UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TRABAJO DE DIPLOMA

EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA MECANIZADA PARA LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE SAGÚ EN LA FINCA INTEGRAL “EL MINGO”

Autor: Rogert Diez Crespo

Tutores
Dr. C. Elvis López Bravo
MSc Alberto López Méndez

Santa Clara 2017

RESUMEN

El trabajo consiste en evaluar el sistema de máquinas utilizado en la Finca Integral “El Mingo” para extraer almidón a partir de los rizomas de Sagú. Para ejecutar el mismo se elaboró la base metodológica correspondiente, arribándose a la conclusión de que algunas de sus máquinas parecen estar sobre dimensionadas de acuerdo a la potencia absorbida y energía consumidas.

El trabajo está expuesto en un total de 48 páginas, incluyendo 4 tablas y 29 figuras, cuenta con la Introducción, tres capítulos, conclusiones y recomendaciones. Para su confección se utilizaron 34 fuentes y bibliografías, y en el cuerpo de la memoria del trabajo están asentados tres anexos, que forma un volumen general del mismo de 50páginas.

ABSTRACT

The work consists of evaluating the machine system used in the Integral Farm "El Mingo" to extract starch from the rhizomes of Sagú. In order to execute the same, the corresponding methodological basis was elaborated, arriving at the conclusion that some of its machines seem to be over dimensioned according to the power absorbed and energy consumed.

The work is exposed in a total of 48 pages, including 4 tables and 29 figures, has the Introduction, three chapters, conclusions and recommendations. For its preparation 34 sources and bibliographies were used, and in the body of the memory of the work are seated three annexes, that form a general volume of the same of 50 pages.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 4

SITACIÓN ACTUAL DEL TEMA 4

1.1 El almidón. 4

1.2 Importancia agroalimentaria del Sagú 5

1.3 La producción del Sagú en Cuba. 8

1.4 Máquinas empleadas para la obtención del almidón del Sagú 10

MATERIALES Y MÉTODOS 14

2.1 Programa general de la investigación. 14

2.2. Metodología para investigar las características constructivas y tecnológicas del sistema de máquinas utilizado para la obtención de almidón de Sagú en la Finca Integral “El Mingo”. 15

2.3. Metodología para evaluar la calidad del trabajo en la tecnología mecanizada objeto de estudio. 15

2.3.2. Metodología para determinar la productividad del tambor de limpieza. 17

2.3.3. Metodología para determinar la productividad del molido. 17

2.3.4. Metodología para determinar la velocidad angular de la fuente motriz: 18

2.3.5. Metodología para determinar la demanda energética de la fuente motriz. 18

2.4. Metodología para elaborar los planos del sistema de máquinas utilizado en la Finca Integral “El Mingo” para obtener almidón a partir de los rizomas de Sagú. 19

CAPÍTULO III 21

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 21

3.1. Resultados del estudio para investigar las características constructivas y tecnológicas del sistema de máquinas utilizado para la obtención de almidón de Sagú en la Finca Integral “El Mingo”. 21

3.2. Resultados del estudio para evaluar la calidad del trabajo en la tecnología mecanizada objeto de estudio. 28

3.2.1. Resultados del estudio para evaluar la calidad de la limpieza en función del contenido de materias extrañas y tiempo de permanencia de los rizomas en el tambor de limpieza. 29

3.2.2. Resultados del estudio para determinar la productividad del tambor de limpieza. 30

3.2.3. Resultados del estudio para determinar la productividad del molido. 32

3.2.4. Resultados del estudio para determinar la velocidad angular de la fuente motriz. 34

3.2.5. Resultados del estudio para determinar la demanda energética de la fuente motriz. 34

3.3. Resultados del trabajo para elaborar los planos del sistema de máquinas utilizado en la Finca Integral “El Mingo”, destinado a la obtención de almidón a partir de los rizomas de Sagú. 35
3.3.1. Cálculo de la relación de trasmisión del tambor limpiador. 36
3.3.2. Cálculo de la trasmisión del molino de martillos. 38
3.3.3. Resultados del estudio para elaborar el plano de conjunto de la máquina de molinar 40
3.3.4. Resultados del estudio para elaborar el plano de conjunto del molino de martillos. 41
CONCLUSIONES 46
RECOMENDACIONES 47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 48
ANEXOS 50

INTRODUCCIÓN

En la actualidad alrededor de mil millones de personas sufren de hambre en el mundo (FAO, 2013), una cifra significativa si se tiene en cuenta que la población mundial es de más de siete mil millones de personas.

La seguridad alimentaria por tanto, constituye uno de los ejes estructurales fundamentales para fortalecer la dimensión del desarrollo humano, haciéndose necesario que en el proceso de redención del recurso alimentario se haga tangible la sensibilización y el emprendimiento hacia una cultura de lo mixto.

Cundo de agricultura se trata, el desarrollo tecnológico y agrícola es vital, haciéndose necesario entonces el manejo de nuevas tecnologías, acompañadas de innovaciones tanto en la agricultura como en la alimentación, además de considerar el empleo de variantes y fuentes de producción alternativas que permitan cambios significativos en los pequeños productores.

En este contexto, los cereales son los alimentos básicos esenciales que proporcionan calorías. Sin embargo, en las zonas rurales del trópico húmedo también se obtienen las mismas a través de otros cultivos diferentes a los cereales tales como, raíces y tubérculos, que son producidos generalmente en sistemas de cultivos a pequeñas escalas o en forma de agricultura de subsistencia, basadas en prácticas tradicionales muy arraigadas como es el caso del Sagú.

El sagú (***Maranta arundinacea L***.) es una planta de la familia Marantaceae, reconocida como una manifestación de la biodiversidad silvestre cultivada en el neotrópico desde Panamá hasta Ecuador.

Se propaga por rizomas cilíndricos, tuberosos y carnosos, tradicionalmente utilizados para la fabricación de harina, almidón, afrecho, y como fuente para la alimentación de humanos y animales.

De su familia se considera la de mayor importancia económica, ya que sus raíces y tubérculos se utilizan como una valiosa fuente de obtención de almidón.

Sin embargo, en Cuba su uso ha sido relativamente limitado y se cultiva solo por pequeños agricultores con fines más bien domésticos, quienes utilizan para su procesamiento y obtención de almidón tecnologías prácticamente artesanales basadas en prácticas tradicionales, aunque en algunos casos

esporádicos se utilizan máquinas ya existentes para otros fines que de manera empírica se utilizan para la extracción de almidón de sagú de manera mecanizada.

Tal es el caso del sistema de máquinas utilizado para la obtención del almidón de Sagú en la Cooperativa de Crédito y Servicios “Filiberto González Mújica“ perteneciente a la comunidad “Wilfredo Pagés”, del municipio Cifuentes, provincia Villa Clara, específicamente en la Finca Integral “El Mingo”.

El mismo fue desarrollado en el año 2008, y aunque para la obtención de almidón funciona de acuerdo a un diagrama de flujo muy similar a los empleados en el ámbito internacional, sus máquinas han sido confeccionadas de manera rústica y empírica basándose solo en criterios del propietario sobre la base de la prueba y el error, razón por la cual se ve limitada la generalización de ésta tecnología a otros pequeños productores que cosechen el Sagú, pues no existen pruebas que avalen la calidad de su concepción y funcionamiento.

Por ello, el **objeto de estudio del trabajo** es la tecnología mecanizada para la extracción de almidón de sagú utilizada en la Cooperativa de Crédito y Servicios “Filiberto González Mújica“ perteneciente a la comunidad “Wilfredo Pagés”, del municipio Cifuentes, provincia Villa Clara, específicamente en la Finca Integral “El Mingo” y el p**roblema científico** consiste en definir, ¿Cuál es la probabilidad de que una evaluación realizada a la tecnología que se utiliza en la Finca Integral “El Mingo” para obtener almidón de Sagú, ofrezca resultados que avalen la calidad de su concepción y funcionamiento?

Para ello se emplea la siguiente **hipótesis de trabajo:** Si se estudia el proceso tecnológico y sistema de máquinas empíricamente utilizado para la obtención del almidón de sagú de manera mecanizada objeto de estudio, se podrán obtener criterios técnicos que definan sus aspectos positivos y negativos con vistas a su posible generalización.

Por tanto, el **objetivo general** del trabajo consiste en evaluar el sistema de máquinas utilizado para obtener almidón de Sagú en la Finca Integral “El Mingo”, a través del análisis de sus parámetros de trabajo, para facilitar su construcción y generalización amparados por criterios técnicos.

Para ello se establecen los siguientes **objetivos específicos**:

1. Estudiar las características constructivas y tecnológicas del sistema de máquinas utilizado en la Finca Integral “El Mingo” para obtener almidón de Sagú.
2. Evaluar la calidad del trabajo de la tecnología mecanizada construida de manera empírica para la obtención del almidón de sagú.

3. Elaborar los planos del sistema de máquinas utilizado a través de las técnicas CAD, (SolidWorks 2016).

CAPÍTULO I
SITACIÓN ACTUAL DEL TEMA

1.1 El almidón.

En general, los almidones son los carbohidratos naturales que constituyen las reservas de nutrientes de las plantas, y responden a la formula general $(C_6H_{10}O_5)_n$, donde *n* es probablemente no menor de 1000 (KIRK, 2004).

Sin embargo, sus características físicas y químicas, así como sus aspectos nutricionales, lo diferencian del resto de carbohidratos tanto por la forma como el tamaño de los gránulos, por lo que pueden utilizarse para identificar el origen de un almidón o harina (COULTATE, 2007).

En términos de cantidad el almidón, después de la celulosa, es el carbohidrato más abundante en la naturaleza y el principal constituyente de la harina de trigo llegando a alcanzar aproximadamente el 70%, razón por la cual es tan importante en la elaboración de productos de panificación y pastelería (CHARLEY, 2001).

El almidón se presenta en forma de gránulos con forma redondeada, irregular, con tamaños que oscilan entre 2 y 100 µm (HOSENEY, 1994).

Las fuentes fundamentales de obtención del almidón son los cereales, los tubérculos, las leguminosas y frutas; donde las transformaciones reversibles entre el almidón y la glucosa que intervienen en la maduración después de la cosecha tienen una influencia notable sobre la calidad (CHEFTEL, 1977).

Desde el punto de vista químico el almidón es un polisacárido formado por un monómero único de glucosa, es una mezcla de dos polisacáridos similares, la amilosa y la amilopectina.

En su estado natural, el almidón no presenta hinchamiento de los gránulos al ponerlo en suspensión en agua fría, es insoluble y no forma gel. Por tanto, un almidón en suspensión posee baja viscosidad en frío. Al elevar la temperatura sin embargo, gradualmente los gránulos comienzan a hincharse y se hace soluble aumentando la viscosidad.

Los almidones y los derivados de los almidones (almidones modificados) actúan como vehículos inertes en preparaciones como polvos para hornear y, como espesantes en alimentos procesados como salsas, sopas, caldillos,

cremas que incluyen helados, pudines y repostería. Además pueden usarse como un sustituto de ingredientes como el huevo y el aceite vegetal en la preparación de productos referenciados como bajos en grasa y no grasos de aderezos, ej. ensalada (KIRK, 2004; SAWYER, 2004; FENNEMA, 2010).

Los almidones de buena calidad se caracterizan por poseer alto contenido de almidón y alta viscosidad de la pasta, tienen baja solubilidad, alta capacidad de retención de agua y un alto poder de hinchamiento, siendo el obtenido del Sagú un almidón codiciado debido a sus propiedades medicinales y alimenticias (ALARCÓN, 2002; ARISTIZABAL, 2007).

1.2 Importancia agroalimentaria del Sagú

El Sagú, (***Maranta arundinacea L***.), es una planta de la familia Marantaceae, reconocida como manifestación de la biodiversidad silvestre y cultivada en el trópico(VALDÉS, 2010) (Figura. 1.1)

Figura. 1.1. Plantación de Sagú.

