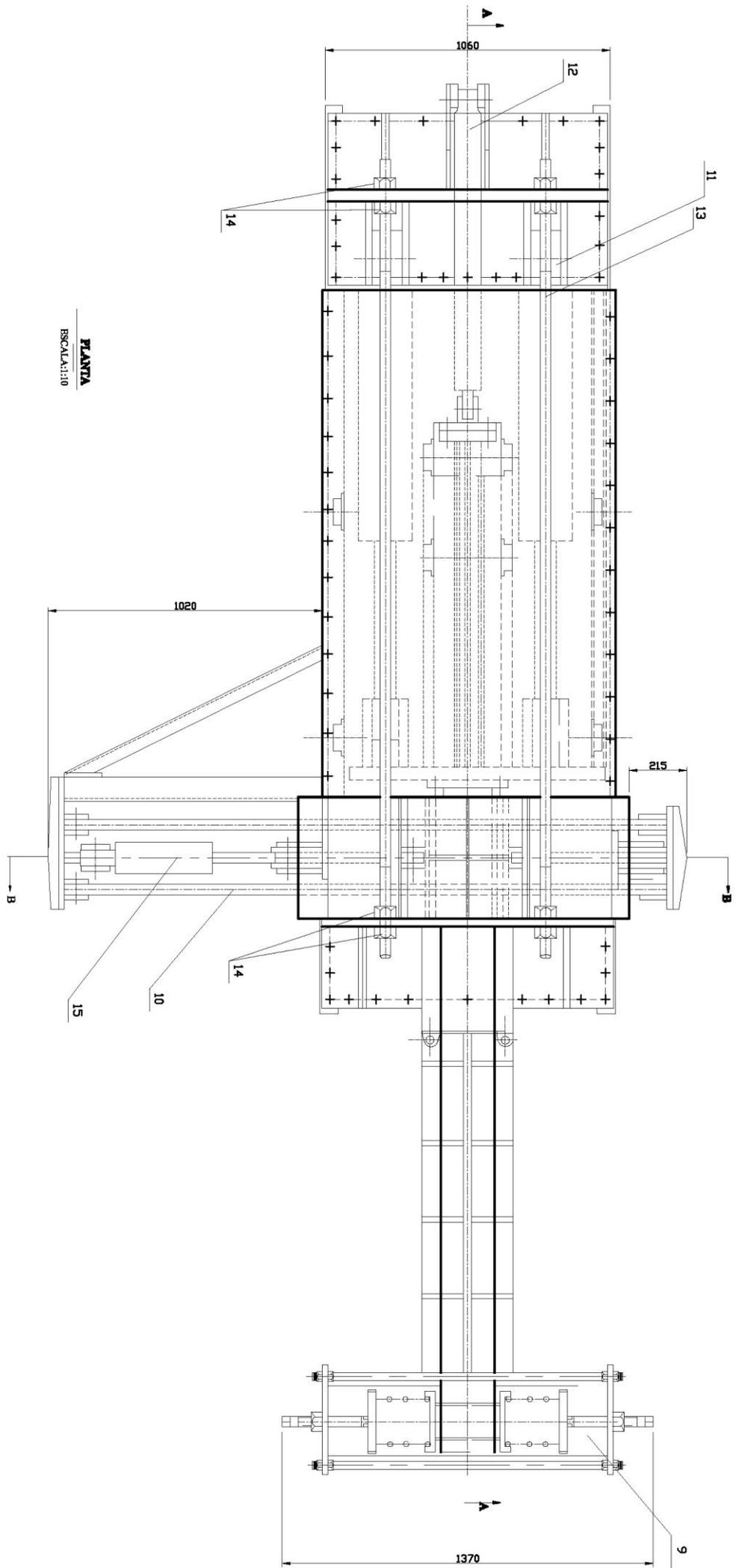
- Arrechea, J. (1996). *Construcción y evaluación de dispositivos para la determinación de la presión transversal en la compactación de la paja de caña*. Trabajo de diploma, Universidad de Cienfuegos.
- Barriando, E. (2000). *Dispositivo para producir briquetas cilíndricas tubulares de paja de caña de diferentes dimensiones*. Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos.
- Betancourt, E. (1996). *Diseño de Briqueteadora Hidro-Mecánica de elevada capacidad*. Trabajo de Diploma.
- Bhattacharya, S (n.d.). *Biomass energy and densification: A Global Review with Emphasis on Developing Countries Energy Program*. Asian Institute of Technology
- Bhattacharya, S. Augustus Leon, M., & Rahman, M. (2004). *A Study on Improved Biomass Briquetting. Energy Program, School of Environment, Resources and Development*. Asian Institute of Technology.
- Castex, I. (1992). *Proyecto Constructivo de briqueteadora Hidráulica para paja de caña*. Trabajo de diploma, Universidad de Cienfuegos.
- Colectivo de autores. (1986). *Tecnología de construcción maquinaria*. Ciudad de la Habana: Pueblo y Educación.
