



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Implementación de un sistema por carbonización hidrotermal de
pajilla de arroz para generación de biocarbon en Molinera
Tropical del Norte SAC**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Gastelo Sinches, Lorenzo Amado (orcid.org/0000-0003-2941-4736)

Huaman Fernandez, Jenry Geremias (orcid.org/0000-0001-5061-2580)

ASESORA:

Mg. Sovero Lazo, Nelly Roxana (orcid.org/0000-0001-5688-2258)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO – PERÚ

2023

Dedicatoria

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza en mi día a día, a mis padres y mi adorada hija quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A toda mi familia con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

Gastelo Sinches Lorenzo Amado

Dedico esta tesis principalmente a Dios, quien me ha dado la fuerza para superar todas las dificultades. A mi familia por el apoyo que me brindaron en todo este proceso de mi educación sin descansar, a mis padres quienes son mi motor y motivo quienes me incentivaron a seguir estudiando una carrera universitaria.

Huamán Fernández Jenry Geremias

Agradecimiento

Mi agradecimiento es dirigido a quien forjo mi camino y me dirigió por el sendero de la luz, a Dios, quien está en todo instante conmigo iluminando mi día a día. Mi gran estima y consideración a toda la comunidad educativa de la Universidad César Vallejo, del cual me encuentro orgulloso de pertenecer. También a mi asesora por su paciencia y apoyo durante el desarrollo de mi investigación. Mi enorme gratitud, a mis queridos padres y mi familia por su apoyo constante a lo largo de mi formación académica.

Gastelo Sinches, Lorenzo Amado

A mi familia, por haberme apoyado en todo momento, por el ánimo constante, a mis padres por instruirme por el camino del bien y de la verdad. A mis amigos y compañeros de trabajo por aportar y hacer que pueda concretar esta investigación. A esta casa de estudios, por acogerme y brindarme calidad educativa, a mis profesores que me instruyeron a lo largo de mi formación y en especial a mi asesor por apoyarme en esta investigación.

Huamán Fernández Jenry Geremias

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SOVERO LAZO NELLY ROXANA, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Implementación de un sistema por carbonización hidrotérmica de paja de arroz para generación de biocarbon en Molinera Tropical del Norte SAC", cuyos autores son HUAMAN FERNANDEZ JENRY GEREMIAS, GASTELO SINCHES LORENZO AMADO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 21 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SOVERO LAZO NELLY ROXANA DNI: 20048561 ORCID: 0000-0001-5688-2258	Firmado electrónicamente por: NRSOVEROS el 21- 12-2023 13:36:39

Código documento Trilce: TRI - 0704560

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL AUTOR



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, HUAMAN FERNANDEZ JENRY GEREMIAS, GASTELO SINCHES LORENZO AMADO estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Implementación de un sistema por carbonización hidrotérmica de pajilla de arroz para generación de biocarbon en Molinera Tropical del Norte SAC", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
JENRY GEREMIAS HUAMAN FERNANDEZ DNI: 47806650 ORCID: 0000-0001-5061-2580	Firmado electrónicamente por: JHUAMANFE el 21-12- 2023 22:04:21
LORENZO AMADO GASTELO SINCHES DNI: 47937051 ORCID: 0000-0003-2941-4736	Firmado electrónicamente por: LAGASTELOS el 21- 12-2023 21:56:46

Código documento Trilce: TRI - 0704561

Índice de contenidos

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	ii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL AUTOR.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Tipo y diseño de Investigación.....	11
3.2. Variables y operalización.....	11
3.3. Población, muestra y muestreo.....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.5. Procedimientos	14
3.1. Método de análisis de datos.....	16
3.2. Aspectos éticos.....	16
IV. RESULTADOS.....	17
V. DISCUSIÓN	24
VI. CONCLUSIONES.....	28
VII. RECOMENDACIONES	30
REFERENCIAS	31
ANEXOS.....	36

Índice de Tablas

Tabla 1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	13
Tabla 2. Producción por año de pajilla de arroz en toneladas	17
Tabla 3. Parámetros para operación de una planta HTC.	18
Tabla 4. Dimensionamiento del reactor HTC.....	19
Tabla 5. Dimensionamiento del agitador HTC	19
Tabla 6. Balance de masa del proceso hidrotermal de la pajilla de arroz.	20
Tabla 7. Producción de biocarbón.....	20
Tabla 8. Análisis económico del proyecto	22

Índice De Figuras

Figura 1. Flujograma procedimientos para el desarrollo de la investigación.....	15
---	----

RESUMEN

La importancia de la presente investigación, es compartir a la comunidad científica, una alternativa de producir biocombustible sólido a partir de pajilla de arroz, mediante un sistema de carbonización hidrotermal. El objetivo principal fue Implementar un sistema por carbonización hidrotermal de pajilla de arroz para generación de biocarbón en Molinera Tropical del Norte SAC.

El tipo de investigación fue, aplicada, diseño no experimental, enfoque cuantitativo, y un alcance descriptivo. La muestra fue la producción de pajilla de arroz del año 2022. Se aplicaron técnicas de observación y análisis documentario, e instrumentos como guías de observación y fichas textuales.

Como principales resultados se determinó la capacidad de producción de pajilla de arroz 3.69 ton/h, se determinaron los parámetros de operación de la planta HTC, siendo su capacidad del reactor 16.50 m³ y 21.60 la presión de diseño. Se determinaron los componentes teniendo un diámetro de 2.41 m y una altura de 3.62 m, así mismo se calculó la producción de biocarbón 2.55 ton/h, así mismo se realizó un análisis económico del proyecto, resultando viable el proyecto.

Palabras clave: Carbonización hidrotermal, biomasa, pajilla de arroz, biocarbón.

ABSTRACT

The importance of this research is to share with the scientific community an alternative to produce solid biofuel from rice straw, through a hydrothermal carbonization system. The main objective was to implement a system for hydrothermal carbonization of rice straw for the generation of biochar at Molinera Tropical del Norte SAC.

The type of research was applied, non-experimental design, quantitative approach, and a descriptive scope. The sample was the production of rice straw for the year 2022. Observation techniques and documentary analysis, and instruments such as observation guides and textual cards, were applied.

The main results were the rice straw production capacity of 3.69 tons/h, the operating parameters of the HTC plant were determined, with its reactor capacity being 16.50 m³ and the design pressure being 21.60. The components were determined to have a diameter of 2.41 m and a height of 3.62 m, and the biocarbon production of 2.55 ton/h was also calculated. Likewise, an economic analysis of the project was carried out, making the project viable.

Keywords: Hydrothermal carbonization, biomass, rice straw, biochar.

I. INTRODUCCIÓN

La biomasa constituye la tercera fuente de energía primaria en el mundo después del petróleo y el carbón, siendo esta un combustible sostenible y lo más importante renovable, en comparación con los combustibles fósiles convencionales, la biomasa logra reducir significativamente las emisiones de dióxido de carbono como también los gases de efecto invernadero (Cedeño, 2018).

En el ámbito internacional, en México el consumo de carbón vegetal es aproximadamente de 700,000 toneladas al año, donde la producción de alimentos preparados se basa principalmente en asadores de uso comercial, donde se utiliza carbón o leña como combustible (Castellanos, y otros, 2021), así mismo Chile consume cerca de 250,000 por calefacción ante las heladas. En el ámbito nacional, en Perú como en diferentes países en el mundo el carbón vegetal y la leña son combustibles tradicionales y han sido utilizados por muchas generaciones para preparar los alimentos, estas prácticas y formas de utilizar la energía a lo largo de los años han ido promoviendo el uso de estos combustibles en los negocios de comida (García, 2019). En gran parte de las regiones del Perú se usa carbón o leña como una costumbre ancestral para la cocción de alimentos, siendo la venta de carbón vegetal un negocio rentable, desconociendo la tala indiscriminada y deforestación, por ser de gran demanda (Paredes, 2022).

Las causas que conllevan al consumo masivo de carbón es su utilización como fuente de energía para en los hogares; también en las cadenas de restaurantes donde el carbón o leña es el combustible principal para cocción de los alimentos, contribuyendo significativamente a las emisiones de GEI, a través de toda su cadena de suministro que comprende la producción el transporte comercialización y preparación de los mismos (Valencia Cuero, 2019).

Así mismo, el uso de carbón vegetal trae como consecuencia la deforestación en el Perú, según el MINAM, en el último resultado de monitoreo satelital aparte de su programa de conservación de bosques, reporta que entre en 2001 y el 2020 se han perdido 2´636,585 hectáreas de bosques en territorio nacional, donde la actividad ilegal de tala genera la deforestación siendo un delito por no estar regulada (Sierra, 2021)., por otro lado, en el norte de la costa peruana se utiliza el algarrobo para la

fabricación del carbón, deforestando más de 13,330 hectáreas al año, teniendo uso doméstico como también en restaurantes y pollerías (Luque, L, 2021).

Bajo la problemática descrita líneas arriba, se presenta la carbonización hidrotermal como solución, esta tecnología aporta un valor especial a las industrias que generan residuos orgánicos (Constante Tamayo, y otros, 2020). La carbonización hidrotermal concentra el carbono y por lo tanto lo que tenemos es un producto final con un PCI de entre 23 y 24 MJ/kg, cantidad de cenizas por debajo del 4%, con la particularidad de que tienen un punto de fusión alto por encima de 1,250°C, lo que significa que no se van a fundir cuando combustione y por lo tanto eso nos evita problemas en los equipos de combustión, bajos niveles de azufre (< 0.3%) y cloro (< 0.3%), se puede briquetar o paletizar con una tasa nula de CO₂, y con un contenido de carbono superior al 60% (Chai, y otros, 2019).

En cuanto a los residuos de biomasa los más abundantes a nivel mundial son la caña de azúcar, el maíz, el arroz y el trigo; para el 2022 se estimó una generación de 502,086 millones de toneladas de arroz (Gómez , y otros, 2019). Según el MIDAGRI, en el departamento de Lambayeque existen 90 molinos de arroz, siendo esta la región con mayor capacidad de pilado, representando el 16% de todos los molinos en el país (Romero, 2018). La cáscara de arroz constituye una alternativa de combustible ya que posee un potencial energético alto (Alcantara , 2020). Según (Lozano, 2020), se ha determinado que resulta una tonelada de biomasa producto de la carbonización hidrotermal por cada cinco toneladas de arroz cáscara procesado.

Sabiendo que este residuo de biomasa representa una oportunidad rentable en la obtención de energía, (Bethancour, y otros, 2019). Es por ello que este proyecto de investigación parte de la necesidad de mitigar la tala y venta indiscriminada de carbón de leña de los bosques secos de la región, utilizando como alternativa de solución la carbonización hidrotermal de la cascarilla de arroz, para producir biocarbón, siendo la cascarilla de arroz un residuo orgánico abundante en la región y que no se está aprovechando energéticamente. El biocarbón es una alternativa para reemplazar al carbón vegetal y leña, siendo amigable con el ecosistema, contiene 5% de toxicidad, no emana humo, tiene un PCI cinco veces superior a la

leña, precio accesible, la combustión no influye en el sabor de la carne y sobre todo no deforesta (Rojas, 2021)

Expuesta la problemática, mediante la siguiente interrogante, se formula el problema ¿Mediante el sistema de carbonización hidrotermal de pajilla de arroz se logrará producir biocarbón en Molinera Tropical del Norte SAC? Este proyecto de investigación se justifica, en los siguientes criterios: En el ámbito social, creando conciencia y cultura sobre el uso de nuevas alternativas de energía limpia, busca fomentar en los empresarios una alternativa de solución a la contaminación que generan el funcionamiento de sus establecimientos. En el ámbito económico, hay una notable diferencia entre el costo del carbón vegetal y lo que sería una briqueta de biocarbón a partir de cascarilla de arroz, siendo más rentable para los empresarios optar por este combustible en sus restaurantes. En la parte ambiental, el biocarbón a partir de la cascarilla de arroz, es amigable con el medio ambiente, no emana humo y no genera CO₂ contribuyendo a la calidad de aire y sobre todo contribuye a la preservación de los bosques. En cuanto a la parte técnica, este proyecto se justifica mediante el empleo de la tecnología HTC, aplicando conocimientos termoquímicos para procesar la biomasa, para obtener el producto de alto valor añadido el hidro-carbón. cabe mencionar que es cinco veces energéticamente superior al carbón vegetal.

Este trabajo de estudio, tiene como objetivo principal: Implementación de un sistema por carbonización hidrotermal de pajilla de arroz para generación de biocarbon en Molinera Tropical del norte SAC. Se desarrollarán los siguientes objetivos específicos: Determinar la capacidad de producción de pajilla de arroz en Molinera Tropical Del Norte SAC, determinar los parámetros de una máquina para la carbonización hidrotermal de pajilla de arroz, determinar los componentes de una máquina para la carbonización hidrotermal de pajilla de arroz, determinar la producción de biocarbón obtenido a través del sistema de carbonización hidrotermal y determinar la viabilidad económica de la propuesta de mejora. Se formuló la hipótesis: La implementación del sistema de carbonización hidrotermal de pajilla de arroz permitirá la generación de biocarbón en Molinera Tropical del Norte SAC

II. MARCO TEÓRICO

Se argumenta este proyecto gracias al sustento de investigaciones realizadas; a continuación, se citan algunos proyectos de investigación en el ámbito internacional, nacional y local.

A nivel internacional, se encontró a (Kaune, 2022), en su artículo realizó un estudio sobre la cáscara de arroz y sus posibles aplicaciones industriales, para ello desarrolla una investigación teórica descriptiva empleando técnicas como el análisis documental, su población estuvo conformada por las diferentes variedades de arroz existentes en la región. Como principales resultados de su investigación se determinó el cálculo promedio de producción de pajilla de arroz para el 2020, siendo estas 113,680 toneladas métricas nivel nacional.

(Hernández, y otros, 2023), En su artículo científico realizó un estudio sobre el manejo de la cascarilla de arroz como residuo post cosecha, desarrollando una investigación experimental descriptivo, aplicando técnicas como el análisis documental y la observación directa, la población estuvo constituida por la producción de cascarilla de arroz de la variedad Morelos A - 2010, se consideró como muestra 30 gramos de cascarilla de arroz. Los principales resultados de su estudio experimental realizaron la caracterización de la cascarilla de arroz como material de partida encontrándose la Holo celulosa (53.8%) y sílice (70.6%), siendo los mayores porcentajes representativos en la cascarilla de arroz, así mismo el contenido de humedad oscila entre el 5.72% y el 9%. Así mismo se logró rendimientos del 29 al 41% de celulosa, así como también la formación de nano cristales con longitud promedio entre 86 y 173 nm.

(Torres, 2021), en su tesis de pregrado realizó el diseño operativo de una planta para la valorización de o biomasa residual a partir de papa en el estado de Bocayá, realizó una investigación de tipo descriptiva, utilizando como técnicas de recolección de datos la observación y el análisis documentario. Como principales resultados de su investigación determinó el porcentaje de rendimiento siendo este 68.62% para los sólidos, 26.38% para líquidos y el 5% para gas, así mismo se determinó que por cada 500 kg de biomasa a partir de papa se obtiene 300 kg de hydrochar, teniendo como relación de operación tres partes de agua por una de

biomasa. Asimismo, se determinó los parámetros del diseño del sistema hidrotermal, componiéndose por un silo rectangular de capacidad de 6 m³, luego de ser transportada la biomasa entra al reactor con una capacidad de 0,22 m³, operando un filtro con una capacidad de 521,641 litros, para luego pasar a la máquina de secado tubular con una capacidad de 0,12 m³, finalmente genera un paletizado de la biomasa con partículas de seis y 12 mm.

(Alvarez, y otros, 2022), en su artículo científico, realizó un estudio para estimar la presión de diseño de un reactor para sistema de carbonización hidrotermal en contacto con agua, para ello desarrolló una investigación teórica descriptiva empleando técnicas como el análisis documental. Como principales resultados de su investigación sugirió utilizar el factor de seguridad al menos 1.2 según su procedimiento establecido para hallar la presión de trabajo del reactor, así mismo se identificó que la estimación de la presión del reactor está relacionada con los parámetros de cantidad de CO₂ formado durante el proceso de reacción hidrotermal. También menciona que las condiciones de presión óptimas son las que determinan los costos y parámetros de construcción importantes para la seguridad como son el espesor de la pared del reactor y los materiales como también especificaciones técnicas para la fabricación del sistema.