También se le conoce como Platanillo de ciénaga o río; Sagú cimarrón, Aru-Aru (comida de comida), Arrowroot (raíz de flecha), Araruta, Envers Blanc; Dictame; y Pfeilwurz, según el país o región de cultivo (MONTALDO, 1991).

Incluso en un mismo país puede adoptar varios nombres, en Venezuela por ejemplo se le conoce como Guate, Guapo, Sulú, Bordoncillo, Caramaco, Yuquilla. En Puerto Rico adopta los nombres de Amaranta, Maranta, Pitisilén, Yuquilla; en Costa Rica se conoce como Sagú o Bribri; y en Colombia Jua-Juá y Chocó. Siendo una planta nativa de Sudamérica, aunque se cultiva también en Puerto Rico, Colombia, la Florida, las Antillas, en América tropical y en los trópicos del viejo Mundo (MILIÁN, 2013).

Según Patiño (HERNANDEZ-MEDINA *et al.*, 2008) , esta especie se propagó desde las riberas del río Orinoco, tanto de las planicies como de la parte alta, aunque no descarta algunos sectores de la serranía venezolana, de ahí el

nombre de Guapo que está asociado a un afluente de este río. Actualmente se distribuye en las zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo con una clara concentración Neotropical como se muestra en la figura.1.2.

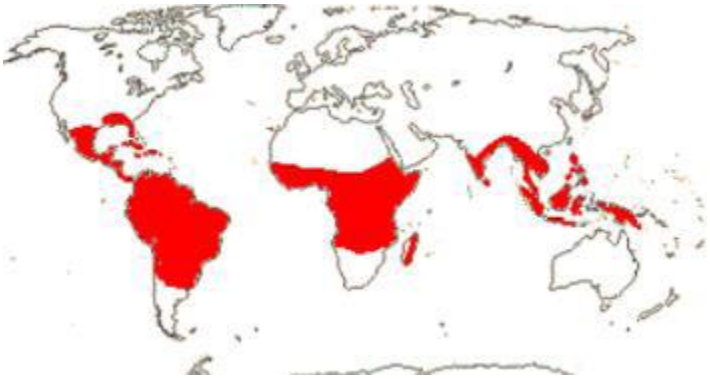


Figura.1.2. Zonas de cultivo del Sagú (LEON NORUEGA, 2007).

La producción mundial del Sagú realmente es pequeña y por ello se encuentran pocas estadísticas de la misma. Tradicionalmente se reconoce a la isla: de San Vicente y Las Granadinas (Antillas menores) como el mayor productor de almidón, alcanzando cifras record de 7 500 t en el año 1964.

Posteriormente, debido a un cambio en la política por parte del Reino Unido respecto a la caña de azúcar, el Sagú ya no pudo ser competitivo con esta y su producción disminuyó considerablemente (MONTALDO, 1991).

Sobrepasada esta etapa, la producción promedio alcanzó las 230,2 t aunque enfrentó periodos de decrecimiento, producto del surgimiento de sustitutos para el almidón y debido al crecimiento de la producción bananera, enfrentando dos etapas críticas a finales de los años 80 y principios de los 90 del pasado siglo, donde se experimentó una reducción en la producción de 65 a 128 t, según datos del (LOPEZ, 1995).

Actualmente el Ministerio de la Agricultura de ese país está incentivando a los productores a elevar los volúmenes de producción del Sagú debido a un notable incremento de la demanda de almidón en el ámbito mundial proveniente de la industria farmacéutica y la electrónica.

Se reconoce, además, a la Isla de Barbados y a Brasil como otros de los mayores productores en el ámbito mundial.

El almidón de Sagú se consume prácticamente en todas las latitudes del ámbito mundial, nos obstante, se ha identificado a los Estados Unidos como uno de los mayores consumidores del mismo, pues según datos del Ministerio de la Agricultura de San Vicente y las Granadinas, este país le ha demandado

80 t de almidón para el año 2014, las cuales estarán destinadas a la industria farmacéutica.

Este cultivo forma parte de las especies menores de raíces y tubérculo de consumo regional y mundial, es una herencia de los aborígenes pues ha servido de alimento a muchas familias durante siglos por su alto valor alimenticio.

Al ser un almidón proporciona calorías esenciales (1 567 calorías/kg consumido) y es rico en carbohidratos lo que constituye su elemento nutritivo fundamental, pues aporta grasa, calcio hierro, fósforo, potasio, sodio y en menor grado proteínas, así como vitaminas (VALDÉS, 2010).

Sus componentes fundamentales se muestran en la tabla 1.1

Tabla 1.1. Componentes fundamentales del Sagú. (Roig, 2012)

Composición	Porcentaje; %
Almidón	27,07
Fibra	2,81
Grasa	0,20
Albúmina	1,56
Azúcares, gomas, etc.	4,10
Cenizas	1,23
Agua	62,96

Se propaga por rizomas (tallos subterráneos) cilíndricos, tuberosos y carnosos tradicionalmente utilizados como fuente para alimentación de humanos y animales (VALDÉS, 2010) fundamentalmente para la fabricación de harina, almidón, y afrecho.

Los rizomas de esta planta contienen una gran cantidad de féculas y por ello, se constituye en un alimento muy sano, nutritivo y agradable, propio para la alimentación de niños pequeños después de la etapa de lactancia, enfermos convalecientes, ancianos y personas con problemas gástricos.

Según indicaciones de la (FAO, 2014), el almidón extraído de la planta posee características especiales de funcionalidad y se usa en la preparación de alimentos.

El almidón extraído de los rizomas del Sagú constituye un excelente sustituto de aditivos alimentarios en la producción de purés de frutas y vegetales, pues

se disuelven sin formar grumos y proporcionan una viscosidad superior a la del almidón de arroz u otros sucedáneos; además, se utiliza como sustituto de una parte del Agar en los medios de cultivo in Vitro ya que acelera el desarrollo de las plántulas (FERNÁNDEZ, 1999); en la repostería para elaborar dulces finos, galletas, panes, y harina para empanizar; así como, en la producción de embutidos como jamón y salchichas.

También se puede incorporar a la mayonesa en lugar del carboxilmetil celulosa, en la pasta de guayaba como sustituto de la pectina, y en el helado sustituyendo almidón (MILIÁN, 2013).

De igual forma, para la alimentación animal el Sagú tiene gran importancia, pues investigaciones realizadas por (MONTALDO, 1991), evidencian que sus rizomas son una rica fuente de proteínas y energía cuando se añade a la dieta de los mismos, lo que ha propiciado que los residuos sólidos que se obtienen en el proceso de molido se utilicen como componente en las formulaciones de pienso animal.

En República Dominica, la planta se utilizó en la antigüedad por los aborígenes para curar las heridas producidas por flechas envenenadas, utilizando para ello el rizoma que machacaban hasta formar una papilla que posteriormente aplicaban a la herida. De ahí el nombre inglés de la planta, arrow root (raíz de flecha). Los nativos de las Antillas también lo usaban como antídoto en el envenenamiento producido por el manzanillo, así como para aliviar las picadas de avispas y hasta en la cura de la gangrena (ARIZA *et al.*, 2013).

La utilidad de este cultivo se ha extendido hasta la producción de etanol, pues algunos investigadores, basados en el concepto de la bio-refinería, introdujeron los componentes del ensilado de la raíz y biomasa aérea del Sagú como un sustrato natural para la producción de etanol.

1.3 La producción del Sagú en Cuba.

El cultivo del Sagú se reporta en Cuba desde hace ocho milenios atrás, según estudios arqueológicos desarrollados por (MILIÁN, 2013), donde se reportó la presencia de restos de almidones en fragmentos de burén encontrados en la Laguna de Limones, provincia de Guantánamo. Por tal motivo se le considera una especie de larga tradición en la alimentación de los habitantes de esta Isla.

A lo largo de la historia se han encontrado múltiples evidencias de su utilización en la alimentación humana, además, como medicina.

(MORA, 1827), hace referencia al Marqués de San Felipe como uno de los mayores productores de dicha planta en Cuba y reseñó que la señora Condesa de Casa-Flores llevó desde La Habana hacia España una cantidad no precisada de almidón de Sagú para el tratamiento a enfermos que además se le suministró a partir del 9 de Septiembre de 1817 a 21 niños recién nacidos.

A pesar de las bondades de esta planta, en Cuba nunca ha ocupado un lugar notable entre los cultivos más explotados, pues según Álvaro Reynoso, desde esa época el cultivo se plantaba principalmente en la región Oriental y en Camagüey, por lo general en pequeñas áreas dentro de los grandes cafetales, o en las guardarrayas de los campos de caña. La fécula extraída de las yuquillas se destinaba únicamente al alimento de los niños pequeños.

En la actualidad tampoco es muy frecuente encontrar grandes plantaciones, solo producciones aisladas, en distintos territorios del país, donde se incluyen las provincias centrales.

Desde el triunfo de la Revolución, los principales dirigentes comenzaron a mostrar interés en el cultivo de esta planta, y así, el 12 de diciembre de 1961 el propio comandante en jefe propuso realizar experimentos con tres tipos de cultivos: Chufas, Alubia asturiana y el Sagú, destacando de forma promisoria la importancia de este último como alimento para niños y ancianos, valorando la posibilidad de diseminarlo en todo el país (CASTRO, 1961).

No obstante por mucho que los subprogramas de la Agricultura Urbana han trabajado en el rescate de estas especies menores se ha avanzado muy poco, por lo que se debe seguir incorporando esfuerzos para lograr grandes plantaciones y crear las condiciones para producir el almidón que necesita la industria alimentaria, dado el creciente costo de la harina de maíz (maicena) y la de trigo (llamada castilla), las cuales pueden sustituirse total o parcialmente en dependencia del tipo de producto, contribuyendo de esta forma al ahorro de divisas.

En éste sentido, se desarrollan pequeñas plantaciones de éste cultivo en áreas de centros de investigaciones cubanos como el Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales de Agricultura Tropical (INIFAT) en La Habana, el Instituto Nacional de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT) en Villa Clara, y la Estación Experimental Álvaro Barba Machado de la Universidad Central de Las Villas, las que utilizan fundamentalmente parcelas

experimentales para ello, o se destinan al mantenimiento de los bancos de germoplasmas de dichos centros (RODRÍGUEZ, 2011). Resultados de investigaciones realizadas en el INIFAT revelan que en condiciones de producción de bajos insumos se puede alcanzar un rendimiento promedio de rizomas por planta hasta de 0,0003 t, y los rendimientos por área de 21 t/ha. Por cada 0,046 t de rizomas que se procesen se obtienen aproximadamente 0,0069 t de harina (FERNÁNDEZ, 1999; FERNÁNDEZ, 2013).

En gran medida, la producción de harina del almidón de Sagú en Cuba se ha visto frenada por lo laborioso que resulta su obtención, ya que de forma manual es un trabajo muy pesado y lento, que para ser mecanizado exige la existencia de un grupo de máquinas especializadas y costosas.

1.4 Máquinas empleadas para la obtención del almidón del Sagú

Las máquinas a emplear durante la obtención del almidón del Sagú en la mayoría de los países que se dedican a su producción a gran escala, dependen de las operaciones a desarrollar durante el proceso de extracción (Figura. 1.3).