- Díaz Torres, J., & Bravo Nunez, J. (1997). *Diseño de la maquina empacadora briqueteadora hidráulica de paja de caña*. Trabajo de diploma.
- Dr. Fundora Beltrán, P. (2002). *Estudio de la densificación de la paja de caña sin preparación previa con tecnología hidráulica para el perfeccionamiento de su proceso tecnológico*. Tesis. Para optar para el grado científico de Máster en Ciencias Técnicas. Cienfuegos, Universidad de Cienfuegos.
- Elementos de fijación; tornillos, tuerca, arandelas, y pasadores; selección*. (1986).
- Energy Working Group. (2008, November). (p.17,35)
- Ensuring increasing and sustainable biomass production: The importance for international bioenergy trade. (2007). (p. 4, 14, 21).15th European Biomass Conference & Exhibition in Berlin, Germany. (p.15)
- Executive Committee of IEA Bioenergy. (n.d.). (p.2)
- Feodosiev, V. (1980). *Resistencia de materiales* (Tercera.). Impreso en la URSS: Mir. (p.579)

- Fernández Levy. (n.d.). *Resistencia de materiales* (1º ed.). Ciudad de la Habana Pueblo y Educación. (p.303-349)
- Granada Álvarez, E. (1999). *Estudio de la influencia de los parámetros humedad, temperatura y presión en el proceso de densificación, mediante auto-aglomeración, de biomasa ligneocelulósica residual*. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y Minas. Universidad de Vigo (España).
- Hernández Sampier, R. (n.d.). *Metodología de la Investigación* (1º ed.). San Miguel No.1111, Ciudad de la Habana, Cuba: Félix Varela.
- High efficiency bagasse cogeneration can meet up to 25% of national power demand.* (n.d.). .
- Ing. Dwight Abu, P. (2008). *Metodología del diseño de una maquina briqueteadora flexible multipropósito*. Trabajo de diploma, Universidad de Cienfuegos.
- Ing. Przybylski, J. (n.d.). *Dispositivos especiales para el maquinado* (Vol. 1). Ciudad de la Habana: Pueblo y Educación. (p.760)
- Jens Bo Holm, N. (n.d.). *Predicted energy crop potentials for bioenergy worldwide regions.* (p.4,6,13).
- Mani, Tabil, L., & Sokhansanj, S. (n.d.). *Evaluation of compaction equations applied to four biomass species.*(p.5)
- O'Dogherty, M., & Wheeler, J. (1984). *Compression of straw to high densities in closed cylindrical dies.*
- Pardillo, Y., & Polin, J. (1996). *Diseño y construcción de la briqueteadora hidráulica para paja de caña*. Trabajo de diploma, Universidad de Cienfuegos.
- Patente No. 1193011. *Prensa de residuos agrícolas. 30 de junio, 1987.SU*