(Ortega, y otros, 2021), realizó una investigación cuyo objetivo fue realizar un estudio sobre las alternativas del uso de residuos orgánicos (cascarilla de arroz), como fuente energética en Colombia. Esta investigación fue del tipo teórico descriptivo utilizando como técnica de recolección de datos el análisis bibliográfico y documentario. Como principales resultados se determinó que la cascarilla de arroz, debido al alto volumen de producción y sus desperdicios generados, tiene un potencial energético alto para Colombia, por lo que es necesario darle valor agregado a este residuo.

En cuanto a investigaciones realizadas a nivel nacional, encontramos a (Guzman, y otros, 2020); en su tesis de pregrado realizó un estudio para ver la viabilidad de elaborar briquetas ecológicas mediante el carbonizado de cáscaras de cacao. Desarrolló una investigación de tipo básica descriptiva, para lo cual utilizó el análisis documentario y bibliográfico, también la encuesta como técnicas de recolección de

datos. Como resultado se determinó que cada restaurante consume entre 200 a 300 kg de combustible sólido, por otro lado, datos obtenidos de la encuesta revelaron que el 77% de los empresarios entrevistados están dispuestos a adquirir este combustible alternativo, así mismo, el 57% de los entrevistados están dispuestos a comprar el carbón ecológico.

Así mismo, (Oré, y otros, 2022); En su artículo científico, realizaron una investigación sobre la producción de biocarbón, cuyo objetivo fue analizar y determinar sus propiedades, a partir de cáscara de cacao café y arroz. Desarrolló una investigación de tipo descriptivo para lo cual empleó técnicas de recolección de datos como el análisis documental y guías de observación. Como principales resultados se determinó el rendimiento de los residuos orgánicos muy cercanos al 50% para la cáscara de arroz mientras que el cacao no llegó ni al 10%, en cuanto a la humedad el biocarbón de cacao fue de 6.8%, mientras que el de cáscara de arroz fue de 3.3%. Así mismo en el análisis del biocarbón de cascarilla de arroz se registró un contenido elevado de silicio 38,2%, también se encontraron elementos como el titanio (15,12%), cesio (4,6%) y el estroncio (15,06%).

Por otro lado, encontramos a (Salazar, 2023); Quién realizó un artículo científico cuyo objetivo fue la determinar las principales características de los residuos sólidos urbanos incluido su poder calorífico en la provincia de Chiclayo, para ello empleó una investigación del tipo teórico descriptivo utilizando como técnicas el análisis documental y bibliográfico. Como principales hallazgos obtenidos se determinó que la producción de carbón mediante la carbonización hidrotermal se obtiene una producción de 0,5 kg de biochar por cada 8 kg de residuo sólido urbano, lográndose obtener un PCI de 7100 KJ/kg a 29200 KJ/kg, consiguiendo así evitar emisiones de efecto invernadero. También se estimó que la producción de biochar a partir de residuos sólidos urbanos tiene un potencial térmico para generar electricidad de 16 GWh por día y una Potencia de 591 a 1000 MWh por otro lado este biochar tiene utilidades diversas en la industria bioquímica.

Los procesos termoquímicos por lo general, se realizan de acuerdo a las condiciones del proceso, reacción y rendimiento del producto, que viene a ser la relación entre la masa del producto final con respecto a la materia entrante inicial.

Los procesos hidrotermales se dan cuando la materia prima sólida está rodeada del agua durante el proceso de reacción permitiendo que se eleve la presión gracias a la presión de vapor del reactor, con temperaturas de hasta 280C y presiones de hasta 60 bar en el proceso se genera poco gas entre el 1 y 5% convirtiendo a los compuestos orgánicos en sólidos, por otro lado, a temperaturas de hasta 400C y con el empleo de catalizadores se forman hidrocarburos líquidos produciéndose más gas (Sharma, y otros, 2020).

En las últimas décadas científicos e investigadores han explorado nuevas formas de pretratamiento para producir biocombustibles, entre estas tecnologías podemos mencionar la gasificación, torrefacción, pirólisis, y la carbonización hidrotermal. Haciendo una comparación entre estas tecnologías, la carbonización hidrotermal tiene amplia ventaja debido al requisito previo prescindible del secado de la biomasa antes de ser procesada (Vieira, y otros, 2019).

Se hace referencia a la carbonización hidrotermal como el calentamiento de la biomasa que también puede ser desechos orgánicos a temperaturas que oscilan entre los 180 a 350 C. Bajo presión autógena (Dutta, y otros, 2019). La tecnología HTC, nació de un proceso termoquímico efectivo rentable por su bajo costo para convertir desechos orgánicos en hydrochar como también otros productos de valor agregado. La carbonización hidrotermal da lugar a varias reacciones como la: Polimerización, hidrólisis, descarboxilación, deshidratación, aromatización y Re condensación (Kipngetich, y otros, 2022)

La carbonización hidrotermal dependiendo del equipo empleado para el proceso, se pueden clasificar en dos tipos: HTC convencional, donde se utiliza un reactor para llevar a cabo el proceso, en este tipo se tarda un tiempo considerable para lograr la carbonización (HTC) asistida por un microondas donde el proceso lo realiza en contados minutos, ambos métodos tienen el proceso similar a excepción del tiempo, por lo tanto se considera al método asistido por microondas como eficiente puesto que el convencional es un proceso con pérdidas de energía y de menor rendimiento (Liu, y otros, 2023)

El resultado de la carbonización de materias primas como: Biomasa, residuos de cosecha, cascarillas de arroz, RSU, entre otros, es el biocarbón. Para obtener

biocarbón tiene que ser de origen vegetal están constituidas por materiales lignocelulósicos, los objetivos de la producción de biocarbón, son: Aprovechamiento de los residuos, mitigar el cambio climático, mejora los suelos y producir energía (Medina, 2019)

Los parámetros operacionales que influyen en las características del hidrocarbón producido son: La temperatura, es importante puesto que afecta el rendimiento y las propiedades finales del hidrocarbón producido, ya que en el proceso se produce la deshidratación, descarboxilación e hidrólisis de la biomasa (Vieira, y otros, 2019). Al aumentar la temperatura en el proceso de carbonización se genera más energía para lograr romper enlaces químicos dentro de sus componentes estructurales de la biomasa. En temperaturas inferiores o igual a 200 °C, el rendimiento del hidrocarbón es bajo; por otro lado, sus propiedades físico-químicas se mejoran a medida que se aumenta la temperatura, como por ejemplo el contenido de carbono (Chai, y otros, 2019). La gravedad de reacción, es el resultado de la influencia de la temperatura y tiempo de residencia en los productos carbonizados los tiempos de residencia más largos incrementa la reacción siendo el contenido de carbón en el hydrochar mayor.

Otro parámetro importante es el contenido de humedad, proveniente de la misma biomasa, cabe mencionar que la carbonización no requiere de secado previo de la materia prima, este parámetro juega un rol importante en la captura de contaminantes y la capacidad de absorción del biochar. En los procesos hidrotermales se emplea agua por su bajo costo, no es contaminante y es una de las propiedades de la biomasa (Rössel-Kipping, 2019).

El tiempo de reacción es otro parámetro importante a considerar donde sugiere que el tiempo de reacción debe ser evaluada para determinar la influencia por diferentes tipos de biomasa, el tiempo de reacción también está determinado por el tipo de carbonización y de otra que pueden ser el método convencional o por microondas (Safarian, 2023). El tipo de biomasa, a mayor contenido de lignina de la biomasa mayor será el rendimiento del hidrocarbón producido, por lo tanto, la composición estructural y el tipo de biomasa están relacionados directamente al rendimiento del hidrocarbón (Azasi, y otros, 2020).

El proceso de la hidrocarbonización no necesita el suministro de una atmósfera inerte, asimismo no necesita el suministro de disolventes orgánicos, surfactantes o catalizadores, convirtiéndose como un proceso termoquímico verde, gracias a la escasa presencia de oxígeno los productos de oxidación son limitados en especial el CO₂, algunos investigadores han catalogado como una técnica de secuestro de CO₂, donde se aprovecha el carbono fijado por las plantas (Yeoh, y otros, 2019).

Por otro lado, en la tecnología HTC tiene un alto rendimiento sólido y de los compuestos orgánicos solubles en el agua, el proceso de la hidrocarbonización no emite gases al medio ambiente ya que se realiza en reactores herméticos, estos gases producto de la reacción aceleran el proceso ya que generan presión constante, no genera problemas en cuanto a la formación de alquitranes.

En cuanto a la variable biocarbón encontramos que el producto carbónico sólido favorece al proceso de paletizado gracias a sus características físico-químicas, por lo que no necesita de aglomerantes para su compactación, la materia prima de biomasa a hidro carbonizar no necesita tener un previo secado como lo hace en otros procesos termoquímicos. Los productos sólidos de la hidrocarbonización de biomasa son un factor clave para el desarrollo de áreas rurales, donde se le puede añadir valor agregado a los residuos sólidos domésticos (Ríos, y otros, 2020)

Los diferentes procesos de conversión de energía de la biomasa representan una gran oportunidad para mermar el calentamiento global y el cambio climático abrupto (Bethancour, y otros, 2019).

La cantidad de biomasa es ocho veces más que el consumo mundial de toda la energía proveniente de fuentes renovables en un año, se estima que alrededor de 146 millones de toneladas métricas al año es la producción de la biomasa, utilizar en varios rubros como la generación de energía o calor productos bioquímicos y fabricación de biocombustibles siendo la biomasa la única fuente de energía limpia que es capaz de reemplazar a los combustibles líquidos convencionales (Qi, y otros, 2019).

La cascara de arroz es un tejido vegetal que está formado por sílice y celulosa, elementos que le permiten tener un alto rendimiento como combustible. La

cascarilla de arroz es un residuo que se genera en el proceso del pilado de arroz, este es un desecho orgánico disponible en países productores de arroz. Una de las maneras de evaluar su potencial energético o su calidad como biocombustible es a través de un análisis inmediato o aproximado determinando sus características principales como son: materia volátil, cenizas, poder calorífico y la humedad (Armestoa, 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de Investigación.

Tipo de investigación: Según (RENACYT, 2021), esta investigación es de tipo aplicada, ya que se pretende implementar un sistema de carbonizado hidrotermal a partir de pajilla de arroz, para producir biocarbón. Este tipo de investigación permitió ser una guía para lograr resolver los problemas identificados (Ñaupas, y otros, 2018), se utilizará los conocimientos adquiridos en la formación académica para resolver el problema.

Diseño de la investigación: Se consideró diseño no experimental o también conocido como observacional, según (Arispe, y otros, 2020) los fenómenos de estudio se observan de manera natural para luego ser analizados así mismo no se pretende manipular las variables de estudio.

Enfoque: Esta investigación es de enfoque cuantitativo; se caracteriza por emplear técnicas y métodos cuantitativos, se usa la recopilación de datos y el análisis de estos para lograr responder las interrogantes de la investigación y estudio (Fernández, y otros, 2019).

Alcance: Descriptivo ya que se encarga de puntualizar las características de la población que está estudiando, permitiendo establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio (Guevara, y otros, 2020)

3.2. Variables y operalización.

Variable independiente: Sistema de carbonización hidrotermal.

- **Definición conceptual:** La carbonización hidrotermal es un proceso termoquímico que aprovecha la humedad de la biomasa, produciendo recursos altamente energéticos, en condiciones de presión (2 - 10 MPa) y temperaturas bajas (180 - 250 C) (Sharma, y otros, 2020)
- **Definición operacional:** Según (Pinto, y otros, 2022), La variable carbonización hidrotermal será medida por las dimensiones: Temperatura, presión, humedad, tiempo de reacción, tipo de biomasa.

- **Dimensiones:** Temperatura, presión, humedad, tiempo de reacción, tipo de biomasa.
- **Indicadores:** Temperatura, masa, área, humedad interna de biomasa, cantidad de agua añadida y flujo másico.

Variable dependiente: Biocarbón

- **Definición conceptual:** El biocarbón es un material carbonizado que se obtiene a partir de la biomasa con alto contenido de carbono, mediante una descomposición térmica en un entorno de oxígeno nulo o muy bajo según el tipo de biomasa y mediante procesos sostenibles (Kipngetich, y otros, 2022).
- **Definición operacional:** Según (Zhenkun, y otros, 2020), la variable biocarbón será medida por las dimensiones: Rendimiento, material volátil, ceniza y carbono.
- **Dimensiones:** Rendimiento, material volátil, ceniza y carbono.
- **Indicadores:** Masa final, masa inicial, cantidad de material volátil, contenido oxido de potasio, contenido de óxido de magnesio, contenido de sílice, cantidad de carbono.

3.3. Población, muestra y muestreo.

Población: Se define como población al conjunto de elementos o individuos que presentan las características, cualidades que se pretenden estudiar (Arias, y otros, 2016), para esta investigación se considera población la producción de pajilla de arroz de los últimos 5 años que fue 93,439.28 toneladas, en Molinera Tropical del Norte SAC.

Muestra: La muestra se define como el subconjunto de la población o parte del universo de la población, es una parte representativa de la población (Romero, 2016). Para esta investigación la muestra está determinada por la producción de pajilla de arroz del año 2022, que fue 25,425.92 toneladas.

Muestreo: La muestra no se eligió de manera aleatoria, fue seleccionada a criterio del investigador, por lo que se considera muestreo no probabilístico (Arispe, y otros, 2020). Es una técnica en la cual el investigador selecciona muestras basadas en un juicio subjetivo (Hernández, 2021 pág. 7)

Unidad de análisis: Es la estructura categórica mediante la cual se pueden responder a las interrogantes de un determinado problema práctico, es la mínima unidad de estudio (Picón, y otros, 2014). Para esta investigación se consideró la unidad de análisis al promedio de la capacidad máxima histórica de producción de pajilla de arroz 3.69 ton/h.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnicas de recolección de datos: Para esta investigación se utilizaron como técnicas de recolección de datos la observación, análisis documental.

La observación, registra sistemáticamente de manera válida y confiable el comportamiento o conducta que manifiesta el objeto de estudio (Fernández, y otros, 2019). El análisis documental permite, seleccionar las ideas más relevantes de una investigación o documento expresando su contenido sin ambigüedades (Peña, 2022).

Instrumentos: Para la recopilación de la data que servirá como base para esta investigación se emplearán los siguientes instrumentos: Guía de observación, guía de entrevista, fichas textuales y de resumen.

Tabla 1.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnicas	Instrumentos	Objetivos
Observación	Guías de observación	Permitió registrar los parámetros de operación del sistema de carbonización hidrotermal de la pajilla de arroz, asimismo las características del biocarbón.
Análisis documental	Fichas textuales	Se registró información relevante relacionada al tema de investigación,

de artículos e investigaciones, sirvió como antecedentes y para el marco teórico.

Nota. Elaboración propia.