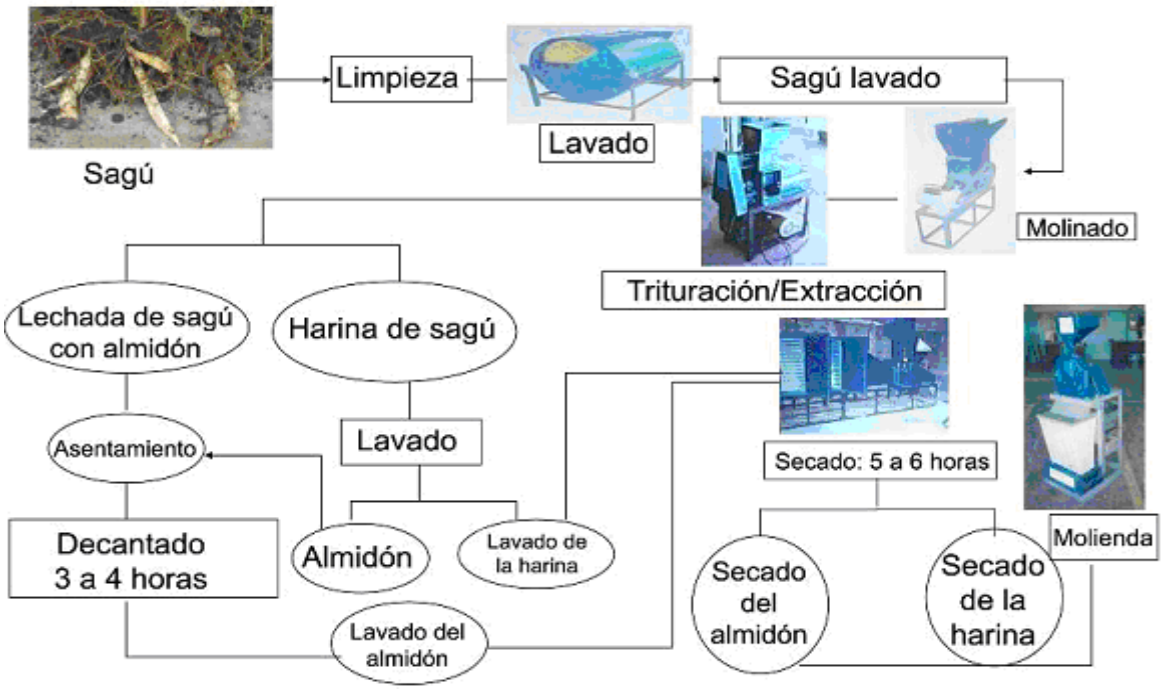


Figura. 1.3. Operación mecanizada desarrollada para el procesamiento de Sagú.

Como se observa en la figura estas son: Limpieza; molinado; extracción; asentamiento; decantado y secado.

El proceso más elemental parte de un lavado inicial de los tubérculos, así como la eliminación de la membrana externa, posteriormente se pasa a la fragmentación o granulación de los mismos hasta obtener el jugo y la masa que será finalmente sometida al cribado hasta obtener un tamaño de partícula determinado.

Este material finalmente será sometido al secado para la obtención del almidón, aunque en algunos casos se somete a molinado final para garantizar una determinada granulometría de la harina de almidón de Sagú.

Para el lavado mecánico de los rizomas y la eliminación del tejido exterior se han desarrollado varios prototipos de máquinas que en la mayoría de los casos tienen una disposición horizontal del tambor de lavado, el cual hace girar los rizomas ejerciendo una fuerza centrífuga producto de su rotación, además de la acción conjunta del agua.

Estas lavadoras permiten el proceso de carga y descargas semi-continuas y poseen una gran capacidad de lavado Ejemplo de estas son los prototipos desarrollados por el Centro de Investigaciones CIAT (Figura. 1.4a), la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuarias “Corpoica” (Figura. 1.4b) y las mecánicas que actúan bajo el mismo principio de centrifugado producto de la acción de un disco que rota verticalmente (Figura. 1.4c). Estas poseen mejor capacidad de lavado, pero en ellas se dificulta más el desprendimiento de las partículas adheridas a los rizomas (RODRÍGUEZ, 2003).

Figura. 1.4. Máquinas lavadoras de rizomas, tubérculos, y raíces tuberosas. a) Lavadora mecánica desarrollado por el CIAT; b) Lavadora desarrollada por Corpoica; c) Lavadora empleada en la industria del Sagú en Filipinas.

Las máquinas utilizadas en la fragmentación o reducción de los rizomas se basan en diferentes principios de funcionamiento y por ello, en algunos casos se emplean máquinas utilizadas en la producción industrial de alimentos.

Las mismas someten a los tubérculos a un proceso de corte inicial y posterior molinado para reducir el tamaño de las partículas, lo cual facilita la posterior extracción del jugo y masa empleada en la obtención del almidón (VALDÉS, 2010).

Sin embargo, las mismas tienen la desventaja de ser poco productivas debido a su poca capacidad de procesamiento, por ello se adecuan más para volúmenes de producción pequeños.

El rayado es otra de las formas de procesar los rizomas, pero en éste caso, durante el mismo el jugo y la masa se extraen al hacer friccionar los rizomas contra una superficie rugosa que los va erosionando.

Sobre este principio se basan las técnicas manuales de obtención del almidón de Sagú, aunque se han desarrollado máquinas de este tipo que van desde las rústicas accionadas manualmente (Figura. 1.5a), hasta máquinas accionadas por motores eléctricos o de combustión interna (Figura. 1.5 b, c).

a) b) c)

Figura. 1.5. Máquinas empleadas en la fragmentación de los rizomas del Sagú mediante el rayado. a) Rayadora manual de manivela, b) Rayadora semirrústica accionada por motor de combustión interna; c) Rayadora mecánica accionada por motor eléctrico.

Sin embargo, las máquinas más utilizadas en la fragmentación de los rizomas son las que basan su funcionamiento en la aplicación de cargas de impacto

sobre los mismos, destruyen su estructura y los fragmentan hasta alcanzar un tamaño de partículas determinado.

En este caso, lo más común es utilizar órganos de trabajo tipo martillos dispuestos en secciones o baterías que pueden ser accionadas por motores eléctricos o por motores de combustión interna.

En Cuba el desarrollo de máquinas para la obtención del almidón del Sagú se ha visto muy limitado, lo cual ha estado condicionado al propio desarrollo que ha tenido el cultivo, pues como se ha evidenciado en los epígrafes anteriores, este cultivo en mucho de los casos ha tenido el carácter de cultivo que crece marginalmente dentro de los cafetales y guardarrayas de campos de caña.

Actualmente y a saber, en Cuba el sistema mecanizado para la obtención del almidón de Sagú más completo se encuentra en la Cooperativa de Crédito y Servicios “Filiberto González Mújica“ perteneciente a la comunidad “Wilfredo Pagés”, del municipio Cifuentes, provincia Villa Clara, específicamente en la Finca Integral “El Mingo”.

El mismo fue desarrollado en el año 2008, y para la obtención de almidón funciona de acuerdo al diagrama de flujo que se representa en la figura. 1.6, muy similar a los empleados en el ámbito internacional (FERNÁNDEZ, 2013).

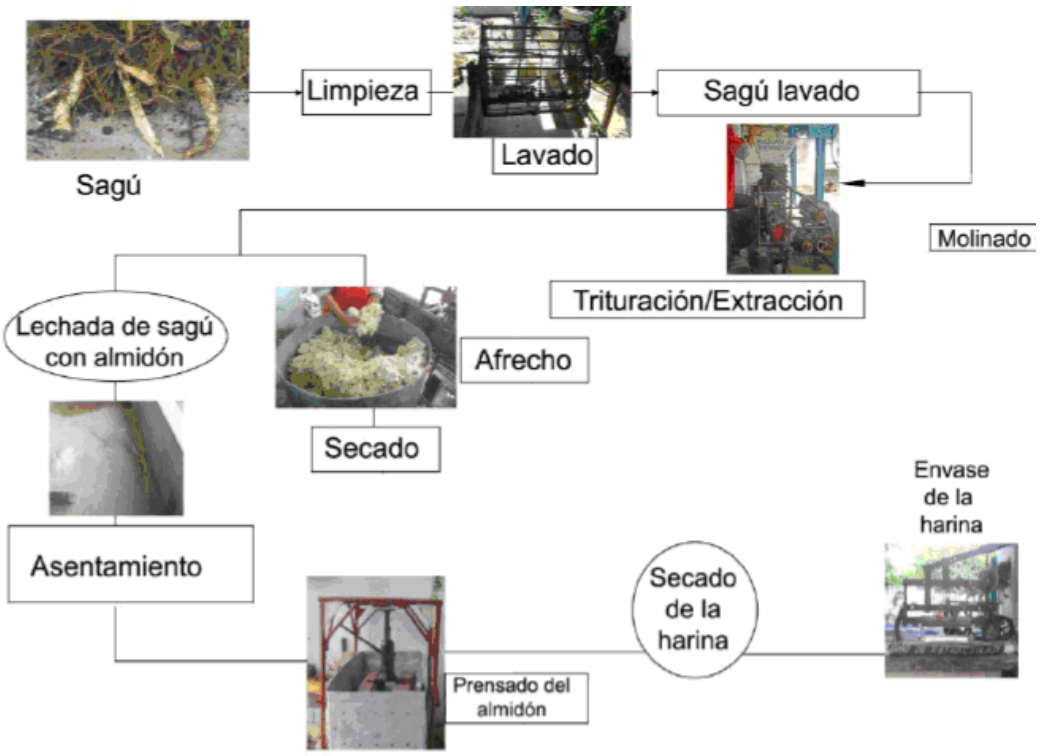


Figura 1.6. Diagrama de flujo del proceso de obtención de almidón de Sagú en le Finca El Mingo. Villa Clara. Cuba

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Programa general de la investigación.

El programa de la investigación prevé el estudio de las particularidades del proceso tecnológico y características técnicas del sistema de máquinas que conforman la tecnología para la obtención de almidón de Sagú utilizado en la Cooperativa de Crédito y Servicios “Filiberto González Mújica” perteneciente a la comunidad “Wilfredo Pagés”, del municipio Cifuentes, provincia Villa Clara, específicamente en la Finca Integral “El Mingo”.

El período de la investigación se enmarca en los meses de septiembre a mayo de 2017.

En la tabla 2.1 se exponen las etapas principales de la investigación, los objetos estudiados y los problemas que se analizan en cada caso.

Tabla 2.1 Programa y objetos de la investigación.

ETAPAS PRINCIPALES DE LA INVESTIGACIÓN	OBJETOS ESTUDIADOS	ASPECTOS A ANALIZAR
1. Analizar las características constructivas y proceso tecnológico del sistema de máquinas utilizado,	Sistema de máquinas utilizado para la obtención del almidón de Sagú en la Finca Integral “El Mingo”.	➢ Particularidades del proceso tecnológico utilizado; ➢ Características técnicas del sistema de máquinas empleado.
2- Evaluar la calidad del trabajo en la tecnología mecanizada objeto de estudio.	Máquinas que conforman la tecnología mecanizada de obtención de almidón de Sagú	➢ Calidad de la limpieza; ➢ Productividad del tambor de limpieza; ➢ Productividad del molido; ➢ Velocidad angular; ➢ Demanda energética.
3- Elaborar los planos de las máquinas y piezas fundamentales que conforman el proceso tecnológico de obtención de almidón a partir de Sagú en la Finca Integral “El Mingo”.	Máquinas fundamentales del proceso tecnológico.	➢ Tambor de limpieza; ➢ Molino de martillos; ➢ Tornillo sin fin;

2.2. Metodología para investigar las características constructivas y tecnológicas del sistema de máquinas utilizado para la obtención de almidón de Sagú en la Finca Integral “El Mingo”.

Para investigar las características constructivas y tecnológicas del sistema de máquinas utilizado, se realiza una extensa revisión bibliográfica a fuentes tales como: (BUITRAGO, 2004), IGLESIAS (1992), Internet, etc., donde se explican detalles de las mismas para idénticos fines en otras latitudes.

De manera visual se analizan los detalles constructivos de cada una de las máquinas que intervienen en el proceso, se analiza funcionamiento de las mismas y la calidad del trabajo que realizan, además de realizarse las mediciones que se consideren necesarias para optimizar formas y dimensiones según sea el caso.

Esta información es de vital importancia si se tiene en cuenta que se trata de un sistema de máquinas construido de manera empírica sin sustento científico tecnológico alguno.