- Patente No. 1232497. *Prensa de residuos agrícolas. 14 de enero, 1985.SU*
- Patente No. 1232497. *Biqueteadora para residuos de madera.*
- Patomsok, W. (n.d.). *Physical Characteristics of Maize Cob Briquette under Moderate Die Pressure Mechanical Engineering Department.* Engineering Faculty, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand.
- Peraza, L., & Pascual, N. (1994). *Modelo físico-matemático para la compactación de la paja de caña*. Universidad de Cienfuegos.
- Pisarenko. (1979). *Manual de resistencia de materiales.* la república socialista de Rumania.

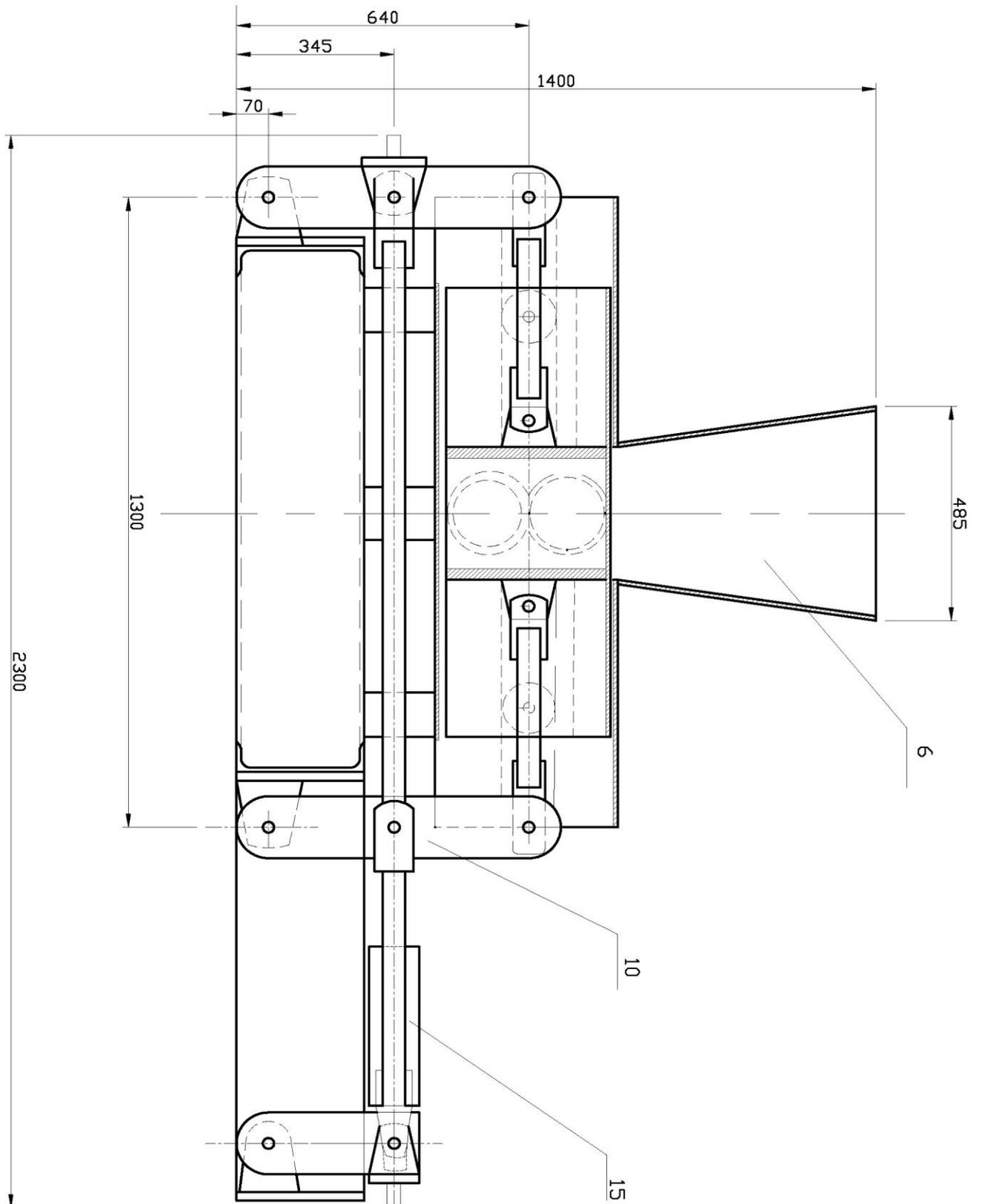