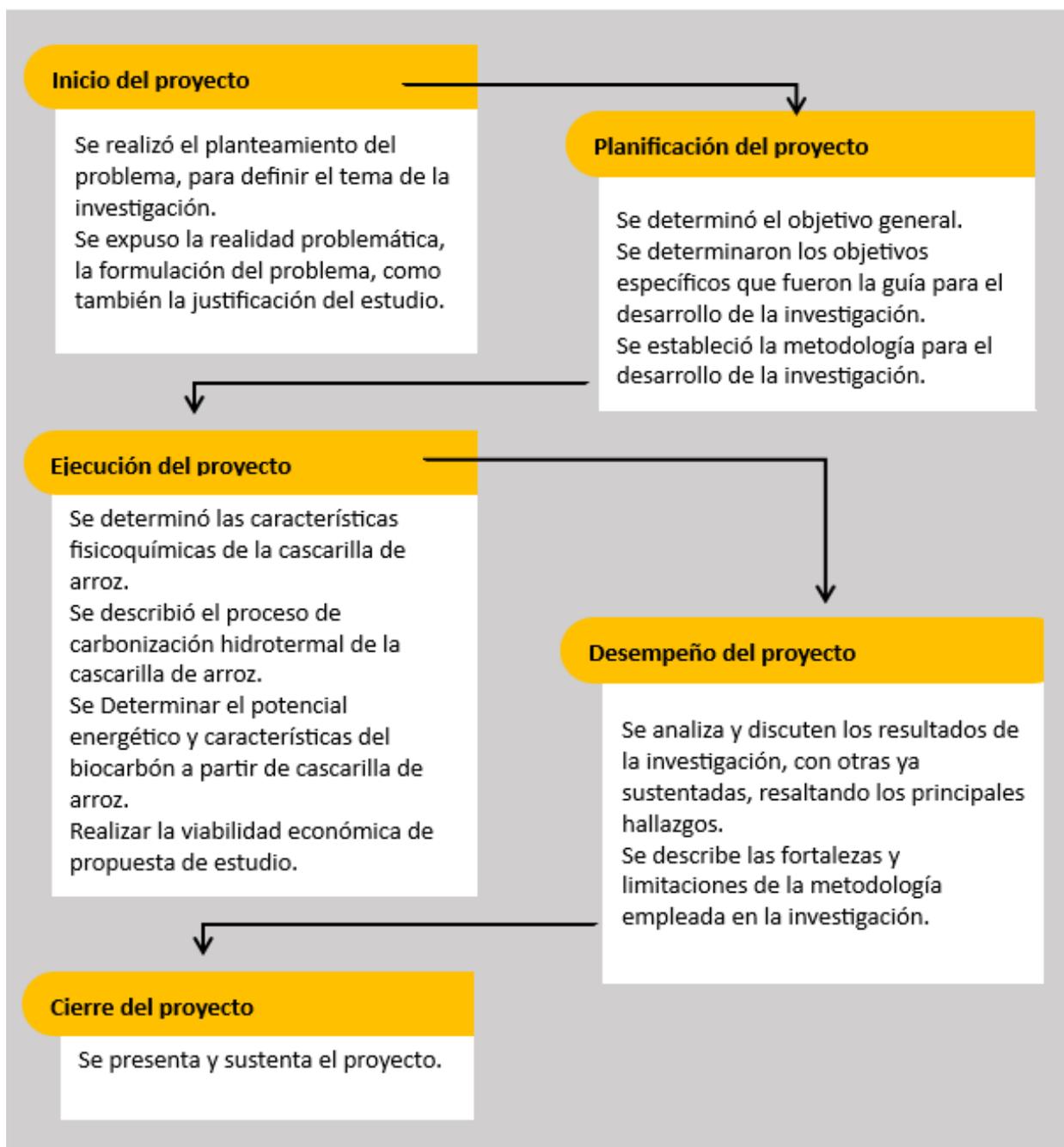
3.5. Procedimientos

Para la recolección de la data que servirá como base para el desarrollo del proyecto de investigación, se realizaron las coordinaciones con el representante del Molino, solicitando la visita e ingreso a la planta para recopilar información.

Se elaborará los instrumentos de recopilación de datos para esta investigación, los cuales fueron debidamente validados por especialistas en el tema de estudio. De acuerdo a la investigación se realizará el levantamiento de la información respetando el cronograma de actividades y las fechas de visita a la empresa establecidas por el representante. Mediante una ficha de registro, se anotarán el flujo másico de la cascarilla de arroz.

Figura 1.

Flujograma procedimientos para el desarrollo de la investigación.



Nota. Elaboración propia.

3.6. Método de análisis de datos

Empleando el método inductivo se llegarán a las conclusiones generales del estudio realizado donde permitirá dar a conocer dos hallazgos o eventos particulares que determinarán los resultados mediante las pruebas realizadas.

Toda la información recolectada mediante las técnicas de recolección de datos serán ordenadas y procesadas en Tablas y gráficas empleando el programa Microsoft Excel, también se empleará para la ejecución de los cálculos respectivos en la investigación.

3.7. Aspectos éticos

Esta investigación se realizó bajo los principios y lineamientos éticos que constituyen la responsabilidad e integridad, los cuales de no ser respetados la investigación no tendrá confiabilidad por hacer caso omiso a la reglamentación cayendo en plagio.

Por otro lado, en esta investigación se respetó y consideró la autoría de los investigadores que interviene en el desarrollo, citando y referenciando debidamente según la normativa y conductas éticas que establece esta casa de estudios.

IV. RESULTADOS

Aplicados los instrumentos, se obtuvieron resultados mediante cálculos de diseño del sistema HTC, para ello se empleo el software Microsoft Excel donde se agrupo y procesó la informacion en tablas, se encontraron los siguientes resultados:

Objetivo específico 01: Determinar la capacidad de producción de pajilla de arroz en Molinera Tropical Del Norte SAC

Tabla 2.

Producción por año de pajilla de arroz en toneladas

Variedad	2019	2020	2021	2022	2023
Valor	271.70	1,807.13	8,264.47	12,166.25	7,244.66
Tinajones	10,484.49	10,825.78	5,907.95	8,386.10	6,075.56
Capoteña	0.00	0.00	291.62	272.84	812.06
Mayares	2,785.13	1,797.82	1,005.07	1,114.22	713.36
Pakamuros	0.00	55.05	970.32	1,262.11	621.25
Feron	596.37	183.73	413.70	947.09	356.57
Nir	3,717.86	1,071.18	1,160.24	634.53	154.51
Galan	100.67	268.46	506.70	46.07	65.54
La Puntilla	41.84	500.85	238.69	264.25	66.17
Altomayo	38.43	10.07	24.96	28.03	13.26
Plazas	88.25	19.35	61.31	24.68	13.64
Esperanza	398.46	215.90	281.05	72.11	6.03
Viflor	0.00	0.00	2.99	0.00	1.58
Capirona	8.59	3.09	2.24	0.00	0.43
Multivariedad	0.04	0.10	0.05	0.01	0.03
Zurita	0.00	1.18	0.00	0.00	0.00
San Antonio	23.77	0.00	0.00	13.22	0.00
Colosal	1.58	22.00	33.18	26.72	0.00
Idal	1.50	0.00	18.17	9.66	0.00
Santa Bárbara	0.00	3.50	0.00	0.00	0.00
La Conquista	6.06	0.00	0.00	0.00	0.00
Línea	47.39	39.10	12.64	9.95	0.00
Pítipo	78.25	11.61	0.00	141.54	0.00
Moro	53.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Fortaleza	43.56	34.78	12.33	6.54	0.00
La Victoria	0.00	2.52	0.00	0.00	0.00
Total	18,787.81	16,873.20	19,207.68	25,425.92	16,144.66
Promedio t/h	2.73	2.45	2.79	3.69	2.35

Nota: Laboratorio, Molinera Tropical del Norte S.A.C.

Interpretación

Se determinó la producción de pajilla de arroz por variedad, en toneladas por año la cual es obtenida a través de 7 máquinas descascaradoras de arroz con una capacidad instalada de 4 toneladas por hora de pajilla, se observó que en el año 2022 tiene la mayor producción de pajilla con 25,425.92 ton, así mismo la producción en lo que va el 2023 es del 63% con respecto al año anterior. La capacidad máxima de producción histórica de pajilla ha sido definida en 3.69 ton/h, dicha capacidad será tomada para el diseño del sistema de la carbonización hidrotermal, por ser la capacidad real de producción coherente con la capacidad instalada y la eficiencia de producción y diseño.

Objetivo específico 02: Determinar los parámetros de una máquina para la carbonización hidrotérmal de pajilla de arroz

Tabla 3.

Parámetros para operación de una planta HTC.

Parámetros	Valor	Unidad
Indicadores procesados		
Producción de pajilla de arroz	3.69	ton/h
Humedad de la pajilla de arroz	7.30	%
Indicadores calculados		
Cantidad de agua añadida	2.42	ton/h
Capacidad de carga	6.114	ton/h
Volumen de carga	13.74	m ³ /h
Capacidad del reactor HTC	16.50	m ³
Presión de diseño	21.60	bar

Nota: Elaboración propia.

Interpretación

Se observó que para las condiciones de producción de 3.69 ton/h y humedad interna de 7.3%, se han definido los parámetros de operación, de 2.42 ton/h de agua añadida, teniendo una capacidad de carga en el sistema de 6.11 ton/h y un volumen de carga de 13.74 m³/h. La capacidad del reactor se determinó teniendo en cuenta un factor de seguridad de 1.2 por el volumen de carga y la presión de

diseño de 21.6 bar, teniendo en cuenta la presión de vapor de agua a 210 °C, el proceso hidrotermal tuvo un tiempo de reacción de 2 horas.

Objetivo específico 03: Determinar los componentes de una máquina para la carbonización hidrotérmal de pajilla de arroz

Tabla 4.

Dimensionamiento del reactor HTC.

Componentes	Valor	Unidad
Capacidad del reactor HTC	16.50	m ³
Diámetro del reactor HTC	2.41	m
Altura del reactor HTC	3.62	m
Factor de corrosión permisible ipy	15.00	mm
Espesor total del equipo	38.10	mm
Altura de llenado del reactor HTC	2.69	m
Altura del agitador respecto al pto base	0.90	m
Válvula de seguridad	30.00	bar
Manómetro de presión	35.00	bar
Material	316	Inoxidable

Nota: *Elaboración propia.*

Interpretación

Teniendo en cuenta la capacidad (16.5 m³) del reactor HTC, se calculó el diámetro del reactor siendo este 2.41 m, para encontrar la altura del reactor se tiene en cuenta la relación 1.2 por el diámetro, para determinar el espesor del equipo se tuvo en cuenta el factor de corrosión permisible (15 mm), se determinó el material del reactor, siendo este acero inoxidable 316, también una válvula de seguridad o de alivio que se apertura a 22 bar, la presión se controlará mediante un manómetro analógico.

Tabla 5.

Dimensionamiento del agitador HTC

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro del impulsor	0.80	m
Longitud de las paletas del impulsor	20.09	cm
Ancho de las paletas del impulsor	16.07	cm
Diámetro del disco porta paletas	0.40	m

Número de álabes	6.00	pza
Espesor del impulsor	12.70	mm

Nota: Elaboración propia.

Interpretación

El reactor HTC, tiene un agitador para la mezcla uniforme de pajilla de arroz más agua, el cual tendrá un diámetro de 0.8 m, y es proporcional al diámetro del reactor, este impulsor tiene seis alabes con un espesor de media pulgada, estas paletas se alojarán en una porta paletas de 0.4 m.

Objetivo específico 04: Determinar la producción de biocarbón obtenido a través del sistema de carbonización hidrotermal.

Tabla 6.

Balance de masa del proceso hidrotermal de la pajilla de arroz.

Factores	Valor	Unidad
Capacidad de carga	6.11	ton
Gases del proceso HTC	0.17	ton
Biocarbón	2.55	ton/h
Agua de reproceso	0.96	ton
Agua total	3.38	ton
Producto líquido e hidrochar	5.93	ton
Agua de recirculación al tanque mezclador	1.69	ton
Fertilizante	1.69	ton

Nota: Elaboración propia.

Tabla 7.

Producción de biocarbón.

Producción de biocarbón - toneladas			
	Diario	Mensual	Anual
Biocarbón	56.014	1,344.34	16,132.09

Nota: Elaboración propia.

Interpretación

Para determinar la producción de biocarbón que se obtendrá en el sistema, se realizó un balance de masa de todo el proceso hidrotermal de la página de arroz, donde el 26% corresponde al agua de proceso como composición de salida 3.38 ton, de los cuales un 50% recircula al tanque mezclador y el otro 50% es fertilizante líquido, asimismo un 5% corresponde a la corriente de gases producto de la reacción 0.185 ton y el 69% corresponde al hidrochar que se convertirá en biocarbón, siendo esta 2.55 ton, por lo tanto se tiene una producción diaria de 56,014 ton, mensual 1,344.34 ton y anual 16,1321 toneladas.

Objetivo específico 05: Determinar la viabilidad económica de la propuesta de mejora

Tabla 8.

Análisis económico del proyecto

Inversiones	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Egresos		12,975.00	12,975.00	12,975.00	12,975.00	12,975.00	12,975.00
Mano obra indirecta		7,800.00	7,800.00	7,800.00	7,800.00	7,800.00	7,800.00
Mantenimiento de equipos		3,375.00	3,375.00	3,375.00	3,375.00	3,375.00	3,375.00
Reparación de maquinaria		1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00
Ingresos		4,201,065.00	4,201,065.00	4,201,065.00	4,201,065.00	4,201,065.00	4,201,065.00
Biocarbón S/2.50 kg		4,201,065.00	4,201,065.00	4,201,065.00	4,201,065.00	4,201,065.00	4,201,065.00
Beneficio		4,188,090.00	4,188,090.00	4,188,090.00	4,188,090.00	4,188,090.00	4,188,090.00
Inversión del proyecto	7,795,588.97						
Costos fijos de producción	155,700.00						
Costo de los equipos	275,041.70						
Costo instalación de los equipos	110,016.68						
Costo materia prima, insumos, servicios	7,254,830.59						
Totales Netos	-7,795,588.97	4,188,090.00	4,188,090.00	4,188,090.00	4,188,090.00	4,188,090.00	4,188,090.00
VAN	12,278,868.1						
Tasa de descuento	18%						
TIR	53%						
Costo / Beneficio	2.58						
Tiempo de retorno de la inversión mes	1.86						

Nota: Elaboración propia.

Interpretación

Se realizó el análisis económico para determinar la viabilidad del proyecto de mejora, como egresos se consideraron los costos fijos de la producción anual mantenimiento y reparación de maquinaria S/. 12,975.00 mensuales, como ingresos tenemos la venta de 56,014.20 kg de biocarbón al día, se consideró un precio de S/2.50 kg de biocarbón, como precio de introducción al mercado, obteniendo al mes la suma de S/. 4,201,065.00; así mismo la inversión total del proyecto que comprende los costos de los equipos, su instalación, costos fijos de producción es S/. 7,795,588.97. Se obtiene un VAN y TIR positivo, siendo el costo de beneficio de S/. 2.58, así mismo el retorno de la inversión en 1.86 meses.

V. DISCUSIÓN

Se planteó como primer objetivo específico determinar la capacidad de producción de pajilla de arroz en Molinera Tropical, (Ortega, y otros, 2021), en su estudio realizado sobre los residuos derivados de la actividad de producción de arroz en Colombia, menciona que la pajilla de arroz representa entre el 20 y 25% de la producción total de arroz, considerando esto en la presente investigación se analizó la producción de arroz de los últimos 5 años en el molino, información proporcionada por el área de producción, donde el porcentaje de peso de la pajilla de arroz oscila entre el 18% y el 22.2%.

El subproducto del pilado del arroz es la cascarilla de arroz, más conocida como pajilla de arroz, y resulta que es una materia prima que tiene un alto contenido de energía térmica cuando combustiona; es decir su poder calorífico, si bien es cierto que es menor que el petróleo o el GLP, se obtendría la producción de calor, si se aumenta su cantidad de pajilla a quemar. Esta materia prima tiene mas características energéticas cuando combustiona, es por ello, que su uso se debe regular, a fin de tener una relación entre la cantidad de producto pilado y la cantidad de energía que se requiere para su procesamiento.

Estos resultados se asemejan con lo obtenido por (Kaune, 2022), en su investigación sobre la cascarilla de arroz y sus posibles aplicaciones industriales en Bolivia, donde menciona que la cascarilla de arroz represente alrededor del 15 al 20% del fruto. Con esto se evidencia que el porcentaje de peso de la pajilla de arroz, maría de acuerdo a la región donde se cultiva, así como también de su variedad.

Por otro lado, Hernández, en su estudio sobre el manejo de la cascarilla de arroz como residuo post cosecha, obtuvo mediante datos experimentales la caracterización de los componentes importantes de la cascarilla, donde la humedad oscila entre el 5.72% y el 9%, para nuestro caso de estudio se analizó la información brindada por el laboratorio del molino donde el valor de la humedad de la pajilla de arroz está comprendido entre los valores (8.2%) mencionados por Hernández.

El segundo objetivo específico fue determinar los parámetros de una máquina para la carbonización hidrotermal de la pajilla de arroz, teniendo como base los aportes de (Alvarez, y otros, 2022), quien realizó un estudio teórico para estimar la presión de diseño del reactor para sistemas de carbonización hidrotermal a base de agua, donde mencionan que dos parámetros importantes para diseñar un sistema HTC.