2.3. Metodología para evaluar la calidad del trabajo en la tecnología mecanizada objeto de estudio.

Para la selección de cada uno de los componentes que intervienen en la elaboración del almidón del sagú, se introdujo un diagrama de flujo para las operaciones de pulverización o fraccionamiento de medios orgánicos, donde se divide cada una de las operaciones en subsistemas por los cuales pasa la materia prima antes de convertirse en almidón.

Se aplicó el método del modelo conceptual para la selección de las partes y mecanismos (PAHL, 1984).

Según el método, la evaluación está dirigida a determinar el valor, la utilidad o la función de ciertos requerimientos.

Como primer paso para la aplicación de esta metodología se elaboró un listado de los criterios a emplear para la evaluación. Ellos fueron:

Productividad; emisión de ruidos, gases y desechos; complejidad para la explotación; consumo energético; calidad del producto final y seguridad de los operarios.

A cada uno de los criterios de evaluación se asignó un nivel de ponderación, considerando la importancia relativa de cada uno de ellos.

Los criterios con mayor aprobación correspondieron a los relativos al cumplimiento de la función principal de la máquina, al relacionado con los costos y al relativo a las condiciones de trabajo.

La asignación de los valores de ponderación fueron conformados sobre la base de consultas a expertos y los resultados obtenidos en trabajos anteriormente realizados con otros tipos de equipos agrícolas (MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, 2008).

Los indicadores a evaluar son:

- Calidad de la limpieza en función del contenido de materias extrañas y tiempo de permanencia de los rizomas en el tambor de limpieza;
- productividad del tambor de limpieza;
- productividad del molido;
- productividad de mezclado.
- velocidad angular de la fuente motriz;
- demanda energética.

2.3.1. Metodología para determinar la calidad de la limpieza en función del contenido de materias extrañas separadas y tiempo de permanencia de los rizomas en el tambor de limpieza.

Se determina de manera gravimétrica en el laboratorio de Residuales de la UCLV, con ayuda de una balanza digital Saltoriuos de precisión 0,0001g, determinando la masa de suelo y materias extrañas presentes y derivadas del tambor de limpieza una vez realizada la misma, contra la masa inicial de rizomas vertidos al tambor antes de iniciarse el proceso.

Se procede del siguiente modo:

Se limpia previamente el área ubicada debajo del tambor de limpieza, asegurándose que no queden materias extrañas en la misma, se toman 50kg de rizomas al azar extraídos de las bolsas que los contienen tomadas indistintamente de la superficie, medio y fondo de las mismas, y se vierten en el tambor de limpieza sin previa manipulación y sin suministrar agua al proceso, se pone en movimiento el sistema y cada 20 minutos se detiene el movimiento del tambor.

Durante esas paradas se extraen todos los rizomas del mismo y cuidadosamente se recogen las impurezas retenidas en sus paredes, así como aquellas que se encuentren diseminadas por el suelo vinculadas al proceso, se

vuelve a cargar el tambor con los mismos rizomas anteriormente extraídos y se repite el proceso.

Las muestras se trasladan debidamente tapadas al laboratorio y se pesan.

Para ello, en el laboratorio las muestras se colocan en un vidrio reloj previamente lavado con detergente, enjuagado en agua corriente y colocado en un escurridor de cristalería en posición invertida protegiéndolo del polvo, hasta que esté totalmente seco, y se tara para no considerar su peso en el resultado de las mediciones.

Esta operación se realiza tres veces y los resultados se promedian.

Para determinar la calidad de la limpieza en función del contenido de materias extrañas presentes en las corridas como función del tiempo de trabajo del tambor, se utiliza la ecuación 2.1, según la cual:

$$C_{ME} = \frac{m_{ME}}{m_r} * 100 \qquad (2.1)$$

donde:

C_{ME} = Materia extraña, %;

m_{ME} = masa de materia extraña, kg;

m_r = masa de los rizomas, kg;

2.3.2. Metodología para determinar la productividad del tambor de limpieza.

Para ello, se determina el tiempo que demora el tambor limpiador en liberar de materias extrañas una misma masa de rizomas en diferentes momentos de tiempo, y se utiliza la ecuación 2.2 según la cual:

$$P_L = \frac{m_L}{T_L} \qquad (2.2)$$

donde:

P_L = Productividad de la limpieza, kg/h;

m_L = Masa procesada, kg;

T_L=Tiempo de limpieza, h.

2.3.3. Metodología para determinar la productividad del molido.

Como regla, para moler o triturar los rizomas hasta convertirlos en una masa homogénea se utilizan molinos de martillos cuya productividad se determina con ayuda de la ecuación 2.3, como:

$$P_m = \frac{m_m}{T_m} \quad (2.3)$$

donde:

P_m = Productividad de molido, kg/h;

m_m = Masa, kg;

T_m = Tiempo de molido, h.

Para ello, se determina el tiempo que demora el molino en triturar y convertir en una masa homogénea la misma carga de rizomas en diferentes momentos de tiempo, los resultados se recogen en tablas y posteriormente se procesan.

2.3.4. Metodología para determinar la velocidad angular de la fuente motriz:

La comprobación de la velocidad angular de los sistemas investigados se realiza empleando el tacómetro digital Hioki 3404, el cual permite medir velocidad angular con precisión y entregar una salida para graficar por ejemplo la partida de los motores.

Para ello, el dispositivo se coloca en el eje del elemento de máquina al cual se le quiere determinar su velocidad angular de rotación como se muestra en la figura 2.1 y la lectura se registra de manera digital en la pantalla del equipo.

Figura 2.1 Medición de la velocidad angular.

2.3.5. Metodología para determinar la demanda energética de la fuente motriz.

Las mediciones de la potencia demandada se realizan en los motores de los sistemas de limpieza y molido-mezcla, empleando para ello un analizador de red modelo MI 2492 PowerQ. Figura 2.2.

Figura 2.2 Medidor de red modelo MI 2492 PowerQ.

Con este instrumento se obtienen las respectivas curvas de voltaje, intensidad y potencia de cada equipo respecto al tiempo, mientras que la potencia se determina como función del consumo y el voltaje de trabajo según la ecuación 2.4.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\theta \qquad (2.4)$$

donde:

P: Potencia absorbida por el sistema, W;

I: intensidad de la corriente, A;

V: voltaje, volt;

$\cos\theta = F_p$: factor de potencia.

La energía consumida por el sistema se determina según la ecuación 2.5 como:

$$E = P * T_r \qquad (2.5)$$

donde:

E: Energía consumida por el sistema, kWh;

P: Potencia absorbida por el sistema, kW;

T_r: Tiempo de trabajo, h.

2.4. Metodología para elaborar los planos del sistema de máquinas utilizado en la Finca Integral “El Mingo” para obtener almidón a partir de los rizomas de Sagú.

Para realizar el montaje en planos de los principales mecanismos del sistema, se emplean las facilidades del software SolidWorks 2016.

Para el cálculo de transmisiones, elementos constructivos y caracterizar la fuente motriz, se utilizan las metodologías que aparecen en el libro de texto

Elementos de Máquinas (RESHETOV, 1987) y Diseño de Elementos de Máquinas (MOTT, 2010).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados del estudio para investigar las características constructivas y tecnológicas del sistema de máquinas utilizado para la obtención de almidón de Sagú en la Finca Integral "El Mingo".

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.2, el análisis realizado al proceso tecnológico que se aplica en la Finca Integral "El Mingo" para obtener almidón de Sagú, permitió conocer que el mismo responde a los estándares internacionales que se siguen en aquellos países donde el cultivo y la producción del mismo ocupa lugares importantes en su economía como ocurre en: Venezuela; Puerto Rico; Costa Rica; Colombia, y San Vicente y Las Granadinas.

En éste sentido, el proceso tecnológico incluye operaciones de: limpieza; molinado; extracción; asentamiento; decantado y secado, tal y como se realiza en otras partes del mundo y se muestra en la figura 3.1.

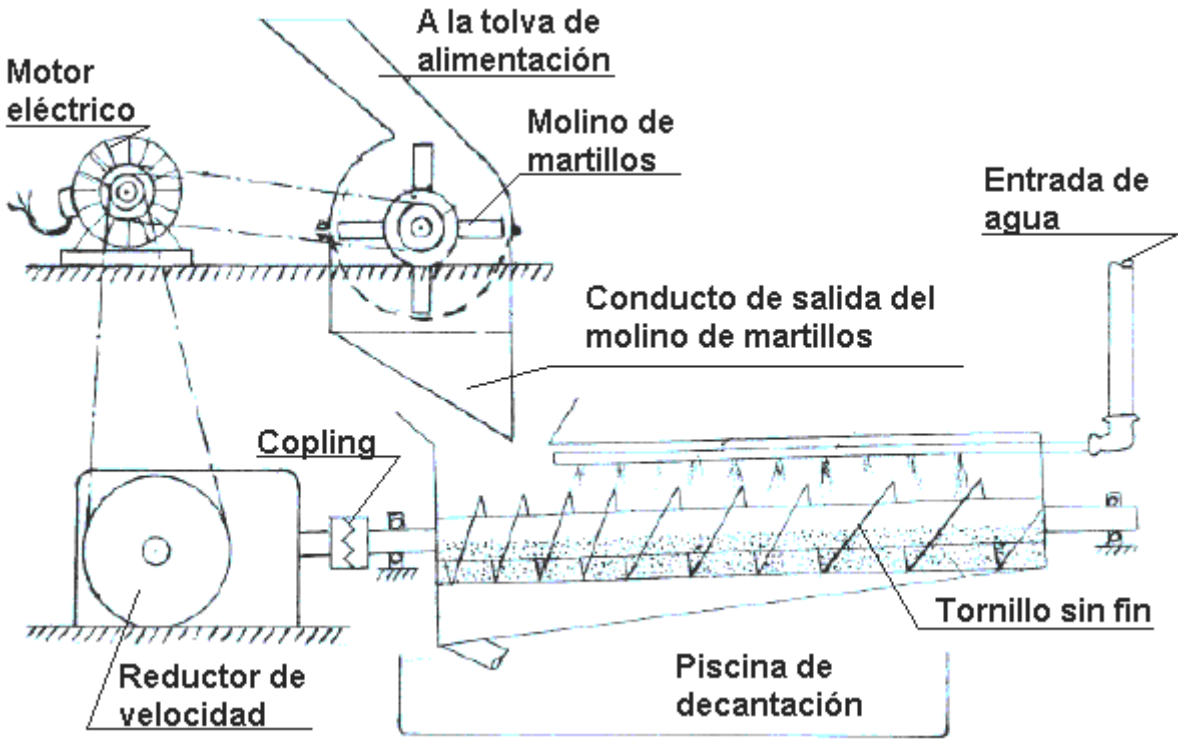


Figura 3.1. Proceso tecnológico para la obtención del almidón de Sagú.

De acuerdo con la figura, el proceso tecnológico se inicia con el molinado de los rizomas en un molino de martillos que toma movimiento desde el motor eléctrico de la instalación, una vez que se han limpiado de suciedades y

liberado de sus membranas exteriores los rizomas en un proceso previo independiente del molinado.

El jugo y la masa triturada, mediante el conducto de salida del molino de martillo, se vierten a un transportador helicoidal o tornillo sin fin, que se pone en movimiento desde un reductor de velocidad acoplado al mismo mediante un copling de seguridad, lo que hace que el mismo se mueva rotando sobre su eje.

En la medida en que esto ocurre, la masa molinada mezclada con agua se comprime contra el medio de filtrado (tamiz), que se encuentra en el fondo del transportador helicoidal, asegurándose así el proceso de colado.

Desde la canal de salida del producto ubicada debajo de la guardera del tornillo sin fin, la parte líquida de la mezcla pasa a la laguna o piscina de decantación donde se sedimenta y decanta.