- Reed, G. J. (1979). *Biomass densification energy requirements*. Washington D.C. (p.3,7)
- Reshetov, D. (1990b). *Elementos de Maquinas*. La Habana: Pueblo y Educación. (p.31-67,88,643).
- Sánchez Pérez, Y. (1993). *Diseño de briqueteadora hidráulica para producir briquetas tubulares*. Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos.
- Sánchez, Y. (2001). *Diseño de briqueteadora Multipropósito para producir briquetas macizas y tubulares de paja de caña*. Trabajo de diploma, Universidad de Cienfuegos.
- Sokhansanj, S., & Turhollow, A. (2004). *Biomass densification-Cubing operation and cost for corn stower*. (p.11).
- World Bank. *Mauritius. Sugar Bio-Energy Technology*. (n.d). (p.1).
- World Bank/UNDP/Bilateral Aid. (n.d.). (p. 1-3).
- XIV Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe Ciudad de Panamá. (2003). (p. 1)



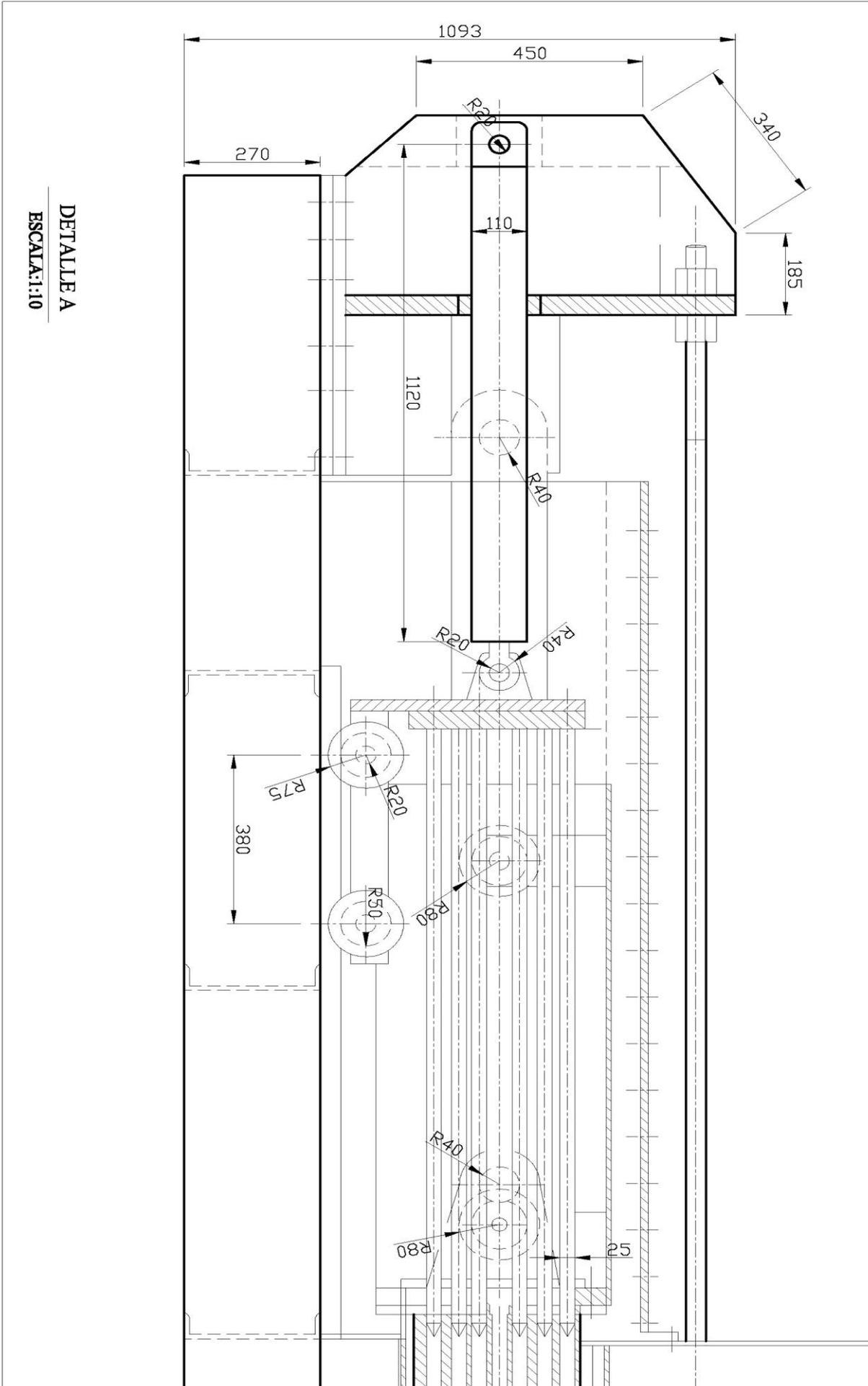
ELEVACION AA
ENCUADRIADO

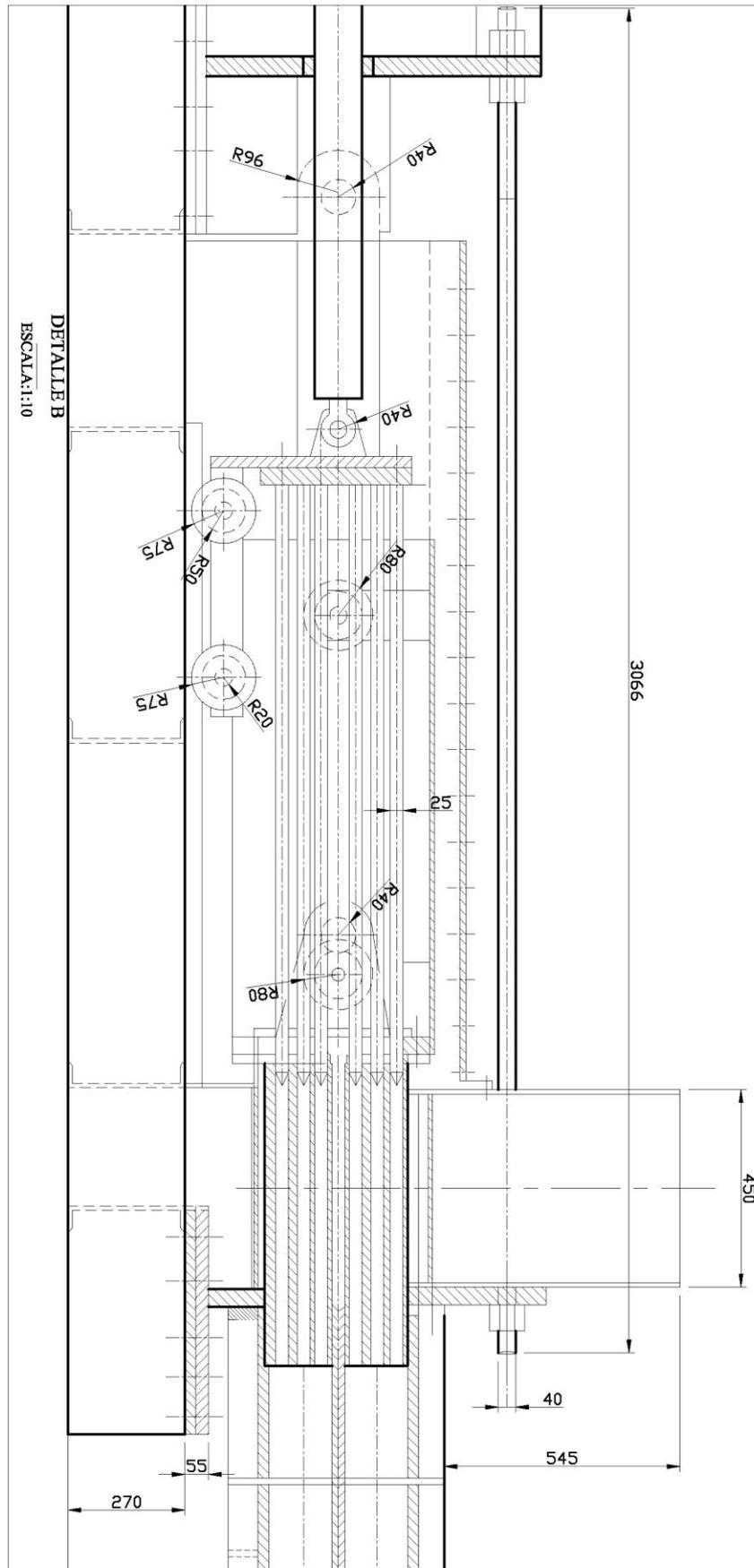


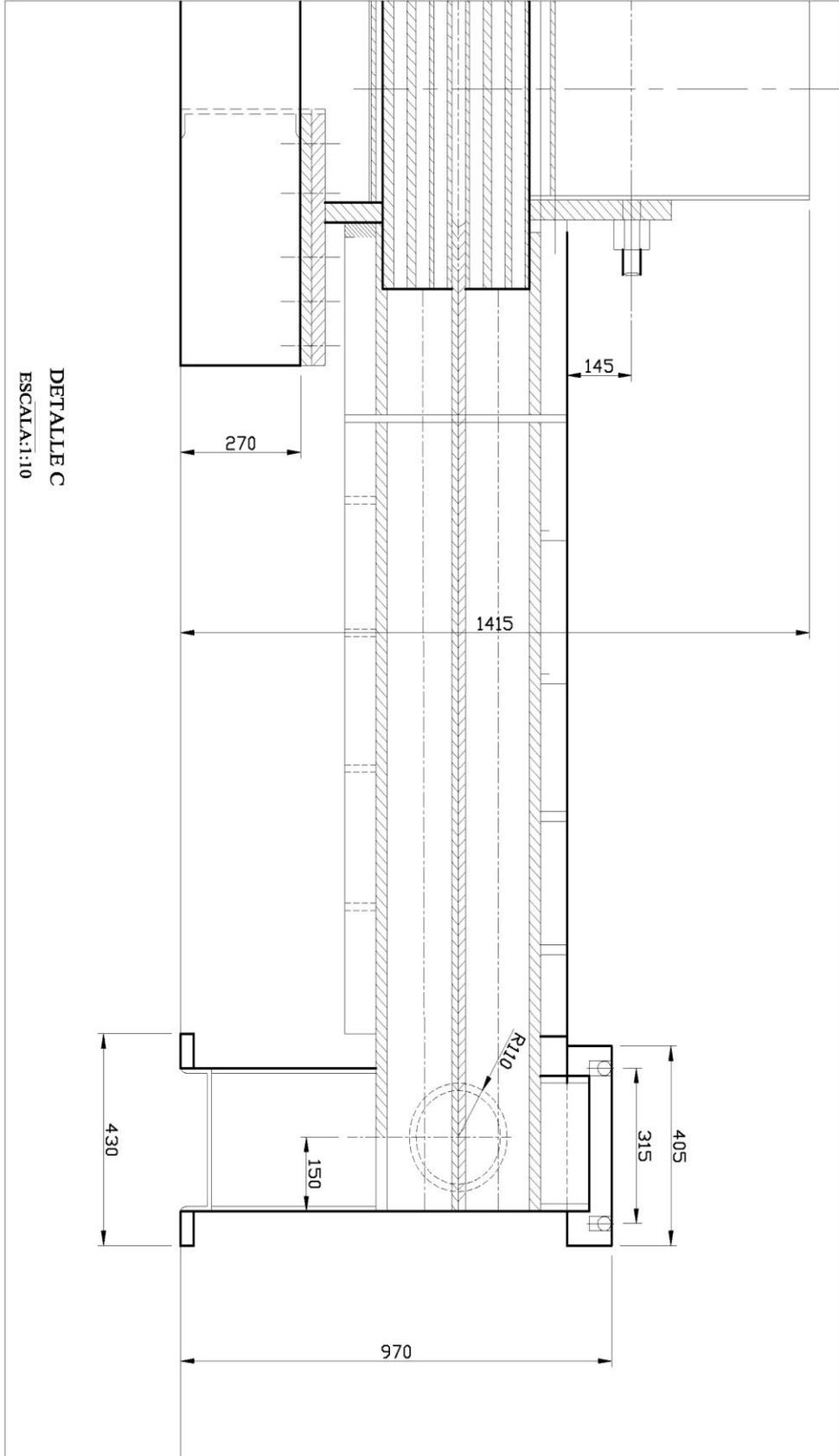
PLANTA
 ESCALA:1:10

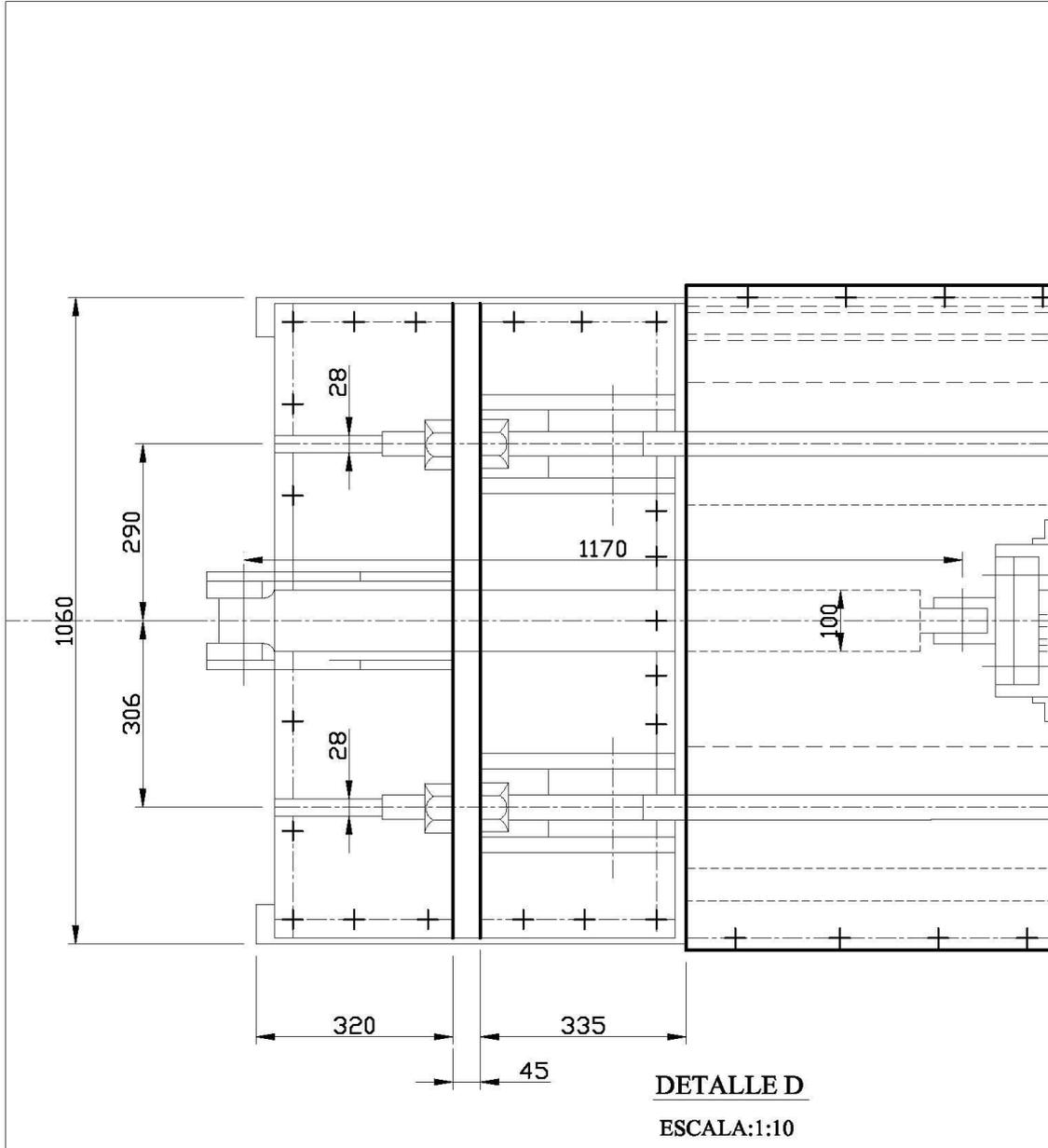


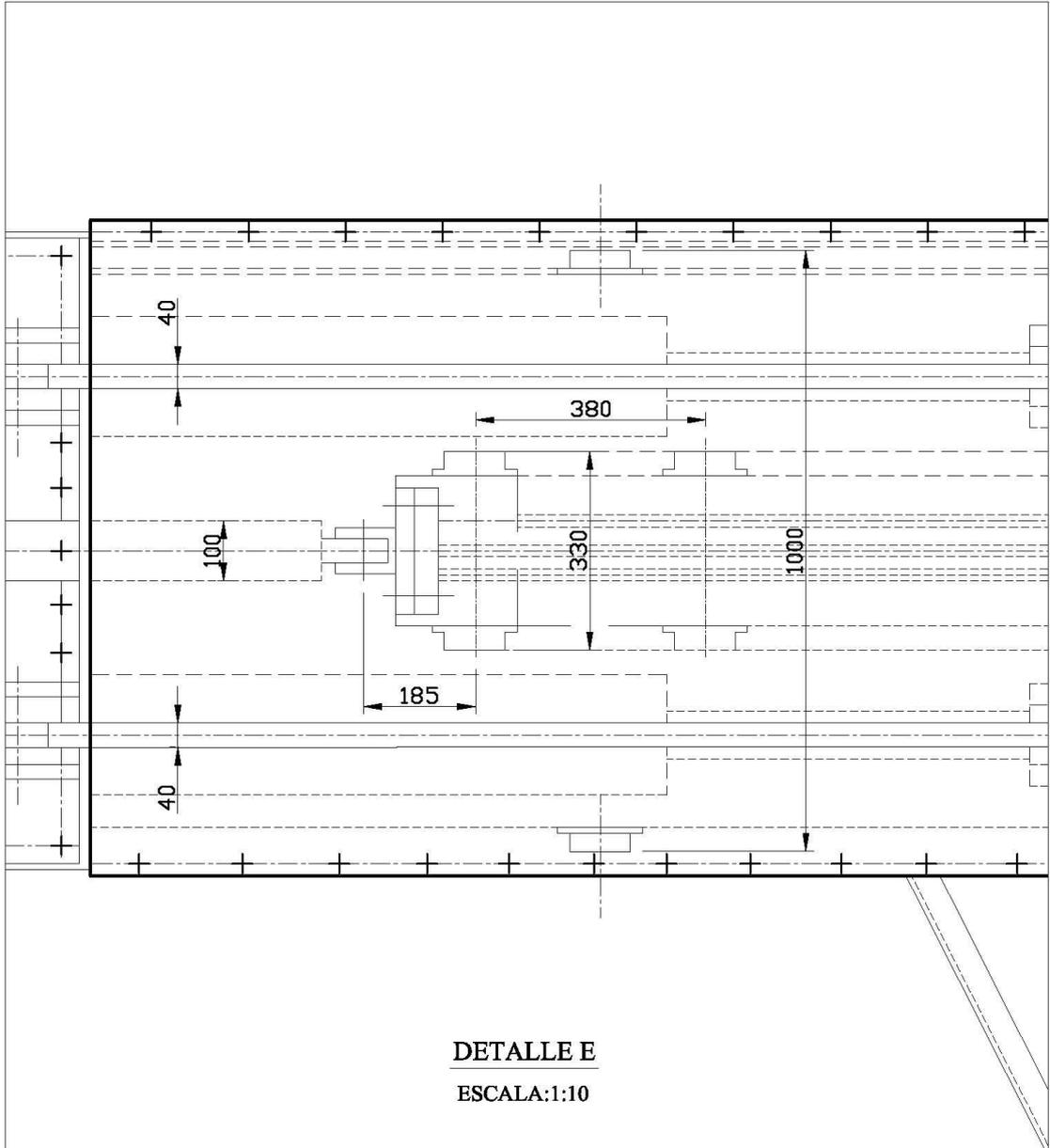
ELEVACION B-B

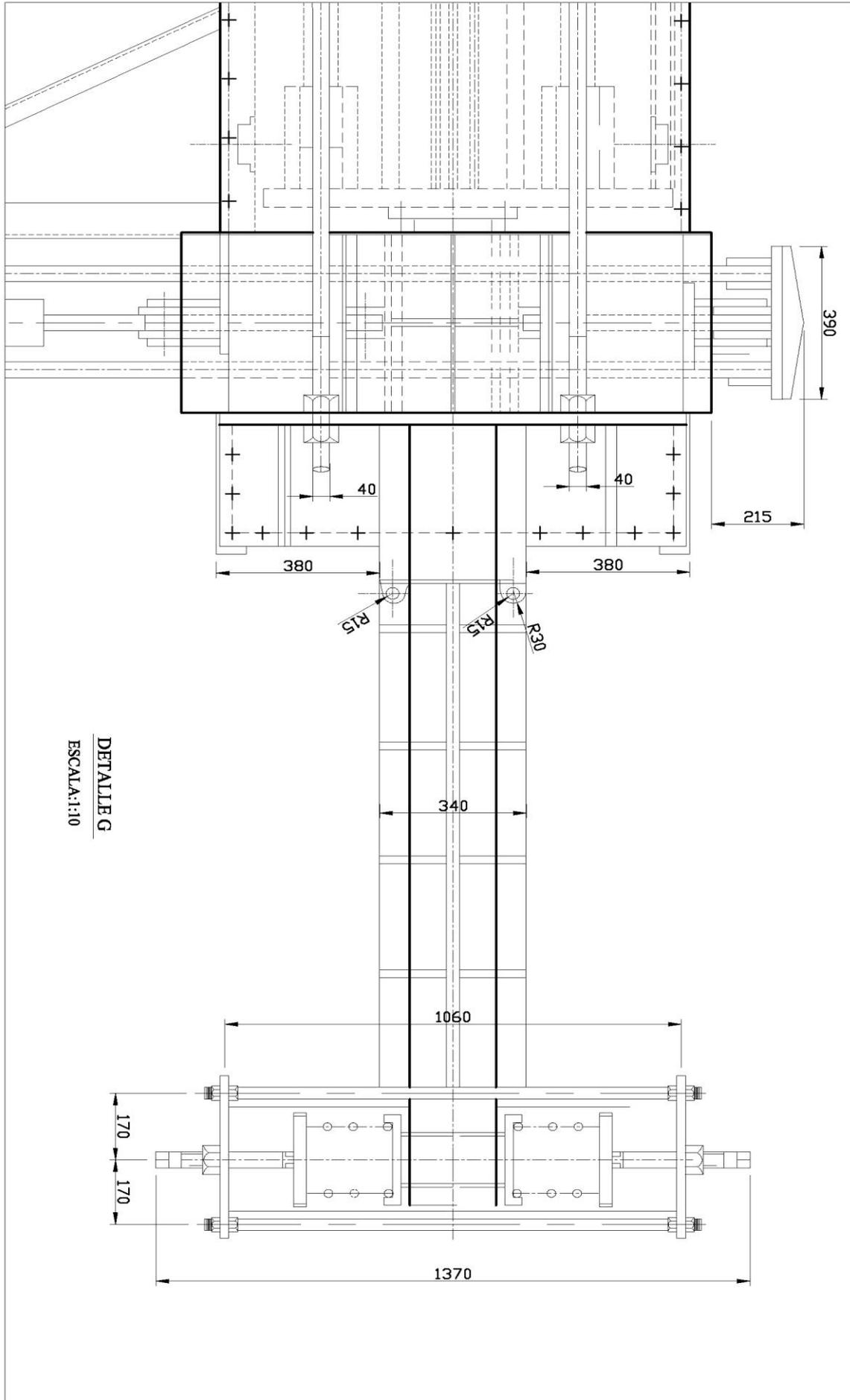




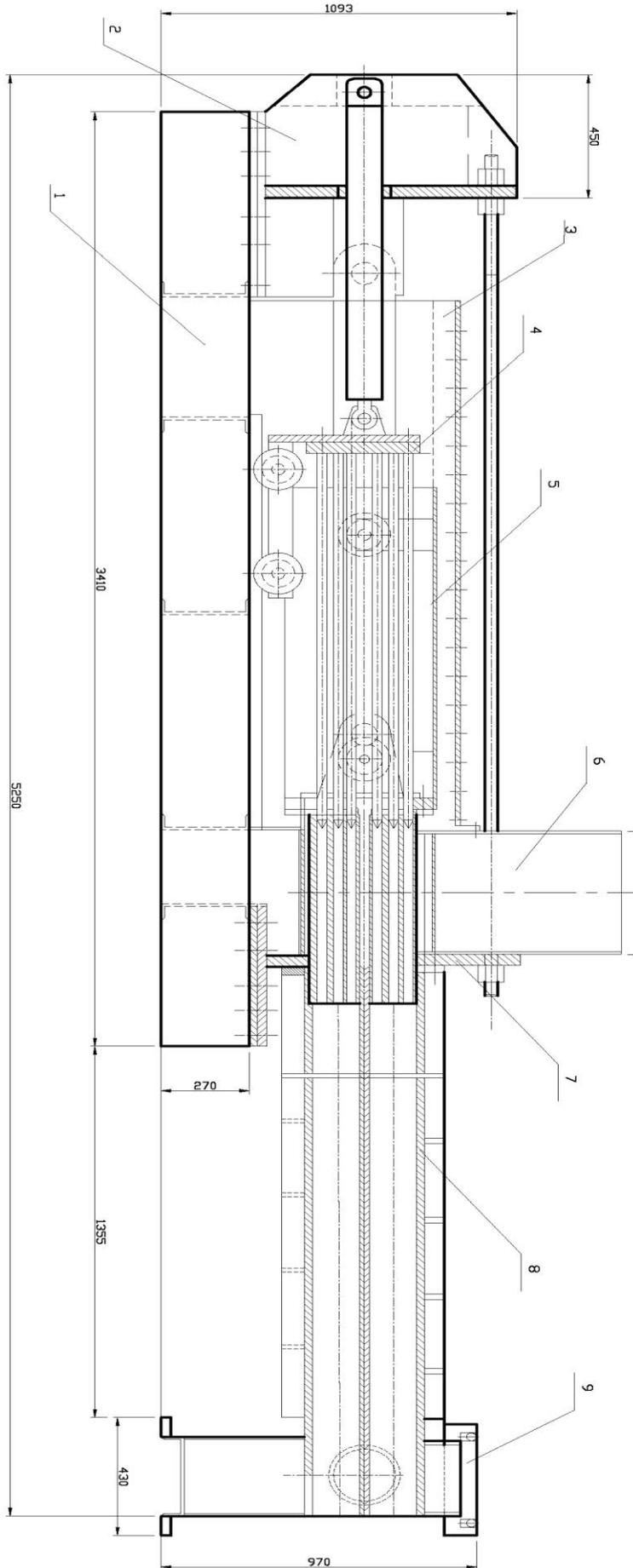








DETALLE G
ESCALA: 1:10



ELABORACION AA
ESCALA: 1:10