El volumen del reactor relacionado directamente con la masa de la biomasa y el líquido a procesar; este es un parámetro muy importante por el peligro latente de explosión en el reactor, debido a la expansión del volumen de líquido a alta temperatura. El otro parámetro es la presión máxima del reactor, donde se llevarán a cabo las reacciones hidrotermales. Asimismo, menciona que la presión total del sistema o presión de diseño a la temperatura de reacción se calcula tomando en tiempo la presión del vapor de agua saturada más los gases que se producen por las reacciones hidrotermales de la biomasa.

La capacidad máxima de producción histórica de pajilla ha sido definida en 3.69 ton/h, dicha capacidad será tomada para el diseño del sistema de la carbonización hidrotermal, por ser la capacidad real de producción coherente con la capacidad instalada y la eficiencia de producción y diseño.

Considerando esto, se tomó en cuenta el volumen de carga que viene a ser la suma del volumen de cascarilla de arroz y volumen de agua, siendo este 13.674 m^3 , a este valor se le multiplica por 1.2, este un factor de seguridad y espacio libre, propuesto por (Alvarez, y otros, 2022) en su investigación este factor es importante debido a que este reactor soportará presiones internas, durante las reacciones intermedias del proceso hidrotermal, donde se pueden producir compuestos a base de carbono, como son: metano, monóxido de carbono u otros gases con solubilidad menor.

Se determinó la producción de pajilla de arroz por variedad, en toneladas por año la cual es obtenida a través de 7 máquinas descascaradoras de arroz con una capacidad instalada de 4 toneladas por hora de pajilla, se observó que en el año 2022 tiene la mayor producción de pajilla con 25,425.92 ton, así mismo la producción en lo que va el 2023 es del 63% con respecto al año anterior. La capacidad máxima de producción histórica de pajilla ha sido definida en 3.69 ton/h,

dicha capacidad será tomada para el diseño del sistema de la carbonización hidrotermal, por ser la capacidad real de producción coherente con la capacidad instalada y la eficiencia de producción y diseño.

En cuanto a la presión máxima del reactor o presión de diseño, se tomó en cuenta la presión hidrostática del reactor, que viene a ser el producto de la densidad de la mezcla (pajilla + agua), la gravedad y la altura del reactor, siendo esta 54.4 kPa; también se tomó en cuenta la presión de vapor de agua a 200 °C, que viene a ser 1907.68 kPa, sumando estas dos presiones se obtiene la presión de diseño siendo esta de 2158 kPa (21.58 bar).

Para el tercer objetivo específico se tomó en cuenta los aportes de (Cedeño, 2018), para lograr determinar los componentes del sistema de carbonización de hidrotermal a partir de pajilla de arroz, donde la capacidad del sistema está en relación con la capacidad de producción máxima del molino, este fue un factor determinante para calcular el diámetro y la altura del reactor, ese autor presenta una relación de 1.5 con respecto al diámetro para hallar la altura del reactor, así mismo menciona que el espesor ideal del equipo para soportar presiones mayores a 20 bar, es 1.5 pulgadas.

Gracias a este aporte se logró dimensionar el reactor HTC determinando un diámetro de 2.41 m, y una altura de 3.6 m, este reactor contará con un agitador para acelerar el proceso carbonización, se tomó en cuenta lo dispuesto por (Singh, y otros, 2009).

En cuanto el cuarto específico se determinó la producción de biocarbón obtenido a través del sistema de carbonización, (Alvarez, y otros, 2022) en su artículo reacciones hidrotermales y cambios de presión, menciona que las reacciones hidrotermales a partir de biomasa como materia prima se convierten en sólidos ricos en carbono, donde la mayor parte del carbono está en el producto sólido (biocarbón) entre un 50% y un 80%, asimismo entre un 5 y 20% se convierte en agua del proceso y líquido fertilizante, y un dos hasta 10% se transforma en producto gaseoso, que en su mayoría es CO₂.

Por otro lado, (Cedeño, 2018) en su caso de estudio, determinó que el 69% de la cascarilla de arroz se convierte en biocarbón, mientras que el 5% se convierte en producto gaseoso y un 26% en agua de proceso esta a su vez el 50% regresa al sistema como agua de retroceso y el otro 50% como producto líquido fertilizante. Gracias a estos aportes se determinó la producción de biocarbón, así como también sus productos gaseosos y líquidos fertilizante.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó la capacidad de producción de pajilla de arroz en molinera Tropical del Norte, para ellos se consultó el registro de producción de los últimos 5 años, así mismo se tuvo en cuenta el porcentaje de peso de pajilla de arroz, dependiendo de la variedad de arroz procesado, el año 2022 fue el de mayor producción de pajilla de arroz con 25,425.92 toneladas, así mismo se determinó la tonelada por hora de pajilla de arroz para ello se tuvo en cuenta la capacidad máxima de producción histórica que fue 3.69 ton/h, este dato fue esencial para los próximos cálculos para el sistema de carbonización hidrotermal.
2. Se determinó los parámetros de una máquina para carbonización hidrotermal de pajilla de arroz, para ello se tuvo en cuenta la capacidad máxima de producción histórica que fue de 3.69 ton/h, con una humedad del 7.3%, a esto se le añadirá agua 2.42 ton/h, que ingresarán al reactor para el proceso hidrotérmico, teniendo un volumen de carga de 13.74 m³/h, en cuanto a la capacidad del reactor HTC, se tuvo en cuenta un factor de seguridad de 1.2 al volumen de carga. Otro parámetro importante en el sistema HTC, es la presión de diseño, donde se tuvo en cuenta la presión de vapor de agua a una temperatura de 210°C, así mismo el proceso hidrotermal de la cascarilla de arroz se llevó a cabo en un tiempo de reacción de 2 horas, por otro lado, el material del reactor será de inoxidable 316.
3. Se determinaron los componentes de la máquina para la carbonización hidrotermal de pajilla de arroz, para ello se tuvo en cuenta la capacidad del reactor HTC 16.5 m³, teniendo en cuenta su capacidad se calculó el diámetro y la altura 2.41 m y 3.62 m respectivamente, para hallar el espesor del equipo se tuvo en cuenta un factor de corrección permisible 15 mm, el espesor total del equipo será de 1.5 inch, la altura de llenado será de 2.72 m. Por una acción humana el reactor tendrá un agitador para acelerar el proceso de reacción, y su altura respecto al punto base será de 0.9 m, este tendrá seis álabes con un diámetro de 0.8 m, el espesor de los álabes será de 0.5 inch.
4. Se determinó la producción de biocarbón obtenido a través del sistema de carbonización hidrotermal, para ello se realizó un balance de masa donde el

5% de la pastilla de arroz son gases, el 26% es agua de las cuales el 50% de este se regresa al sistema, y el 50% es líquido fertilizante, y el 69% será biocarbón.

5. Se determinó la viabilidad económica de la propuesta de mejora, con una inversión de 7,795,588.97 soles, los cuales comprenden los costos fijos de producción costos de los equipos del sistema HTC, los costos de instalación de dichos equipos los costos de la materia prima insumos y servicios, así mismo se tendrá un ingreso por concepto de venta de biocarbón a 2.5 soles el kg, con una producción diaria de 2.55 toneladas de biocarbón al día, se tendrá un ingreso mensual de 4,201,065.00 soles, por otro lado los egresos mensuales serán de 12, 975.00 soles, que comprenden los gastos de mano de obra directa, mantenimiento de equipos y reparación de maquinaria, logrando obtener un beneficio mensual de 4,201.065.00 soles. Se realizó el análisis de flujo de caja con indicadores económicos, obteniendo una VAN y TIR positiva, lo que determina la viabilidad del proyecto con un costo beneficio de 2.58 soles, el retorno de la inversión será a corto plazo.

VII. RECOMENDACIONES

Habiendo analizado los resultados de esta investigación, se plantean las siguientes recomendaciones:

Se recomienda implementar este sistema de carbonización hidrotermal ya que es un proyecto con muchas ventajas tanto económico, así como ambientales como es la descarbonización del planeta aportando a la disminución del cambio climático.

Se recomienda realizar un estudio con diferentes tipos de biomasa con valores altos de poder calorífico con la finalidad de identificar la tipología de biomasa en el proceso de carbonización hidrotermal.

Se recomienda ampliar esta investigación respecto a la utilización del producto carbonizado no como biocombustible sólido sino también en la utilización de biochar para mejorar las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo.

Se recomienda realizar capacitaciones técnicas en los molinos para dar a conocer el potencial energético del residuo de su proceso.

A esta casa de estudios, se recomienda incentivar a realizar investigaciones sobre alternativas de energía a partir de biomasa, así mismo implementar en sus laboratorios equipos para llevar a cabo los análisis.

REFERENCIAS

Alcantara , E. 2020. *Diseño de una Central Termoelectrica utilizando cascarilla de Arroz para reducir costos de Energia Electrica .* CHICLAYO : USS, 2020.

Alvarez, Andrés, et al. 2022. *Theoretical framework for estimating design reactor pressure for water-based hydrothermal carbonization (HTC) systems.* 2022.

Arias, J and Villasís, A. 2016. *El protocolo de investigación III: la población de Estudio.* México : s.n., 2016. pp. 201 - 206.

Arispe, C, et al. 2020. *Investigación Científica.* 2020. p. 131.

Armestoa, L. 2020. *Combustion Behavior of rice husk in a bubbling fluidised bed.* 2020. pp. 171 - 179.

Azasi, V, et al. 2020. *Bioenergy from crop residues: A regional analysis for heat and electricity applications in Ghana.* 2020.

Bethancour, G, et al. 2019. *Carbonización de biomasa: producción y caracterización de biochar a partir de cáscaras de arroz.* Panamá : 7th International Engineering, 2019. pp. 40 - 45, Informe de Tesis.

Castellanos, B, Ávila, N and Hernández, A. 2021. *El comercio del carbón vegetal y su transitar hacia la bioeconomía en México.* 2021. pp. 55 - 68.

Cedeño, Ricardo. 2018. *Obtención de un biocombustible sólido mediante carbonización hidrotérmica a partir de cascarilla de arroz.* Quito : Universidad Politécnica Nacional, 2018. Tesis de grado.

Chai, Xinyu, et al. 2019. *A hydrothermal-carbonization process for simultaneously production of sugars, graphene quantum dots, and porous carbon from sugarcane bagasse.* Lima : s.n., 2019. pp. 142 - 147.

Constante Tamayo, Yesenia Dayanara and Machado Muñoz, Andrea Isabel. 2020. *Estudio de biochar obtenido a partir de cáscara de cacao, como mejorador del suelo en un cultivo de frejol (Phaseolus vulgaris).* Quito : Universidad Central del Ecuador, 2020. p. 131, Tesis de pregrado.

Dutta, A and Kambo, H. 2019. *Strength, storage, and combustion characteristics of densified lignocellulosic biomass produced via torrefaction and hydrothermal carbonization.* 2019. pp. 135 - 182, Tesis de grado.

Fernández, C and Batista, P. 2019. *Metodología de la investigación.* Lima : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA, 2019.

García, Federico, Lanfranco, Bruno and Hareau, Guy. 2012. *Efecto sobre el comercio y bienestar de distintas estrategias tecnológicas para el arroz Uruguayo.* Montevideo : Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA, 2012. Informe Técnico.

Gómez , J.A, Sánchez, Ó.J and Matallana , L.G. 2019. *Residuos urbanos, agrícolas y pecuarios en el contexto de las biorrefinerías.* Manizales : s.n., 2019. pp. 7 - 32.

Guevara, G, Verdesoto, A and Castro, N. 2020. *Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción).* Babahoyo : s.n., 2020. pp. 163-173.

Guzman, N, et al. 2020. *Estudio de pre-factibilidad para la elaboración de briquetas ecológicas de carbón a partir de cáscara de cacao.* Lima : Universidad San Ignacio de Loyola, 2020. p. 129, Tesis de pregrado.

Hernández, O. 2021. *Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen.* Cuba : s.n., 2021.

Hernández, Ricardo, et al. 2023. *Manejo de la cascarilla de arroz como residuo postcosecha y su conversión en nanocelulosa.* Zacatepec : s.n., 2023.

Kaune, Carla. 2022. *Cáscara de arroz y sus posibles aplicaciones industriales.* San Andres : Universidad de San Andres, 2022.

Kipnetich, P, et al. 2023. *Efectos de la carbonización en la combustión de briquetas de cascarilla de arroz en lecho fijo.* 2023.

Kipnetich, P, et al. 2022. *Optimization of combustion parameters of carbonized rice husk briquettes in a fixed bed using RSM technique.* 2022. pp. 61-74.

Liu, Y, et al. 2023. *Effects of FecC3 on basic elements and combustion characteristics of rice husk hydrothermal carbon.* 2023. pp. 198 - 204.

Lozano, C. 2020. *Alternativa de usos de la cascarilla de arroz (Oriza sativa) en Colombia para el mejoramiento.* Yopal : Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), 2020. p. 32, Tesis de pregrado.

Luque, L. 2021. 3, 2021, Revista Innova Educación, Vol. 3, pp. 198 - 212.

Medina, Jhon. 2019. *Análisis de factibilidad aplicado a una planta de Bio refinación por convención hidrotermal HTC de la biomasa residual de La papa para la obtención de Bio productos.* s.l. : Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia, 2019. p. 135.

Ñaupas, P, et al. 2018. *Metodología de la investigación. Cuantitativa – Cualitativa y redacción de la tesis.* 5ta. s.l. : Ediciones de la U, 2018. p. 560.

Oré, Luis, Silva, Christye and Loarte, Wendy. 2022. *Producción de biocarbón a partir de la cáscara de Theobroma cacao L., cascarilla de Oryza sativa y Coffea arabica.* s.l. : Qantu Yachay, 2022. p. 13.

Ortega, A. T and Quispe, M. I. 2021. *Alternativas del uso de la cascarilla de arroz como fuente energética.* Colombia : s.n., 2021. pp. 69 - 81.

Paredes, Y., Cerrano, J., López, J., Ushiñahua, K., Rengifo, Y. 2022. *El carbón vegetal en los mercados de Punchana, Iquitos, Belén y San Juan Bautista, en Loreto, Perú.* Iquitos : s.n., 2022. pp. 45 - 54.

Peña, Tania. 2022. *Etapas del análisis de la información documental.* Medellín : s.n., 2022.

Picón, M and Melian, Y. 2014. *La unidad de análisis en la problemática enseñanza aprendizaje.* Santa Cruz : Universidad Nacional de la Patagonia Austra, 2014.

Pinto, S, et al. 2022. *Influencia de los parámetros operacionales de carbonización hidrotermal asistida por microondas en la obtención de productos de valor energético: una revisión.* Medellín : SciELO, 2022.

Ríos, Inés M, et al. 2020. *Production and characterization of fuel pellets from rice husk and wheat straw.* México : s.n., 2020. pp. 500 - 507.

- Rojas, Ivan. 2021.** Eco Carbón. [interv.] ProInnovate Perú. San Martín : Ministerio de la Producción - Perú, Octubre 10, 2021.
- Romero, j. 2018.** *Potencial Energetico de la Cascarilla de Arroz en la Region Lambayeque* . LIMA : UNALM, 2018.
- Romero, L. 2016.** *Metodología de investigación*. Castilla : Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2016.
- Rössel-Kipping, D. 2019.** *Proceso de carbonización hidrotérmica para incrementar la transportabilidad de la biomasa vegetal*. Ciudad de México : s.n., 2019.
- Safarian, Sahar. 2023.** *To what extent could biochar replace coal and coke in steel industries?* UNPRG. Suecia : s.n., 2023. Tesis de grado .
- Salazar, Anibal. 2023.** *Caracterización del potencial térmico RSU, para la generación de energía eléctrica, utilizando carbonización hidrotérmica*. 2023. pp. 58 - 65.
- Sanchez, Alejandro. 2017.** *Diseño de una planta de gasificación con cogeneración para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en un proceso industrial*. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2017.
- Sharma, H and Dubey, B. 2020.** *Binderless fuel pellets from hydrothermal carbonization of municipal yard waste: Effect of severity factor on the hydrochar pellets properties*. 2020. pp. ISSN 0959-6526.
- Sharma, H, Sarmah, A and Dubey, B. 2020.** *Hydrothermal carbonization of renewable waste biomass for solid biofuel production: A discussion on process mechanism, the influence of process parameters, environmental performance and fuel properties of hydrochar*. 2020.
- Sierra, Yvette. 2021.** Perú alcanza cifra de deforestación más alta en los últimos 20 años. *MONGABAY - Periodismo Ambiental Independiente en Latinoamerica*. Octubre 7, 2021, p. 3.
- Singh, R and Heldman, D. 2009.** *Introduction to Food Engineering*. 4ta . 2009. p. 864.