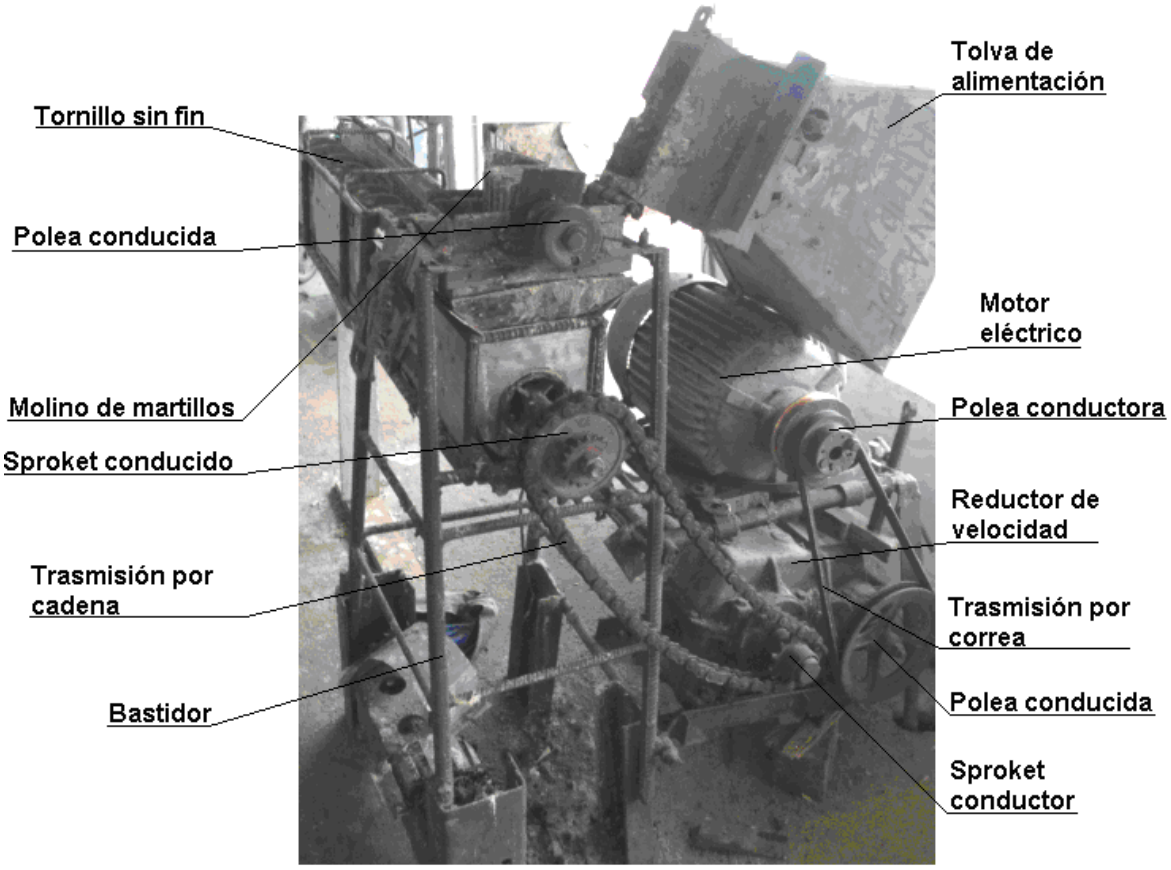
Una vez que ha sido decantada, la masa de almidón aun húmeda se recoge y se envía a lagunas de secado al sol para posteriormente ser envasada.

Sin embargo, en ocasiones vuelve a ser molinada para obtener una granulometría específica del almidón en dependencia de su destinación y uso posterior.

Para el caso específico del sistema de máquinas utilizado en la Finca Integral “El Mingo”, en la figura 3.2 se representan detalles reales de las partes que lo componen.

De acuerdo a la figura las mismas son:

- Tolva de alimentación;
- motor eléctrico;
- reductor de velocidad;
- polea conductora fija al eje del motor eléctrico;
- polea conducida fija el eje de entrada del reductor;
- sproket conductor fijo al eje de salida del reductor;
- bastidor;
- sproket conducido fijo al eje del transportador helicoidal o tornillo sin fin;
- molino de martillos;
- tornillo sin fin.



Fuente: Fotos del autor

Figura 3.2. Detalles del sistema de máquinas utilizado en la Finca Integral “El Mingo” para la obtención de almidón de Sagú.

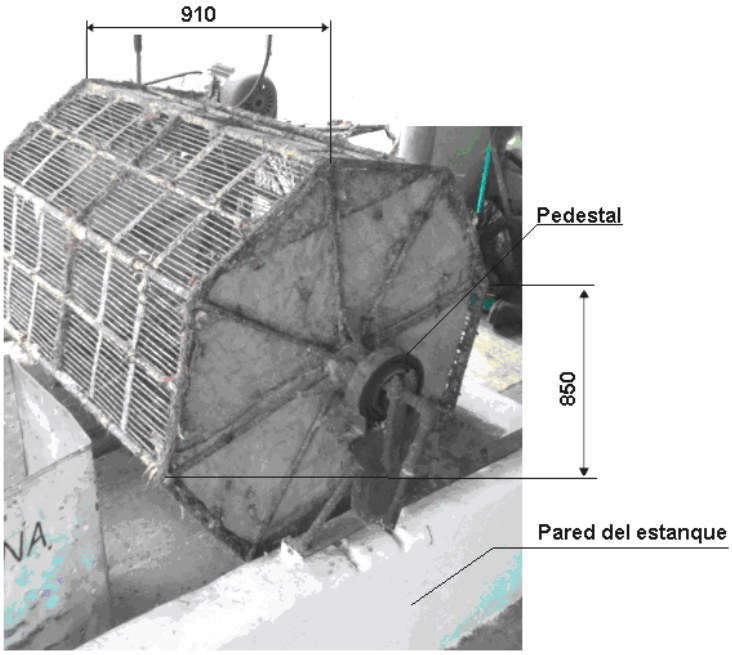
En éste caso, desde el motor eléctrico se accionan el eje del molino de martillos y el eje motriz del reductor de velocidad, en ambos casos mediante trasmisiones por correas, mientras que el eje del tornillo sin fin es accionado desde el engranaje secundario del reductor de velocidad a través de una trasmisión por cadena.

El proceso tecnológico es idéntico al utilizado en otras partes del mundo como se explicó anteriormente y por ello no se describe.

Los detalles constructivos de las máquinas fundamentales que componen el sistema utilizado en la Finca Integral “El Mingo”, se muestran y explican a continuación:

- **Tambor de limpieza.**

Para realizar la limpieza se utiliza el tambor de lavado que se representa en la figura 3.3.



Fuente: Fotos del autor

Figura 3.3. Tambor de lavado de rizomas según tecnología utilizada en la Finca Integral “El Mingo”.

En la figura se observa, que se trata de una construcción rústica elaborada de madera, cabillas y alambrón hasta conformar una estructura hexagonal, donde se introducen los rizomas de Sagú para ser lavados y liberados de su membrana exterior.

El tambor es una construcción independiente de la máquina trituradora, que se monta sobre pedestales de manera tal, que una parte del mismo se encuentre por debajo del nivel de las paredes que sirven de armazón al depósito o estanque de agua ubicado en la parte inferior del mismo, de manera tal, que durante su funcionamiento constantemente los rizomas vayan siendo lavados en la medida en que se frotan contra las paredes del hexágono, asegurándose así el lavado y la liberación de la membrana exterior de los mismos.

El tambor se pone en movimiento rotativo horizontal a través de un motor eléctrico que mediante un reductor de velocidad lo acciona.

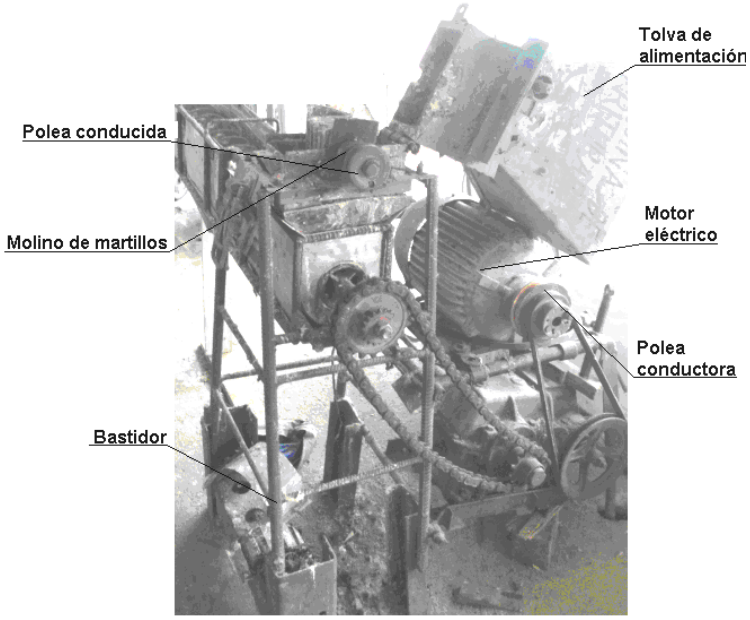
La calidad del proceso de limpieza se controla de manera visual sin detener el movimiento del tambor y por tanto, cuando a simple vista se considera que ya los rizomas están lo suficientemente limpios, se detiene el giro del mismo y se extraen los rizomas a través de una puerta elaborada al efecto en una de las paredes del hexágono.

Otra variante utilizada de manera ocasional, es la de alimentar de agua al tambor de manera permanente mientras se realiza el lavado y limpieza de los rizomas, pero éste método es menos económico y definitivamente no influye sobre la calidad del proceso.

- **Molinado.**

Como se observa en la figura 3.4, el proceso se realiza con ayuda de un molino de martillos artesanalmente elaborado que se encarga de triturar los rizomas a tamaños de alrededor de 0,015m.

El jugo y la masa triturada pasan al transportador helicoidal mediante el conducto de salida del molino, quien las comprime contra un tamiz que se encuentra en el fondo del mismo asegurando el colado, pues la masa y el jugo se mezclan con agua que se suministra permanentemente a presión durante el proceso.



Fuente: Fotos del autor

Figura 3.4. Molino de martillo utilizado en la Finca Integral “El Mingo” para triturar los rizomas de Sagú.

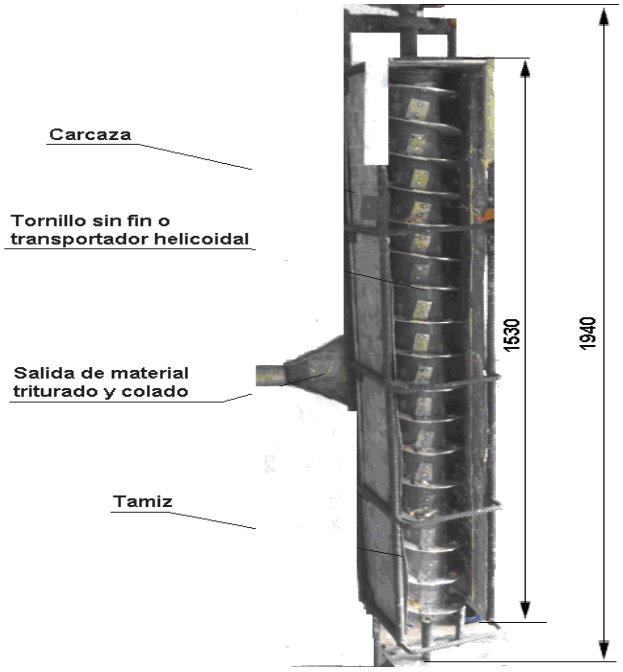
Las partes componentes de ésta máquina de molinado son: Tolva de alimentación, motor eléctrico con su polea conductora, el bastidor o chasis, el molino de martillos y la polea conducida.

De la figura se infiere que el molino toma movimiento directamente desde el motor eléctrico a través de una trasmisión por correa, (no visible en la figura por haber sido desmontada), donde se trituran los rizomas hasta dimensiones de 0,015m aproximadamente como se explicó anteriormente.

- **Transportador helicoidal o tornillo sin fin.**

Los detalles constructivos del mismo pueden ser observados en la figura 3.5. Según ésta, el trasportador helicoidal es un tornillo de Arquímedes común y corriente originalmente utilizado en una máquina distribuidora de fertilizantes, adaptada para comprimir y colar el material triturado previamente por el molino de martillos y entregar la masa procesada a la piscina de decantación.

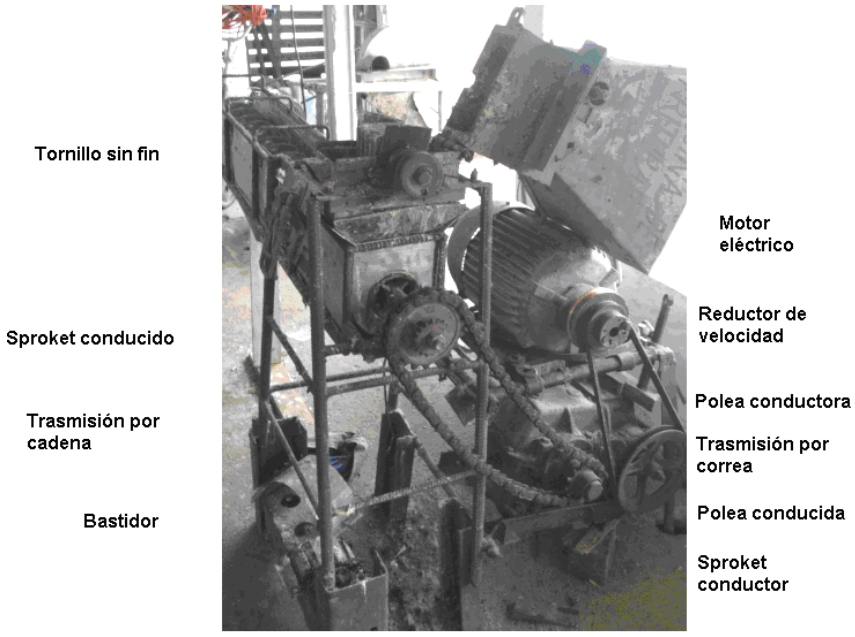
El mismo cuenta con una carcasa, un embudo que sirve de conducto de salida del material procesado y un tamiz que se coloca encima de la carcasa en contacto con el tornillo sin fin, por lo que comprime el material y lo cuela.



Fuente: Fotos del autor

Figura 3.5. Transportador helicoidal o tornillo sin fin utilizado en la Finca Integral “El Mingo” para colar la mezcla agua-almidón.

En la figura 3.6 se observan detalles del sistema de transmisión utilizado para poner en movimiento el mismo.



Fuente: Fotos del autor

Figura 3.6. Sistema de transmisión utilizado para poner en movimiento al transportador helicoidal o tornillo sin fin utilizado en la Finca Integral “El Mingo” para colar la mezcla agua-almidón.

Como se explicó anteriormente, la mezcla de agua-almidón se cuela a través de un tamiz que se encuentra ubicado en el fondo de la carcasa del tornillo sin fin, por lo que se encuentra en contacto permanente con el mismo. Los detalles del mismo se pueden observar en la figura 3.7.

Fuente: Fotos del autor

Figura 3.7. Tamiz utilizado para colar la mezcla agua-almidón en la Finca Integral “El Mingo”.

De la figura se observa que el mismo se elabora de acero inoxidable perforado a razón de 121 orificios Ø 0.7mm por cm^2.

El almidón que es extraído de la masa triturada se obtiene diluido en agua, por lo que se somete a un proceso de decantación durante un tiempo de 2,5 a 3 h, posterior al cual se extrae el agua del depósito, quedando en el fondo el almidón.

Los residuos sólidos se vierten por el conducto de salida al exterior, y son posteriormente recogidos para el riego de plantas, lombricultura y la alimentación animal.

El secado final se realiza mediante la exposición al Sol por un periodo de tres días. Concluido éste se pasa nuevamente por el molino de trituración para proporcionar el tamaño de partícula o granulometría requerida para el consumo humano (0,0025 m).

A modo de resumen, se puede asegurar que la totalidad de las máquinas que se han desarrollado en Cuba para estos fines, se han construido de manera empírica utilizando órganos de trabajo, mecanismos, partes y piezas disponibles de máquinas que un momento determinado se construyeron para otros fines.

Por tanto, es imposible generalizar el uso de ésta tecnología a otros productores si para ello no se dispone al menos de los planos correspondientes a cada una de las partes fundamentales de ésta tecnología.

3.2. Resultados del estudio para evaluar la calidad del trabajo en la tecnología mecanizada objeto de estudio.

Como se explicó en la metodología 2.3, los aspectos analizados para evaluar la calidad del trabajo de la tecnología utilizada en la Finca Integral “El Mingo” para obtener almidón de Sagú fueron:

- Calidad de la limpieza en función del contenido de materias extrañas separadas y tiempo de permanencia de los rizomas en el tambor de limpieza;
- productividad del tambor de limpieza;
- productividad del molido;
- velocidad angular de la fuente motriz;
- demanda energética.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

3.2.1. Resultados del estudio para evaluar la calidad de la limpieza en función del contenido de materias extrañas y tiempo de permanencia de los rizomas en el tambor de limpieza.

Siguiendo el procedimiento explicado en la metodología 2.3.1, los resultados del pesaje efectuado al contenido de materias extrañas por corridas se presentan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Resultados del pesaje para evaluar la calidad de la limpieza de los rizomas.

Corrida	Masa; kg	Tiempo de limpieza			
		20 min.	40 min.	60 min.	80 min.
1	50	0,05	0,02	0,01	0,002
2	50	0,04	0.016	0,01	0,001
3	50	0,04	0,012	0,01	0,91
Promedio		0,04	0,016	0,01	0,001

De la misma se observa una marcada tendencia a la reducción de la cantidad de materias extrañas recolectadas en la medida en que transcurre el proceso. De manera gráfica estos resultados se pueden analizar en la figura 3.8.

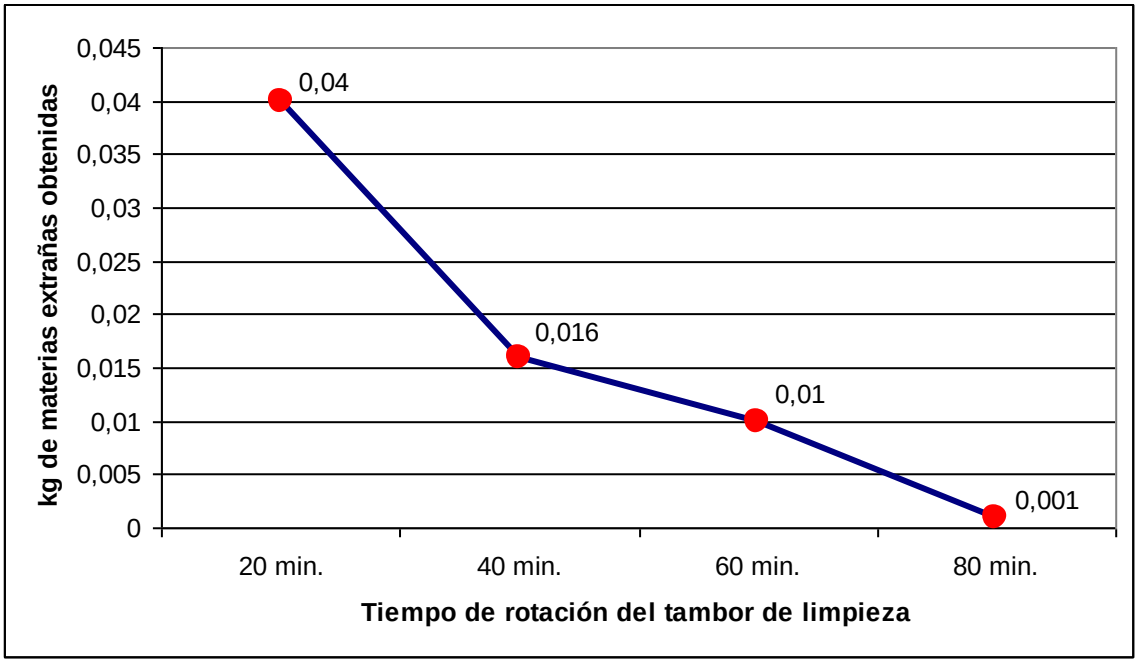


Figura 3.8. Resultados de la cantidad de materias extrañas recolectadas, en dependencia del tiempo de funcionamiento del tambor de limpieza.

De donde se deduce que a los 20 minutos de haber sido cargado el tambor limpiador y haberse puesto en movimiento, la cantidad de materias extrañas

recolectadas fue de 0,04kg promedio, a los 40 minutos se recolectaron 0,016kg, a los 60 minutos 0,01kg y finalmente, a los 80 minutos la cantidad de materias extrañas recolectadas fue de solo 0,001kg, resultados lógicos si se tiene en cuenta que en la medida en que transcurre el proceso son cada vez menos las materias extrañas presentes en la masa de rizomas que se tratan.

De igual forma, en la medida en que se reduce la cantidad de materias extrañas presentes en la carga de rizomas, se incrementa la calidad del proceso de limpieza.

Estos resultados se pueden apreciar en la figura 3.9.

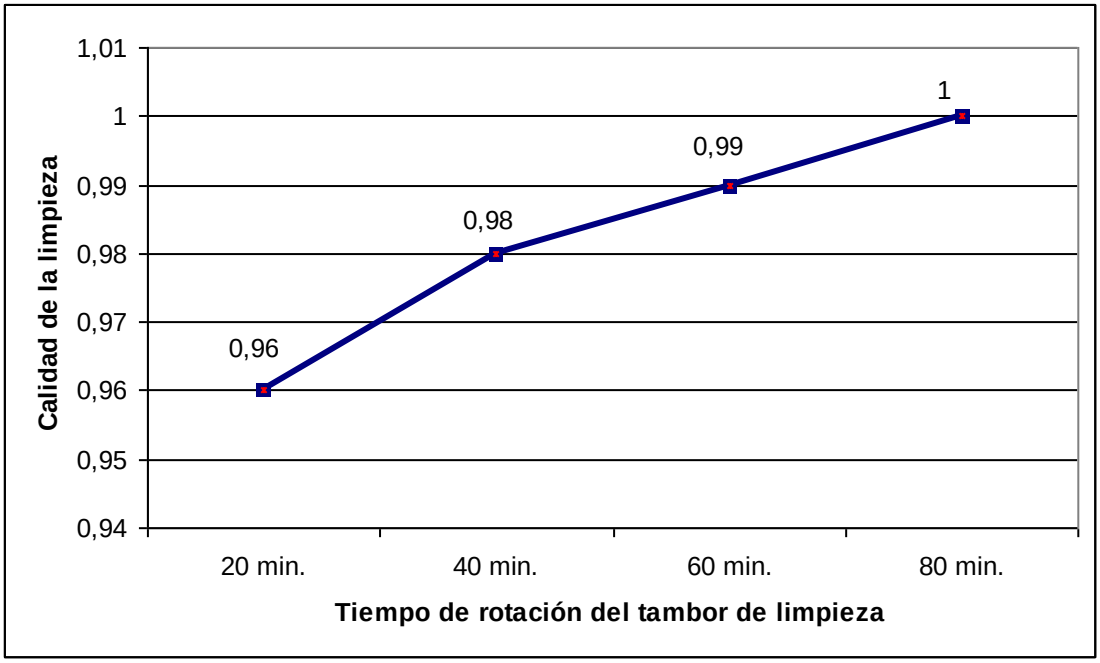


Figura 3.9. Comportamiento de la calidad de la limpieza en función del tiempo de trabajo del tambor limpiador.

De donde se infiere que en la medida en que aumenta el tiempo de permanencia de los rizomas en el tambor de limpieza, se incrementa la calidad de la misma hasta alcanzar un valor próximo a la unidad, considerado para el estudio como parámetro óptimo.