Sinnott, Ray and Towler, Gavin. 2012. *Diseño en Ingeniería Química*. 5ta. Barcelona : Reverté, 2012. p. 1255.

Tineo, Anny. 2021. *Utilización de biocarbón de la cáscara de Oryza sativa (arroz) para la adsorción de metales pesados en suelos salinos: una revisión sistemática*. Chiclayo : Universidad César Vallejo, 2021. p. 55, Tesis de pregrado.

Torres, Eduard. 2021. *Diseño operativo de una planta para valorización de biomasa residual de la papa en Boyacá* . Morelos : Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2021. p. 121.

Vacca Casanova, A and Cuy Hoyos, C. 2020. *Sistema de pirólisis para obtener material carbonoso a partir de la cascarilla de arroz como precursor*. Villavicencio : s.n., 2020. p. 9.

Valencia Cuero, M.L. 2019. *Combustión de carbón vegetal, enemigo latente del medio ambiente*. Colombia : Universidad del Pacífico, 2019. p. 5, Informa técnico.

Vieira, Fábio Roberto, et al. 2019. *Optimization of slow pyrolysis process parameters using a fixed bed reactor for biochar yield from rice husk*. 2019.

Yeoh, Keat-Hor, et al. 2019. *Upgrading agricultural wastes using three different carbonization methods: Thermal, hydrothermal and vapothermal*. 2019. pp. 36 5-371.

Zhenkun, Guo, et al. 2020. *Characteristics of biomass charcoal briquettes and pollutant emission reduction for sulfur and nitrogen during combustion*. 2020.

ANEXOS

Matriz de operacionalización de variables

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente Sistema de carbonización hidrotermal	(Sharma, y otros, 2020 pág. 4) definen a la carbonización hidrotermal es un proceso termoquímico donde la humedad de la biomasa es aprovechada, produciendo recursos altamente energéticos, en condiciones de presión (2 - 10 MPa) y temperaturas bajas (180 - 250 °C).	(Pinto, y otros, 2022 págs. 7-8), afirman que la variable carbonización hidrotermal será medida por las dimensiones: Temperatura, humedad, presión, tiempo de reacción, tipo de biomasa.	Temperatura	Temperatura	Intervalo
			Presión	Masa	Intervalo
				Área	Intervalo
			Humedad	Humedad interna de biomasa	De razón
				Cantidad de agua añadida	De razón
			Tipo de Biomasa	Poder calorífico	De razón
				Flujo másico	De razón

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
<p>Variable Dependiente</p> <p>Biocarbón</p>	<p>El biocarbón es un material carbonizado que se obtiene a partir de la biomasa con alto contenido de carbono, mediante una descomposición térmica en un entorno de oxígeno nulo o muy bajo según el tipo de biomasa y mediante procesos sostenibles. (Kipngetich, y otros, 2022 pág. 3)</p>	<p>(Ayine, y otros, 2021 pág. 4), señalan que la variable carbonización hidrotermal será medida por las dimensiones: Temperatura, humedad, tiempo de reacción, tipo de biomasa.</p>	Rendimiento	Masa final	De razón
				Masa inicial	De razón
			Material volátil	Cantidad de material volátil (ppm)	De razón
			Ceniza	Contenido de Oxido de Potasio	De razón
				Contenido de Oxido de Magnesio	De razón
				Contenido de Sílice	De razón
			Carbono	Cantidad de carbono	De razón

Ficha textual

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		Ficha de recolección de datos			Fecha
Título					
Revista				Año	
Tipo de investigación					
Lugar de publicación			Base de datos		
Fuente		Volumen		N°	
Autores					
Palabras claves					
Resultados					
Conclusiones					

Diagrama de flujo del proceso de descascarado de arroz

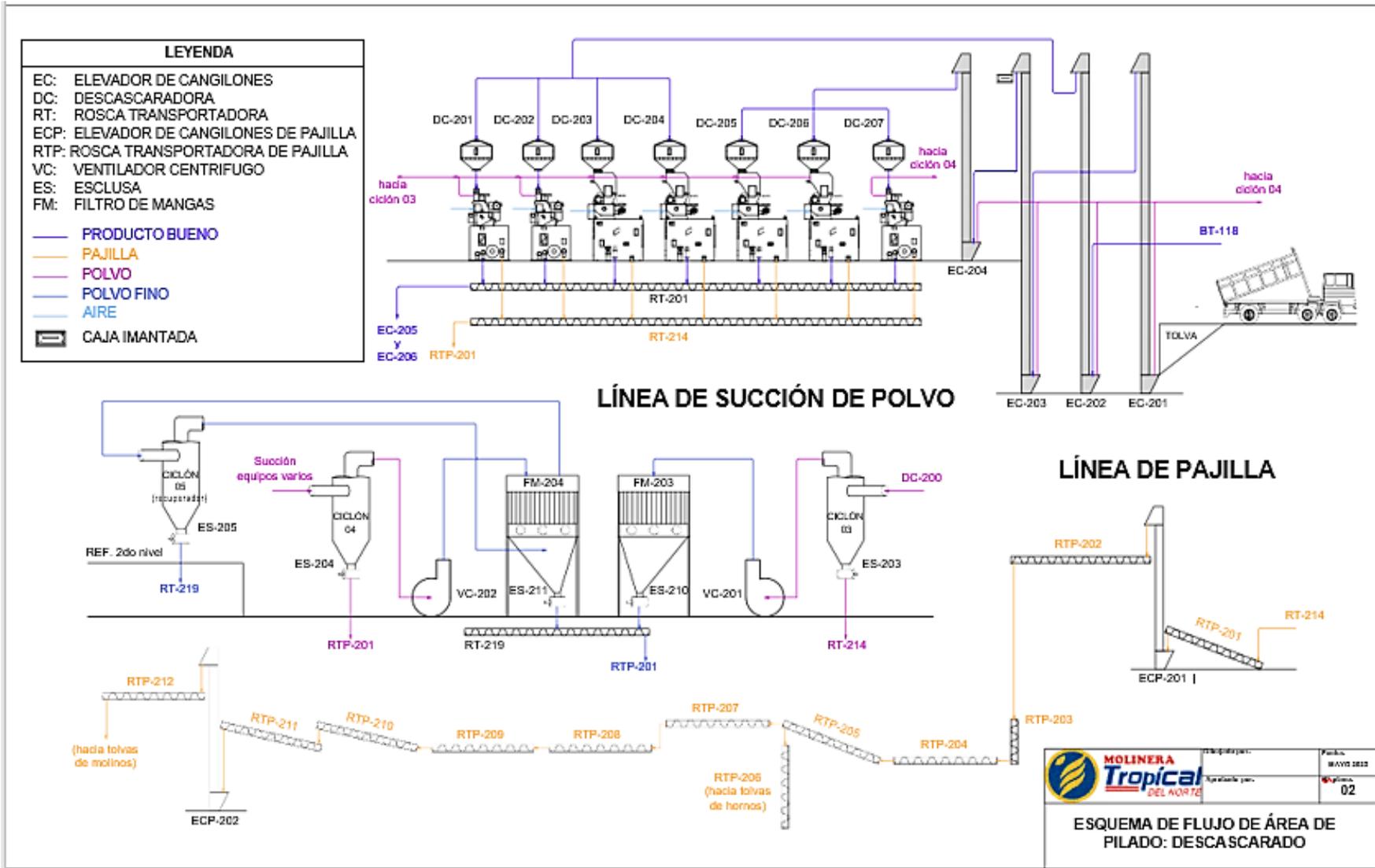
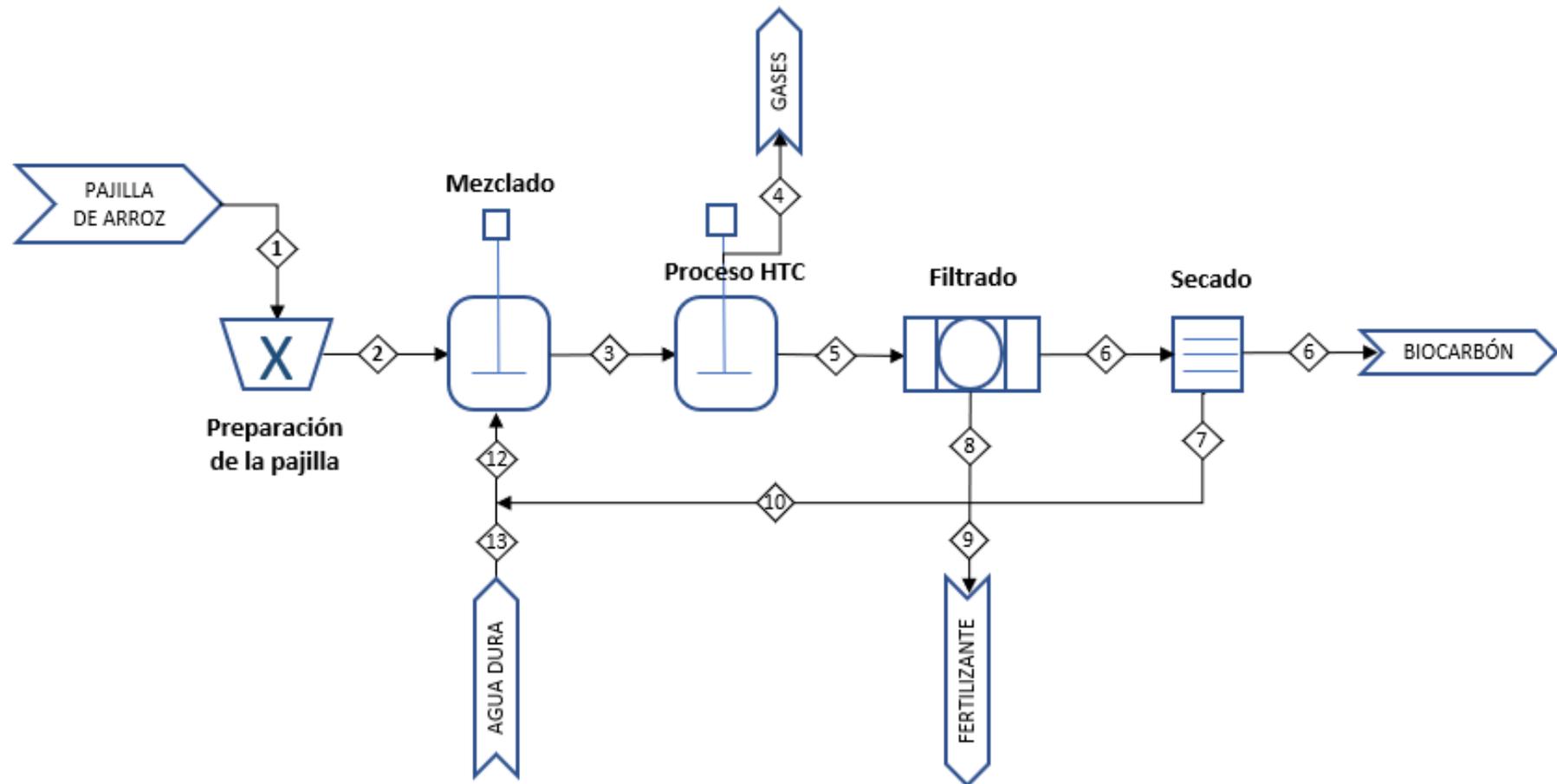


Diagrama de flujo del proceso de carbonización hidrotérmal de la paja de arroz



Etapas del proceso de carbonización hidrotermal de pajilla de arroz

Número de etapas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Temperatura (°C)	20	20	85	210	150	100	85	100	20	8	20	85	20
Presión (bar)	1	1	19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Pajilla de arroz (ton/h)	3.4	3.4											
Agua dura (ton/h)											2.42		
Pasta entrada (ton/h)			6.114										
Gases (ton/h)				0.185									
Pasta salida (ton/h)					5.93								
Agua recirculada (ton/h)							0.96	3.38		1.69		5.93	
Fertilizante (ton/h)									1.69				
Pasta seca (ton/h)						3.51							
Biocarbón (ton/h)													2.55

La tabla muestra el número de etapas del proceso de carbonización hidrotermal de la pajilla de arroz a diferentes temperaturas y presiones.

FICHA TECNICA ACERO INOXIDABLE

316/316L



Aceros Inoxidables	Normas		
	AISI	W. Nr.	DIN
Austeníticos	316	1.4401	X5CrNiMo17-12-2
	316L	1.4404	X2CrNiMo17-12-2

Aplicaciones

Acero resistente a la corrosión intercrystalina hasta 300° C bajo condiciones de operación continua. Con la adición de molibdeno se le confiere una alta resistencia a ácidos no oxidantes y corrosión por picado. El acero AISI 316 es utilizado en piezas y elementos de la industria de celulosa, textiles, seda artificial, equipos para el desarrollo de fotografía ejes de hélices, acoples. Usualmente utilizado en la industria química y farmacéutica. Ideal para ser usado en piezas y elementos expuestos a la corrosión localizada originada por el ácido sulfuroso, baños de pinturas con ácido sulfúrico, baños clorados, etc.

La calidad 316L, con su bajo contenido de carbono hace aumentar la temperatura de resistencia a la corrosión intercrystalina hasta los 400°C. además de mejorar su soldabilidad.



Composición Química (Valores promedio, %)

Calidad	C	Cr	Mo	Ni
316	≤ 0,07	16,5 - 18,5	2 - 2,5	10 - 13
316L	≤ 0,03	16,5 - 18,5	2 - 2,5	10 - 13

Características del Acero

El acero AISI 316/316L corresponde a un acero inoxidable aleado con molibdeno. Esta adición le confiere mejores propiedades anticorrosivas que los de la familia 304, debido principalmente a que se disminuye en forma importante la susceptibilidad a la corrosión por picado, en virtud que la capa pasiva formada es mucho más resistente.



Presenta una muy buena resistencia a la oxidación en condiciones intermitentes a temperaturas no superiores a 870 °C y en continuo a 930 °C. No se recomienda el uso de estos aceros en temperaturas que oscilen en el rango 420/860 °C, pero en

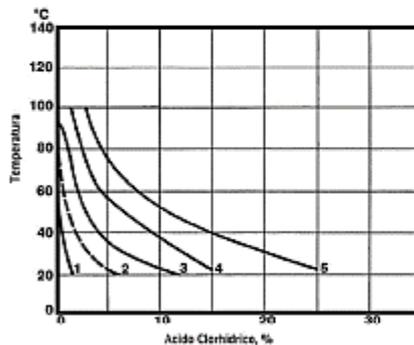
Catálogo Comercial

valores por debajo y por encima de estos, su comportamiento es bueno, esto principalmente debido a la posibilidad de precipitaciones de carburos de cromo en los bordes de grano, lo que lo vuelve sensible y por ende su resistencia a la corrosión se ve drásticamente comprometida. Estos aceros no pueden ser endurecidos mediante TT. Presenta buenas condiciones de soldabilidad y se recomienda que en las secciones soldadas se realice un recocido posterior con el objetivo de obtener la más alta resistencia a la corrosión.

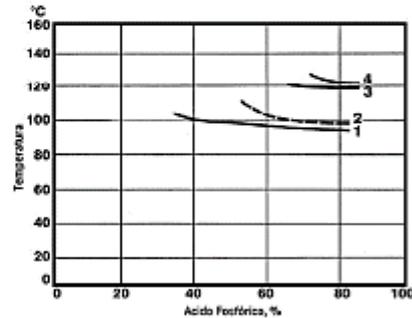
Resistencia a la corrosión.

En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0,1 0,3 1,0 3,0 y 10,0 gr/m²-Hr. Generalmente una pérdida de peso de 0,3 gr/m²-hr (línea segmentada) se considera en el límite para ser considerado económicamente viable un acero inoxidable.