3.2.2. Resultados del estudio para determinar la productividad del tambor de limpieza.

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.3.2, la productividad del tambor de limpieza se determinó de la siguiente manera.

Durante cinco días, se controló el tiempo que tarda el tambor limpiador en liberar de materias extrañas 50kg de rizomas y dejarlos listos para el proceso de molinado.

Los resultados obtenidos aparecen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Tiempo que tarda el tambor limpiador en limpiar 50kg de rizomas.

Día	Masa a limpiar; kg	Tiempo de demora; min.
1	50	80
	50	75
	50	86
	50	79
2	50	82
	50	70
	50	78
3	50	82
	50	67
4	50	76
	50	82
5	50	78
Promedio		77,9 min.

De la tabla se infiera que en el primer día se cargó el tambor limpiador cuatro veces con una carga de 50kg como en el resto de los casos para efectuar las mediciones correspondientes, el segundo día el experimento de realizó en tres cargas, dos en el tercer día y cuarto días y en una sola ocasión el quinto día.

Como promedio, el tiempo invertido por el tambor limpiador para dejar libre de suciedades o materias extrañas a los rizomas y de ésta manera permitir su molinado fue de 77,9 min.

De manera gráfica éste resultado puede ser analizado en la figura 3.10.

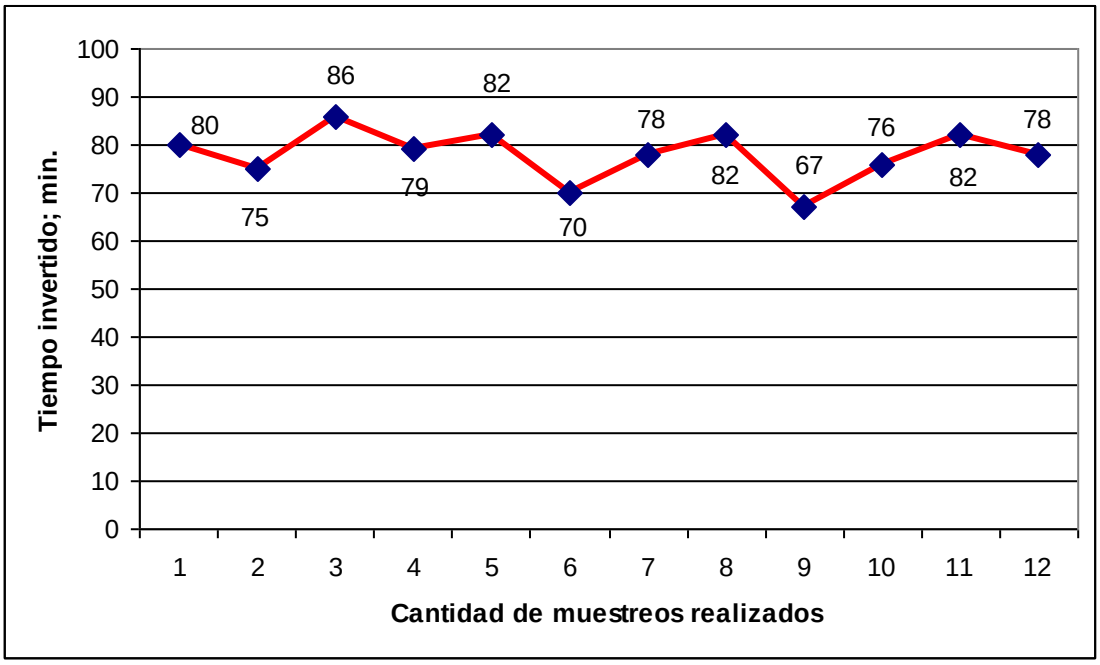


Figura 3.10. Comportamiento del tiempo invertido por el tambor limpiador para dejar libre de suciedades o materias extrañas 50kg de rizomas por carga.

De la misma se deduce, que el tiempo invertido por el tambor en limpiar igual masa de rizomas no es el mismo en cada caso y sus valores oscilan entre 70 y 86 min.

A juicios del investigador, ello se debe a que el patrón de calidad de la limpieza es la intuición y vista del propietario de la instalación, por lo que puede ser muy relativo el resultado final.

Considerando además que el tiempo de limpieza osciló entre 1h 10´y 1h 26´, para el cálculo de la productividad del tambor limpiador según ecuación (2.2) se consideró en todos los casos el mismo igual a uno.

Por tanto, la productividad del tambor limpiador en todos los casos fue de:

$$P_L = \frac{m_L}{T_L} = \frac{50kg}{1h} = 50\frac{kg}{h}$$

Es decir, 50 kg/h fue la productividad del tambor limpiador.

3.2.3. Resultados del estudio para determinar la productividad del molido.

Como se explicó en la metodología 2.3.3, para determinar la productividad del molido se aprovechan las cargas analizadas y estudiadas para determinar la productividad del tambor de limpieza, ya que una vez limpias las mismas fueron molidas hasta ser convertidas en una masa homogénea de donde posteriormente se extrae el almidón.

Los resultados de las tomas de tiempo a ésta operación aparecen en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Resultados del tiempo invertido por el molino en triturar cargas de 50kg de rizomas.

Día	Masa a limpiar; kg	Tiempo invertido; min.
1	50	70
	50	65
	50	66
	50	69
2	50	62
	50	60
	50	68
3	50	62
	50	67
4	50	66
	50	62
5	50	68
Promedio		65,4h

De donde se observa que existe cierta armonía en los valores del tiempo invertido para molinar cargas iguales, sin embargo, es de destacar que no se han realizado estudios para conocer cómo influyen factores tales como la humedad de la materia prima sobre éste indicador, y ello puede resultar importante.

De manera gráfica, los resultados obtenidos al cronometrar el tiempo invertido en molinar cargas iguales de rizomas pueden ser consultados en la figura 3.11.

De la misma se deduce que el tiempo promedio invertido en molinar 50kg de rizomas es de 1h 4´, mientras que los valores de las mediciones practicadas oscilan entre 70 y 68 minutos, es decir, que en la totalidad de los casos se puede considerar 1h como tiempo de molinado de 50kg de rizomas.

De éste modo, la productividad del molinado, determinada por la ecuación (2.3), metodología 2.3.4 resultó ser:

$$P_m = \frac{m_m}{T_m} = \frac{50kg}{1h} = 50kg/h$$

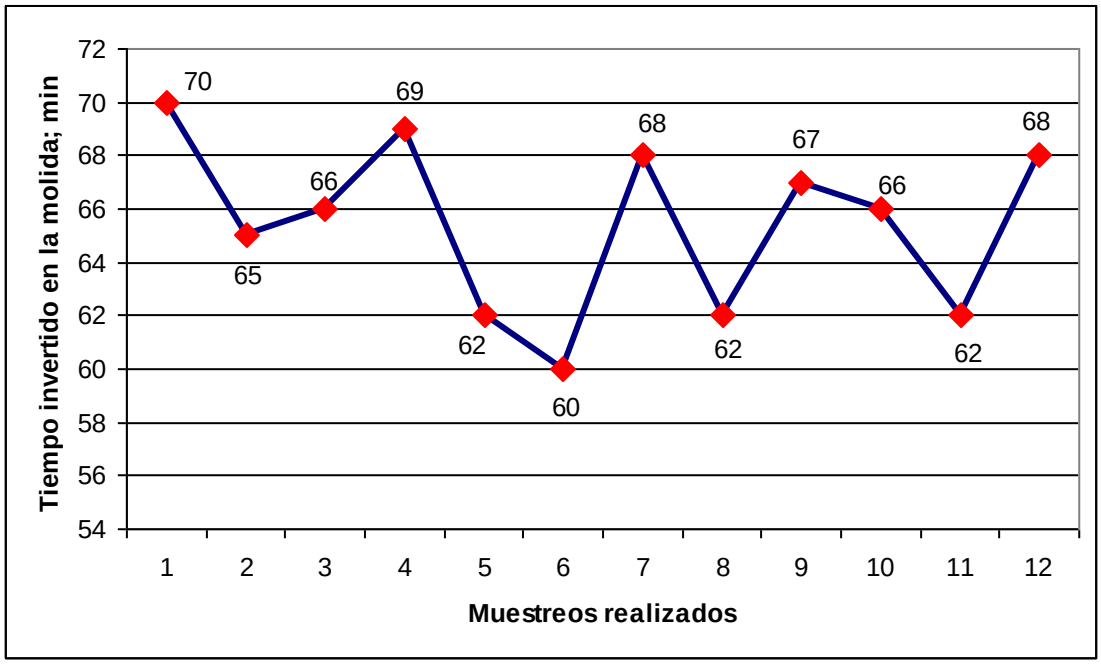


Figura 3.11. Comportamiento del tiempo invertido por molino de martillos para molinar 50kg de rizomas por carga.

3.2.4. Resultados del estudio para determinar la velocidad angular de la fuente motriz.

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.3.4, el tacómetro digital Hioki 3404 se colocó en los ejes de salida de los motores encargados de accionar el molino de martillos y el tambor de limpieza, por tratarse de motores muy viejos carentes de chapillas.

Como resultado, se pudo determinar que en ambos casos se trata de motores eléctricos que giran a una velocidad de 1750 rpm.

Dicha velocidad es una velocidad recomendada para accionar molinos de martillos según bibliografía consultada, pero es demasiado elevada para accionar el distribuidor helicoidal o tornillo sin fin de la instalación, donde lo que se necesita es fuerza y no velocidad.

De éste modo se asegura transportar la masa de material procesado por la canal por donde se mueve el tornillo sin fin, y además, se asegura el tiempo necesario para que de esa masa se separe tamizada la mezcla agua-almidón.

3.2.5. Resultados del estudio para determinar la demanda energética de la fuente motriz.

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.3.5, la potencia absorbida (P), determinada por la ecuación (2.4) alcanzó un valor de:

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\theta = 1.73 * 220 * 8 * 0.89 = 2709W$$

$$P = 2709W$$

Pues en la ecuación:

$$\sqrt{3} = 1.73$$

V= 220V

I=8A

Cosθ= 0.89

La energía consumida por el sistema se determinó según la ecuación 2.5, metodología 2.3.5 como:

$$E = P * T_r$$

donde:

E: Energía consumida por el sistema, kWh;

P: Potencia absorbida por el sistema, kW;

T_r: Tiempo de trabajo, h.

$$E = 2709W * 8h = 21672W / h$$

$$E = 21672W / h$$

Igual que ocurre en el caso anterior, al parecer es elevado el consumo de energía eléctrica en el sistema de acuerdo al trabajo que realizan sus máquinas.

3.3. Resultados del trabajo para elaborar los planos del sistema de máquinas utilizado en la Finca Integral "El Mingo", destinado a la obtención de almidón a partir de los rizomas de Sagú.

Como se ha dicho en reiteradas ocasiones, aun cuando la tecnología utilizada para obtener almidón de Sagú en la Finca Integral "El Mingo" sea producto del trabajo empírico de su propietario, sin que para la confección de su sistema de máquinas hayan mediado investigaciones científicas o cálculos que corroboren la justeza o no de sus decisiones constructivas, a saber, se trata de la tecnología más completa de la que se tenga referencias al respecto, de ahí la decisión de elaborar los planos de ese sistema de máquinas inexistentes aun, con vistas a asegurar la divulgación de la misma entre los pequeños productores dedicados al cultivo de ésta planta y dejar las puertas abiertas a mejora o debates al respecto.

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.4, para confeccionar los planos de los principales mecanismos del sistema se emplean las facilidades del software Solid Works 2016, y para realizar el cálculo de las trasmisiones los textos Elementos de Máquinas (RESHETOV, 1987), Diseño de Elementos de Máquinas (MOTT, 2010) y Proyectos de Elementos de Máquinas.