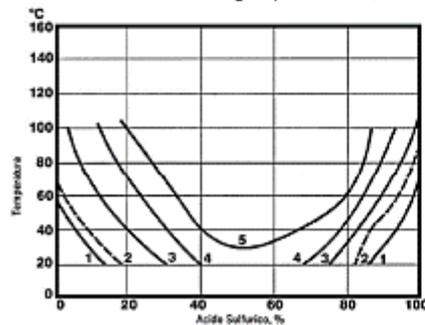
Acido Clorhídrico HCl



Acido Fosfórico H₃PO₄



Acido Sulfúrico H₂SO₄



Curva	Pérdida de peso
1	0,1 gr/m ² -hr.
2	0,3 gr/m ² -hr.
3	1,0 gr/m ² -hr.
4	3,0 gr/m ² -hr.
5	10,0 gr/m ² -hr.

PORCENTAJE DE HUMEDAD DE PAJILLA DE ARROZ – PLANTA DE PILADO MOLINERA TROPICAL DEL NORTE S.A.C.	
Variedad	% Humedad
Valor	7.0
Tinajones	7.0
Capoteña	8.0
Mayares	7.0
Pakamuros	7.0
Feron	8.2
Nir	7.0
Galan	7.1
La Puntilla	7.5
Altomayo	6.0
Plazas	7.4
Esperanza	8.0
Viflor	7.5
Capirona	6.7
MultiVariedad	7.4
Zurita	6.4
San Antonio	6.7
Colosal	7.4
Idal	6.6
Santa Bárbara	7.0
La Conquista	8.0
Linea	8.0
Pitipo	7.5
Moro	7.0
Fortaleza	8.0
La Victoria	7.4
Promedio	7.30


 LA INVESTIGADORA DEL MONAGRO CARRASCO FLOR DE
 INGENIERA QUÍMICA
 Reg. CIP. 176830

PRODUCCIÓN DE ARROZ – PLANTA DE PILADO MOLINERA TROPICAL DEL NORTE S.A.C.

Variedad	% Cascarilla	2019	2020	2021	2022	2023	Total
Valor	22.20%	1,223,872.65	8,140,230.88	37,227,321.22	54,802,912.35	32,633,605.80	134,027,942.90
Tinajones	21.68%	48,360,214.25	49,934,407.94	27,250,681.60	38,681,270.27	28,023,800.06	192,250,374.11
Capoteña	19.00%	0.00	0.00	1,534,867.50	1,436,020.00	4,274,002.50	7,244,890.00
Mayares	18.00%	15,472,971.04	9,987,910.36	5,583,731.54	6,190,114.50	3,963,096.00	41,197,823.44
Pakamuros	21.00%	0.00	262,133.50	4,620,553.00	6,010,042.00	2,958,328.50	13,851,057.00
Feron	20.00%	2,981,852.40	918,672.80	2,068,523.35	4,735,447.90	1,782,827.00	12,487,323.45
Nir	20.00%	18,589,322.58	5,355,920.45	5,801,220.60	3,172,687.50	772,540.00	33,691,671.13
Galan	18.00%	559,255.50	1,491,424.00	2,814,983.00	255,958.50	364,135.00	5,485,756.00
La Puntilla	23.00%	181,896.50	2,177,587.15	1,037,761.00	1,148,911.00	287,717.00	4,833,872.65
Altomayo	21.00%	183,015.60	47,956.00	118,873.50	133,465.50	63,146.50	548,457.10
Plazas	22.00%	401,118.50	87,960.76	278,863.50	112,195.00	62,016.00	941,953.76
Esperanza	21.00%	1,897,425.50	1,028,089.05	1,338,347.65	343,371.80	28,718.50	4,635,952.50
Viflor	20.00%	0.00	0.00	14,972.00	0.00	7,923.00	22,895.00
Capirona	18.00%	45,201.00	16,254.50	11,808.50	0.00	2,261.00	75,525.00
Multivariedad	18.00%	223.25	529.15	279.30	70.30	169.10	1,271.10
Zurita	21.00%	0.00	5,633.50	0.00	0.00	0.00	5,633.50
San Antonio	22.00%	108,053.00	0.00	0.00	60,087.50	0.00	168,140.50
Colosal	20.00%	7,904.00	109,881.50	165,879.50	133,589.00	0.00	417,354.00
Idal	21.00%	7,144.00	0.00	86,516.50	48,008.50	0.00	139,669.00
Santa Bárbara	22.00%	0.00	15,893.50	0.00	0.00	0.00	15,893.50
La Conquista	20.00%	30,314.50	0.00	0.00	0	0.00	30,314.50
Línea	19.00%	249,413.00	205,798.50	66,513.30	52354.5	0.00	574,079.30
Pitipo	18.00%	434,739.00	64,505.00	0.00	786315	0.00	1,285,559.00
Moro	18.00%	299,212.00	0.00	0.00	0	0.00	299,212.00
Fortaleza	21.00%	207,451.50	165,623.00	58,719.50	31160	0.00	462,954.00
La Victoria	22.00%	0.00	11,476.00	0.00	0	0.00	11,476.00
Total	20.30%	91,240,599.77	80,027,987.53	90,080,216.07	118,131,961.12	75,224,285.96	454,705,050.44


LAURAESTER DEL MAGRO CARRASCO FLORES
INGENIERA QUÍMICA
Reg. CIP. 176630

Balance de masa del proceso HTC de la pajilla de arroz

El balance de masa requerido para el diseño del sistema HTC, se realizó en función a la capacidad máxima histórica de producción de pajilla de arroz 3.69 ton.



1. Entran al proceso de reacción 6.11 ton de pasta húmeda (pajilla de arroz + agua), con una tasa de sólidos del 27%.

En la carbonización hidrotermal según los autores (Alvarez, y otros, 2022), (Cedeño, 2018) y (Torres, 2021), obtuvieron experimentalmente valores semejantes donde el 69% de la materia prima entrante corresponde a hydrochar (biocarbón). El 5% en la corriente de gases y el 26% agua de proceso como composición de salida.

2. Se generan gases producto de la reacción del proceso HTC, estos son liberados. Corresponden al 5% de la cascarilla de arroz.

$$Gases = m_p * 0.05 = [ton]$$

Donde:

m_p : Flujo másico de pajilla de arroz 3.69 ton/h

$$Gases = 0.185 ton$$

3. Se generan los productos líquidos y el hydrochar, donde se calcula a partir de los porcentajes de salida, los flujos másicos de la corriente son:

$$Hydrochar = m_p * 0.69 = [ton]$$

$$Hydrochar = 2.55 ton$$

$$\text{Agua de proceso} = m_p * 0.26 = [\text{ton}]$$

$$\text{Agua de proceso} = 0.96 \text{ ton}$$

La suma del agua de proceso mas la del ingreso al reactor, es el agua total utilizada en el sistema.

$$\text{Agua total} = \text{Agua de proceso} + \text{Agua de ingreso} = [\text{ton}]$$

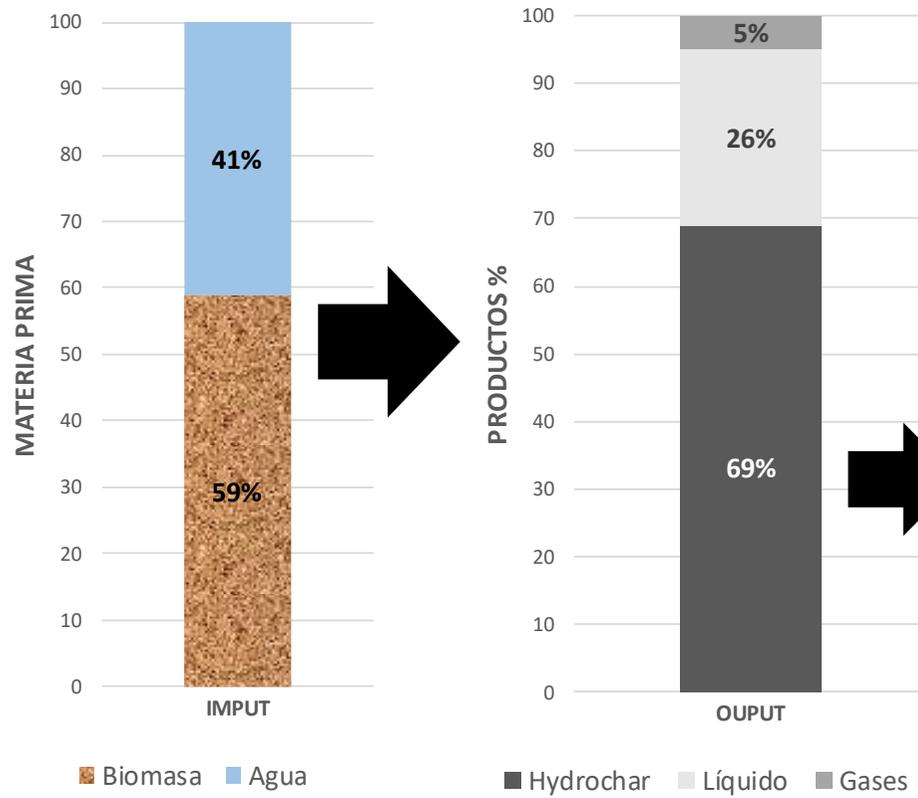
$$\text{Agua total} = 3.38 \text{ ton}$$

La cantidad total de esta corriente es la suma del agua total y la del hydrochar, dando como resultado 5.93 ton



Se observa en el balance que la cantidad de agua final es superior la inicial, lo que significa que concuerda con los procesos hidrotérmicos, ya que generan agua de la humedad de la pajilla de arroz, por otro lado, se realiza un correcto aprovechamiento, donde un 50% se utiliza como agua de reproceso y recircula al tanque mezclador y el otro 50% como fertilizante.

CARBONIZACIÓN HIDROTHERMAL DE LA PAJILLA DE ARROZ



ENTRADA				
Biomasa	59	%	3.421	ton
Agua	41	%	2.424	ton
SALIDA				
Hydrochar	69	%	2.55	ton
Líquido	26	%	1.692	ton
Gases	5	%	0.185	ton



Hydorchar



Biocarbón

Metodología para cálculo de reactor HTC

Capacidad del reactor HTC

La capacidad de carga es la suma del flujo másico de las materias primas entrantes.

$$C_C = m_p + m_w = [ton]$$

Donde:

C_C : Capacidad de carga

m_p : Flujo másico de pajilla de arroz 3.69 ton/h

m_w : Flujo másico de agua 2.424 ton/h

$$C_C = 6.114 \text{ ton/h}$$

El volumen de carga es la suma de los volúmenes de ambas materias primas entrantes, teniendo en cuenta la densidad de la pajilla de arroz 540 kg/m³ y del agua 1000 kg/m³.

$$V_C = V_p + V_w = [m^3]$$

Donde:

V_C : Volumen de carga

V_p : Volumen de pajilla de arroz 11.32 m³

V_w : Volumen de agua añadida 2.424 m³

$$V_C = 13.747 \text{ m}^3$$

Para hallar la capacidad del reactor, se tiene en cuenta un factor de seguridad para tanques de 1.2 que se multiplica al volumen de carga.

$$C_R = V_C * f_s = [m^3]$$

Donde:

C_R : Capacidad del reactor HTC.

V_C : Volumen de carga 13.747 m³

f_s : Factor de seguridad para tanques a presión 1.2

$$C_R = 16.497m^3$$

Diámetro y Altura del reactor HTC

(Anyanwu, y otros, 2012 pág. 42), mencionan que la relación comprendida entre la altura y el diámetro del reactor es 0.75 a 1.5, con respecto a la altura del mismo. De acuerdo a este valor se calculan las dimensiones del reactor.

$$C_R = \frac{\pi}{4} * D_r^2 * H_r$$

$$H_r = 1.5 * D_r$$

Donde:

D_r : Diámetro del reactor (m)

H_r : Altura del reactor (m)

C_R : Volumen del reactor 16.497 m³

$$D_r = \sqrt[3]{\frac{4 * C_R}{1.5 * \pi}} = [m]$$

$$D_r = 2.41 m$$

$$H_r = 3.62 m$$

Presión de diseño del reactor HTC

Para determinar la presión de diseño del reactor, se tiene en consideración la presión hidrostática del tanque.

$$P_h = \rho_m * g * H_r = [Pa]$$

Donde:

P_h : Presión hidrostática

ρ_m : Densidad de la mezcla 1540 kg/m³

g : Gravedad 9.8 m/s²

H_r : Altura del reactor 3.62 m

$$P_h = 54,564.37 \text{ Pa} \approx 54.56 \text{ kPa}$$

La presión de vapor de la pasta (pajilla + agua), está determinada por la presión del vapor de agua (P_v) a 210 °C es a 19.07 bar. Por lo tanto, la presión interna del reactor o presión nominal de trabajo (P_{NT}), está determinada por la siguiente expresión:

$$P_{NT} = P_h + P_v = [\text{kPa}]$$

Donde:

P_{NT} : Presión nominal de trabajo del reactor HTC

P_h : Presión hidrostática 54.56 kPa

P_v : Presión de vapor de agua a 210 °C, 1,907.68 kPa

$$P_{NT} = 1,962 \text{ kPa}$$

Como factor de seguridad, (Sinnott, y otros, 2012 pág. 988), mencionan que la presión de diseño del reactor debe ser 10% más que la presión nominal de trabajo.

$$P_T = 1.1 + P_{NT} = [\text{kPa}]$$

$$P_T = 2,158 \text{ kPa} \approx 21.58 \text{ bar}$$

Espesor de fondo y tapa del reactor HTC

Para el espesor del tanque y tapas, los cabezales elípticos se fabrican con una relación de 2:1, (Sinnott, y otros, 2012 pág. 1008), para determinar el espesor se aplica la siguiente expresión.

$$t = \frac{P * D}{2S * E - 0.2P} = [m]$$

Donde:

t : Espesor (mm)

P : Presión de diseño del reactor 21.58 bar = 312 psi

S : Esfuerzo permisible del material 12,700 psi

E: Eficiencia de la soldadura 85%

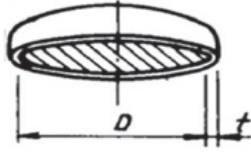
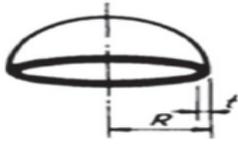
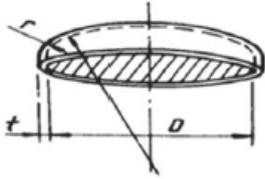
D: Diámetro del reactor 2.41 m

$$t = 0.03493 \text{ m} \approx 34.93 \text{ mm}$$

$$t = 1.375 \text{ inch}$$

Clases de cabezales para tanques.

El cabezal de tipo cabeza elipsoidal 2:1, para la tapa y fondo del tanque reactor es el más ideal, por la presión de trabajo por encima de 15 bar (Sinnott, y otros, 2012 pág. 1007). La siguiente tabla muestra los diferentes tipos de cabezales para tanques, según (Megyesy, 1992)

TIPO	REPRESENTACIÓN
Cabeza elipsoidal 2:1	
Esfera y cabeza hemisférica	
Cabeza ASME bridada y alabeada	

Nota. (Megyesy, 1992).

Impulsor, agitador del reactor HTC

Para el diseño del impulsor, se considera la relación de la altura de llenado y al diámetro del reactor (Singh, y otros, 2009).

$$H = H_r * 0.75 = [m]$$

Donde:

H: Altura de llenado en el reactor (m)

H_r: Altura del reactor 3.62 m

$$H = 2.71 \text{ m}$$

$$C = \frac{H}{3} = [m]$$

Donde:

C: Altura del agitador, con respecto a la base del cilindro (m)

H: Altura de llenado en el reactor 2.71 m

$$C = 0.90 \text{ m}$$

$$D_a = \frac{D}{3} = [m]$$

Donde:

D_a: Diámetro del impulsor (m)

D: Diámetro del reactor 2.41 m

$$D_a = 0.80 \text{ m}$$

Se consideraron 6 alabes para el impulsor, con un espesor de 0.5 inch, así mismo el diámetro del disco porta paletas 0.4 m.

$$L_P = \frac{D_a}{4} = [cm]$$

Donde:

L_P: Longitud de las paletas (m)

D_a: Diámetro del impulsor 0.8 m

$$L_P = 20 \text{ cm}$$

$$A_P = \frac{D_a}{5} = [cm]$$

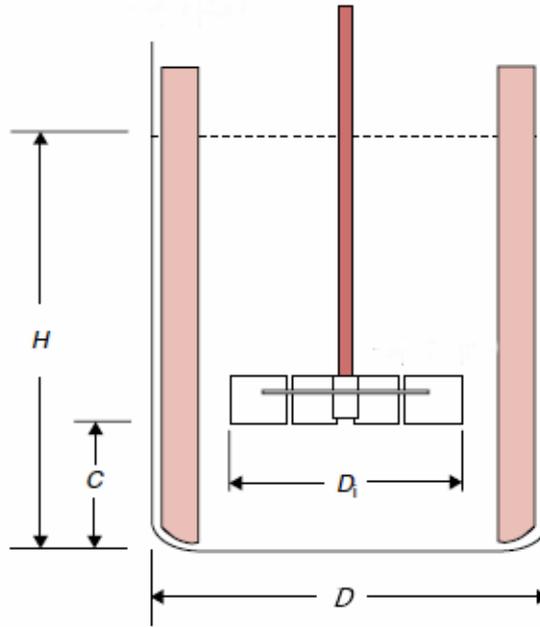
Donde:

A_P: Longitud de las paletas (m)

D_a: Diámetro del impulsor 0.8 m

$$L_p = 16 \text{ cm}$$

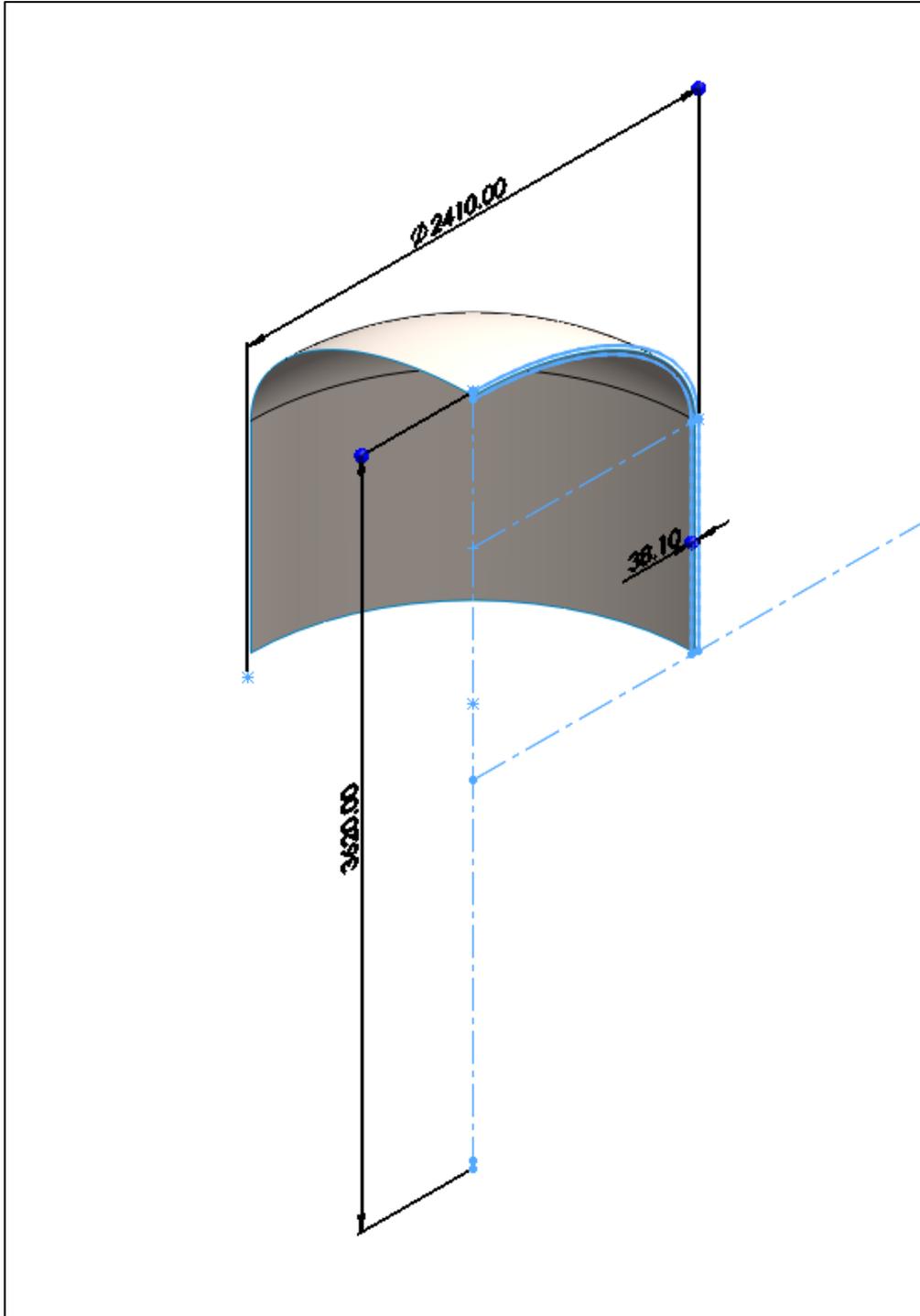
Relación entre las dimensiones del reactor y el impulsor



Nota: (Singh, y otros, 2009).

Simulación y modelamiento del reactor HTC

Modelado de tanque vertical: Se reduce el modelo a 1/8 del tanque para fines prácticos de simulación



Asignación de materiales: Acero inoxidable 316

Material

✕

olidworks materials

- Acero
 - 1023 Chapa de acero al carbono (SS)
 - 201 Acero inoxidable recocido (SS)
 - A286 Súper aleación a base de hierro
 - AISI 1010 Barra de acero laminada en caliente
 - AISI 1015 Acero estirado en frío (SS)
 - AISI 1020
 - AISI 1020 Acero laminado en frío
 - AISI 1035 Acero (SS)
 - AISI 1045 Acero estirado en frío
 - AISI 304
 - AISI 316 Barra de acero inoxidable recocido (SS)
 - AISI 316 Chapa de acero inoxidable (SS)**
 - AISI 321 Acero inoxidable recocido (SS)
 - AISI 347 Acero inoxidable recocido (SS)
 - AISI 4130 Acero recocido a 865C
 - AISI 4130 Acero normalizado a 870C
 - AISI 4340 Acero recocido
 - AISI 4340 Acero normalizado
 - AISI 316L Acero inoxidable
 - AISI Acero para herramientas tipo A2
 - Acero aleado

Haga clic [aquí](#) para acceder a más materiales con el portal web de materiales de solidworks

Abrir...

Propiedades Tablas y curvas Apariencia Rayado Personalizado Datos de apl

Propiedades de material

No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: **Isotrópico elástico lineal**

Unidades: **SI - N/m² (Pa)**

Categoría: **Acero**

Nombre: **AISI 316 Chapa de acero inoxida**

Criterio de fallos predeterminado: **Tensión de von Mises máx.**

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad: **Definido**

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	1.929999974e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.27	N/D
Módulo cortante		N/m ²
Densidad de masa	8000	kg/m ³
Límite de tracción	580000000.8	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	172368932.3	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.6e-05	/K
Conductividad térmica	16.3	W/(m·K)

Aplicar

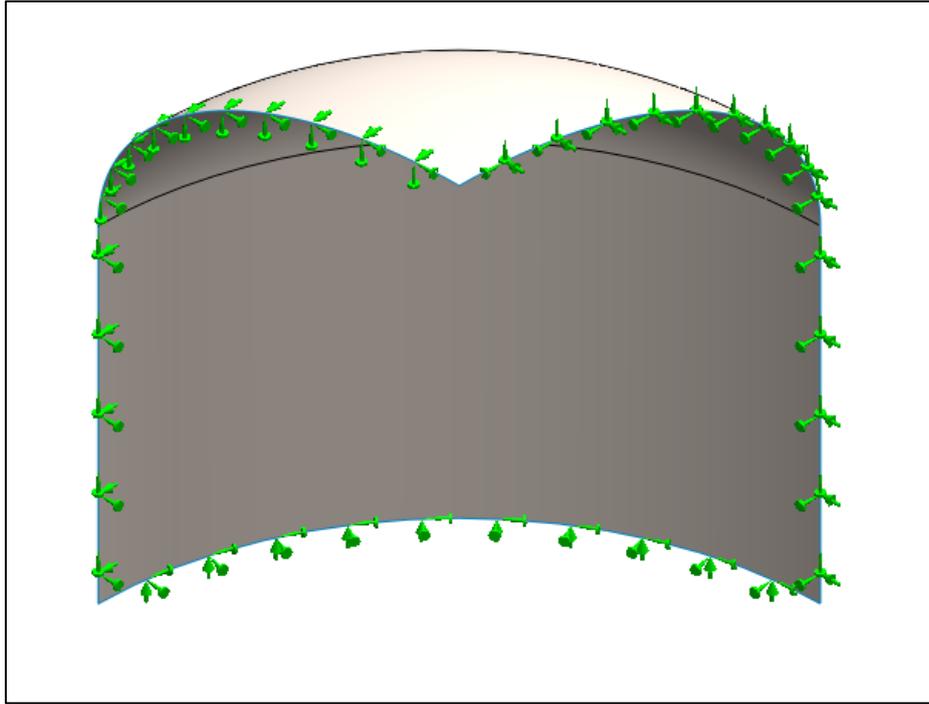
Cerrar

Guardar

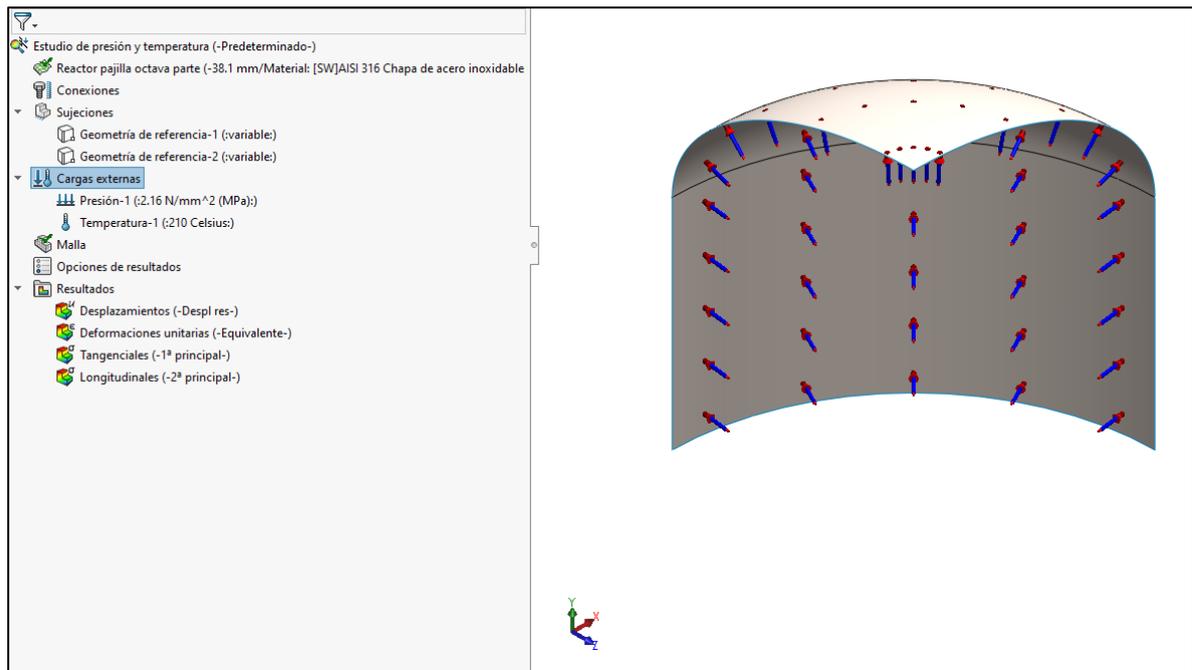
Config...

Ayuda

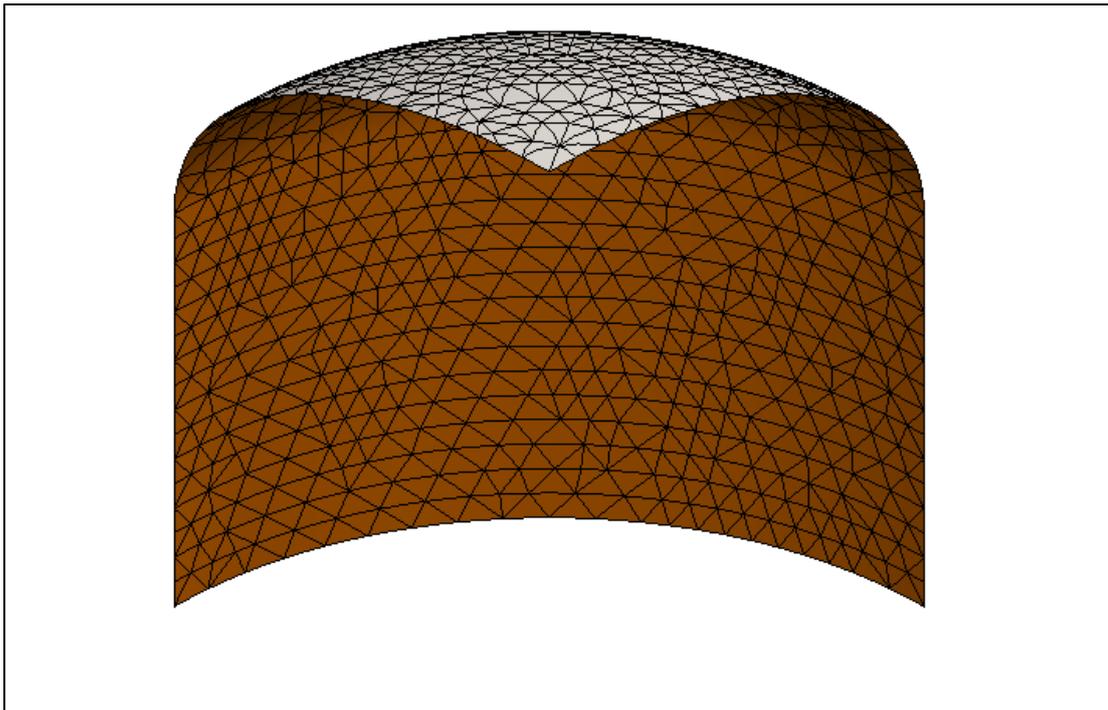
Restricciones en bordes (traslación y rotación)



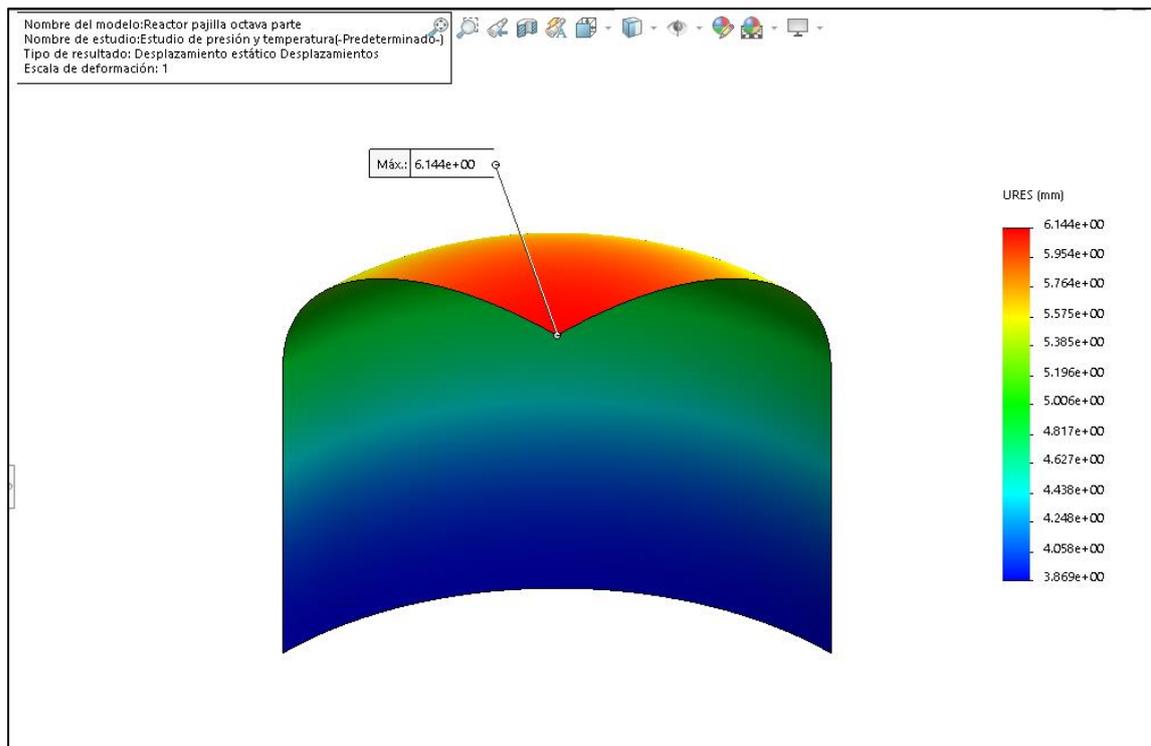
Asignación de cargas de presión y temperatura



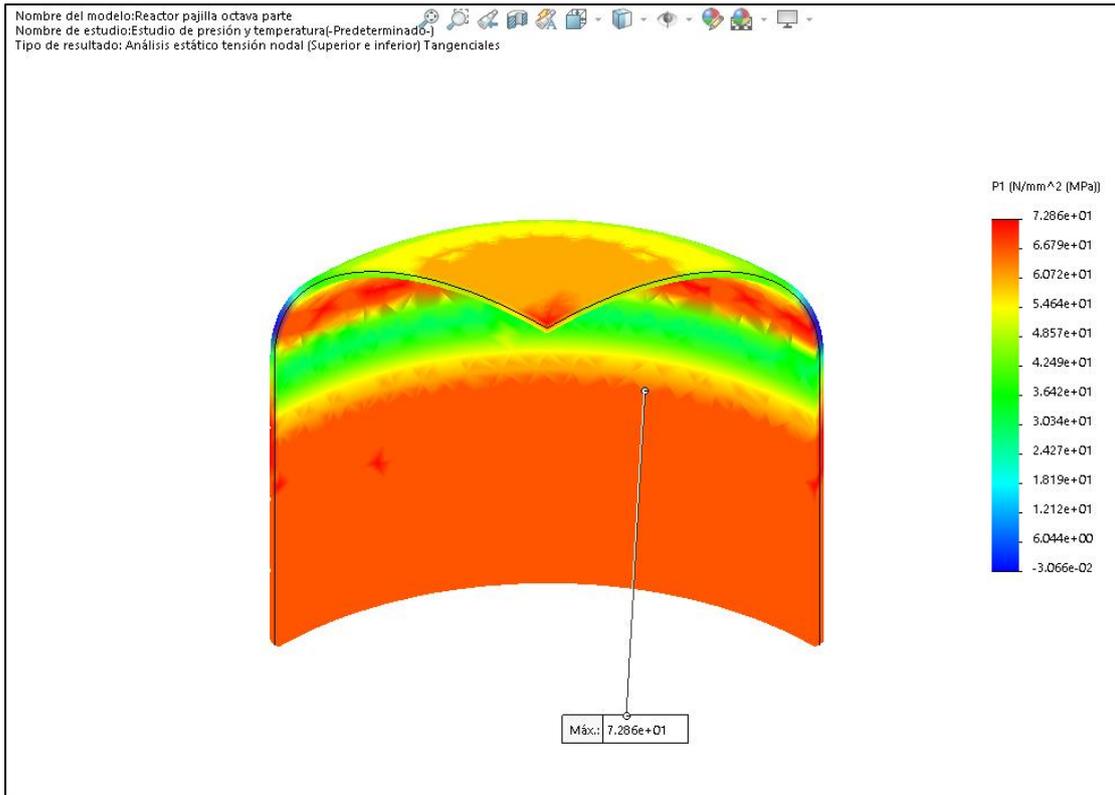
Mallado basado en curvatura (tipo shell)



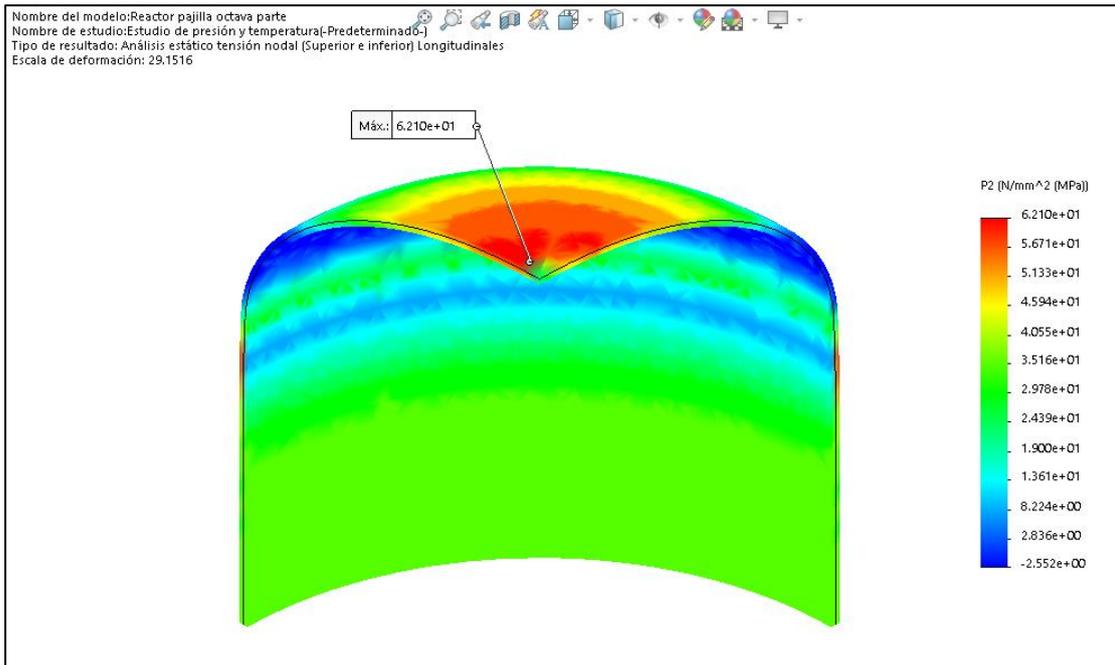
Resultados de desplazamiento



Resultado de esfuerzos máximos tangenciales



Resultado de esfuerzos máximos longitudinales



Criterio de falla

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

La resistencia a la fluencia afectada por la temperatura de 210 °C es: 145 MPa.

Tipo Acero	Temperatura °C	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
316	Límite elástico	196	177	162	147	137	127	120	115	112	110	108
316L	0,2% (R _{p0,2}) min. N/mm ²	182	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98

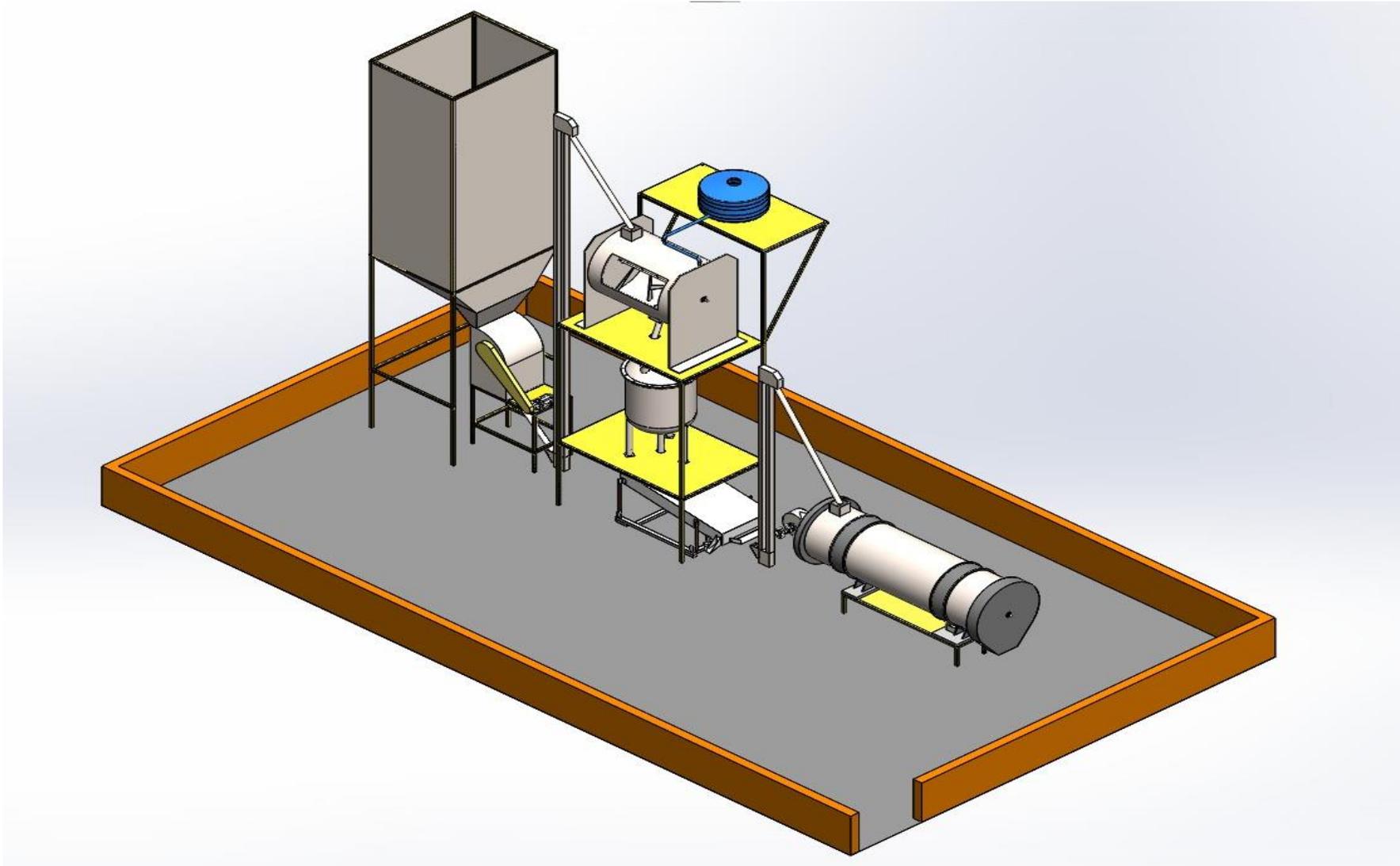
El esfuerzo máximo es el tangencial y equivale a 72.86 MPa.

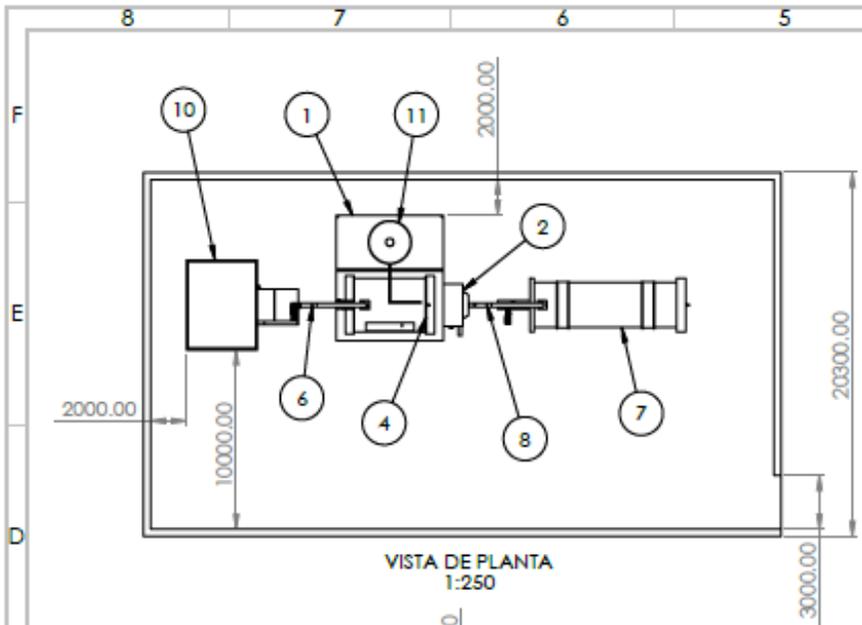
Por lo tanto:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{145}{72.86}$$

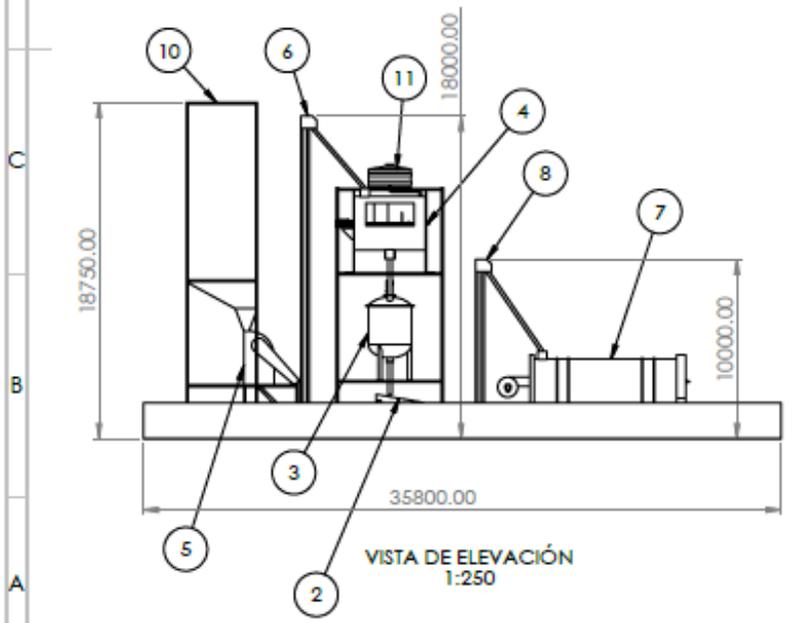
Factor de seguridad = 2 (es seguro)

Vista isométrica y plano general del sistema HTC



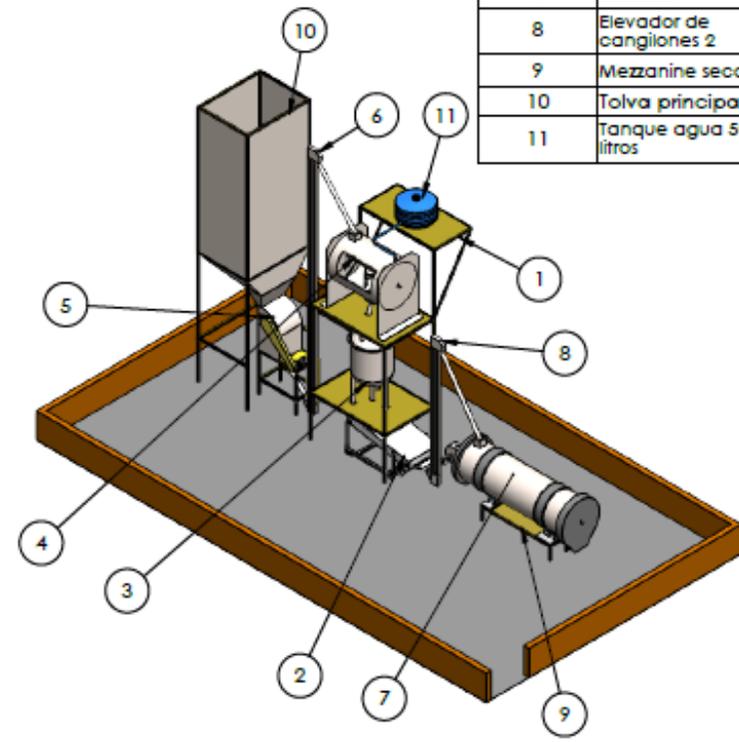


VISTA DE PLANTA
1:250



VISTA DE ELEVACIÓN
1:250

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Mezzanine tres pisos	1
2	Zaranda	1
3	Reactor	1
4	Mezclador	1
5	Molino de martillos	1
6	Elevador de cangilones	1
7	Secador	1
8	Elevador de cangilones 2	1
9	Mezzanine secador	1
10	Tolva principal	1
11	Tanque agua 5000 litros	1



VISTA GENERAL
1:250

Sistema de carbonización hidrotermal de paja de arroz

A3

Dibujado por: Gastelo Sinches Lorenzo Amado
Huamán Fernández Jenry Geremias