Los resultados son los siguientes:

3.3.1. Cálculo de la relación de trasmisión del tambor limpiador.

En correspondencia con la tecnología utilizada en la Finca Integral “El Mingo”, el esquema cinemático de movimiento del tambor de limpieza de los rizomas de Sagú se representa en la figura 3.12.

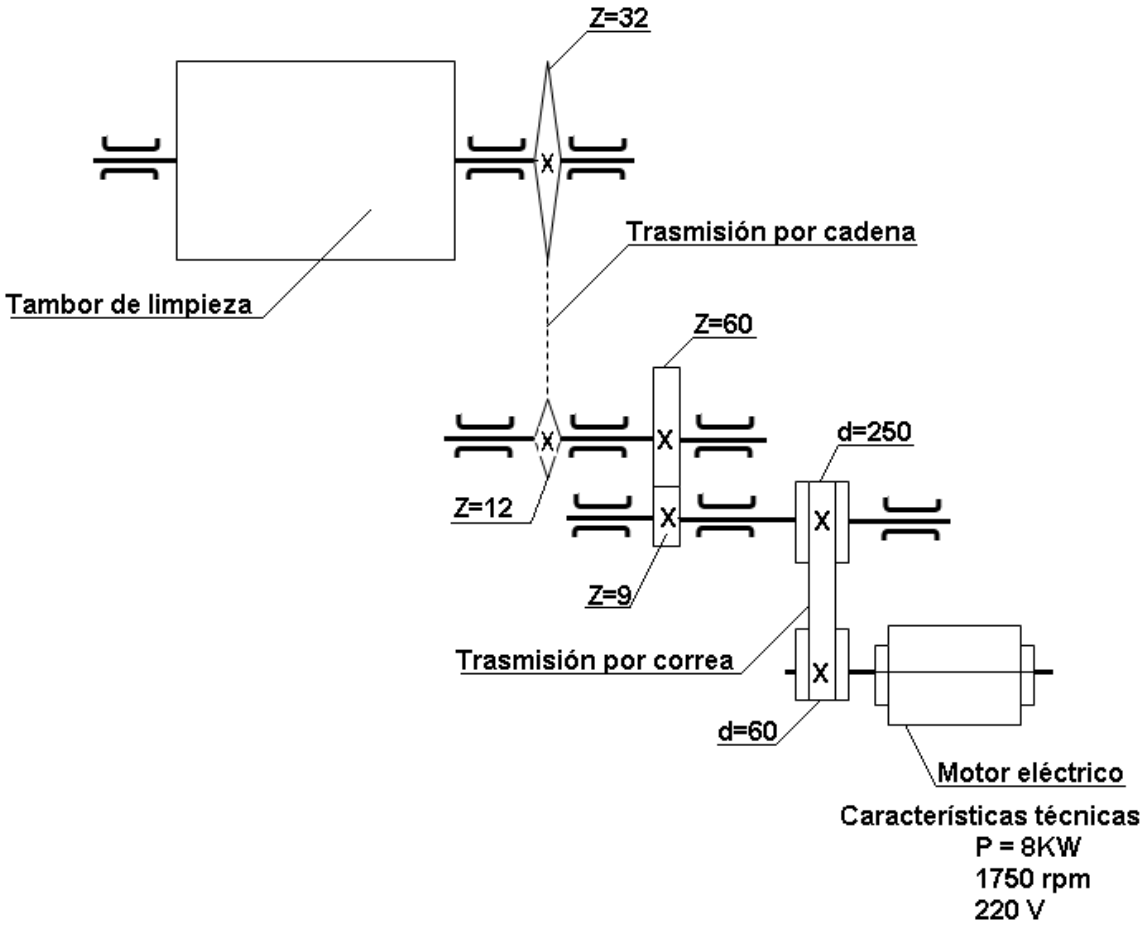


Figura 3.12. Esquema cinemático de movimiento del tambor de limpieza.

De la figura se infiere que desde la polea del motor eléctrico de Ø 60mm, cuyas características técnicas son: Potencia 8kW, rpm 1750 y 220V de tensión, el movimiento se trasmite hasta una polea mayor de Ø 250mm, sobre cuyo eje se

monta además una rueda dentada con número de dientes z=9, de donde el movimiento se trasmite a otra rueda dentada con número de dientes z=60.

Sobre el mismo eje que sirve de apoyo a esa rueda dentada se monta un sproket de cadena con un número de dientes de z=12, que trasmite el movimiento a otro sproket con z= 32 dientes, quien definitivamente pone en movimiento el tambor de limpieza.

En correspondencia con los datos de la tabla 3.4, se seleccionan los siguientes valores del coeficiente de trabajo útil.

- Para la trasmisión por correa; η_1=0.98
- Para la trasmisión dentada; η_2 = 0.98
- Para la trasmisión por cadena; η_3 = 0.96.
- El coeficiente de pérdidas por fricción en los apoyos de los ejes $\eta_0^3 = 0.99^3$

El coeficiente de trabajo útil del mecanismo en general será:

$$\eta = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_0^3 \qquad (3.1)$$

$$\eta = 0.98 * 0.98 * 0.96 * 0.99^3 = 0.89$$

$$\eta = 0.89$$

Por tanto, la potencia exigida del motor será:

$$P = \frac{F * v}{\eta} \qquad (3.2)$$

donde:

P- Potencia exigida del motor; W

F- Fuerza que demanda el tambor cargado de rizomas. (4.10^3 N). Tomada como referencia de construcciones similares aunque para otros fines, pues para el trabajo no se pudo determinar la misma.

v- velocidad angular de giro del tambor. (0.8 m/s). Tomada como referencia de construcciones similares destinadas a otros fines, pues para el trabajo no se determinó la misma.

Entonces:

$$P = \frac{F * v}{\eta} = \frac{4.10^3 * 0.8}{0.89} = 3{,}6.10^3 W$$

Las rpm del eje del tambor limpiador se calculan como:

$$\eta_t = \frac{60 * v}{\pi * D} \tag{3.3}$$

donde:

D- diámetro del tambor de limpieza; m

$$\eta_t = \frac{60 * v}{\pi * D} = \frac{60 * 0.8}{3.14 * 0{,}9} = 17 rpm$$

$$\eta_t = 17 rpm$$

En correspondencia con los datos que se brindan en la tabla P1 (anexos), de acuerdo a los resultados obtenidos, se pueden utilizar los motores de las siguientes marcas:

- 4A100S2Y3 con P=4kW; η_c=3000rpm y S=3,3%;
- 4A100L4Y3 con P=4kW; η_c=1500rpm y S=4,7%;
- 4A112MB6Y3 con P=4kW; η_c=1000rpm y S=5,1%;
- 4A132S8Y3 con P=4kW; η_c=250rpm y S=4,1%.

Sin embargo, el primer tipo de motor con η_c=3000rpm ocasionará problemas en el normal funcionamiento del sistema debido a la elevada relación de trasmisión.

El motor con η_c=750rpm posee dimensiones espaciales y masa muy grandes, por tanto la selección se dirige a los motores con η_c=1500rpm y 1000rpm.

Lo que indica que el motor utilizado en la instalación, con 1750 rpm y una potencia de 8kW está sobre dimensionado, pues con una potencia 4kW y 1500rpm la instalación trabajará de manera adecuada ahorrando la energía que hoy se malgasta.

3.3.2. Cálculo de la trasmisión del molino de martillos.

En correspondencia con la tecnología utilizada en la Finca Integral “El Mingo”, el esquema cinemático de movimiento del molino de martillos se representa en la figura 3.13.

De donde se deduce que se trata de una trasmisión mucho más simple que la utilizada para mover el tambor de limpieza.

En ella el movimiento del molino se asegura a través de una trasmisión por correas directamente desde la polea motriz del motor eléctrico que sirve como fuente de energía.

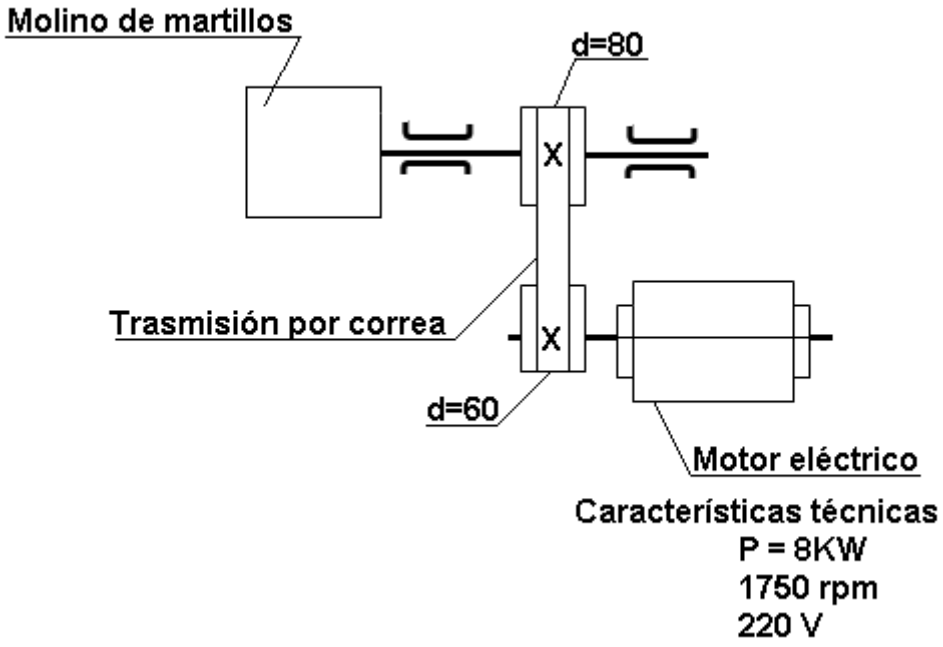


Figura 3.12. Esquema cinemático de movimiento del molino de martillos.

El coeficiente de trabajo útil del mecanismo en general será:

$$\eta = \eta_1 * \eta_0^3$$

$$\eta = 0.98 * 0.99^3 = 0.95$$

$$\eta = 0.95$$

Por tanto, la potencia exigida del motor será:

$$P = \frac{F * v}{\eta}$$

donde:

P- Potencia exigida del motor; W

F- Fuerza que demanda el tambor cargado de rizomas. (3.10^3 N). Tomada como referencia de construcciones similares aunque para otros fines, pues para el trabajo no se pudo determinar la misma.

v- velocidad angular de giro del tambor. (0.9 m/s). Tomada como referencia de construcciones similares destinadas a otros fines, pues para el trabajo no se determinó la misma.

Entonces:

$$P = \frac{F * v}{\eta} = \frac{3.10^3 * 0.9}{0.95} = 2{,}8.10^3 W$$

Las rpm del eje del tambor de martillos se calculan como:

$$\eta_t = \frac{60 * v}{\pi * D}$$

donde:

D- diámetro del tambor de martillos; m

$$\eta_t = \frac{60 * v}{\pi * D} = 1900 rpm$$

$$\eta_t = 1900 rpm$$

Aquí ocurre algo similar al caso anterior, se está utilizando un motor eléctrico de 8Kw de potencia cuando con uno de 3 kW se solucionaría el problema y las 1750rpm a las que gira son insuficientes para alcanzar las 1900 que según cálculos demanda el eje del molino.

En realidad, de acuerdo al esquema cinemático representado en la figura 3.12, las rpm que llegan al eje del molino son:

$$i = \frac{60}{80} = 0{,}75$$

Por tanto:

Rpm= 1750*0,75=1312rpm

Es decir, al eje del molino llegan solo 1312rmp contra 1900 que debían llegar.

A modo de resumen se puede concluir, que el motor está sobre dimensionado en potencia y que es necesario modificar la relación de trasmisión existente.

De éste modo, además del ahorro de energía, se ahorrará tiempo en el proceso de molinado.

3.3.3. Resultados del estudio para elaborar el plano de conjunto de la máquina de molinar.

Como se ha venido explicando, el estudio para elaborar los planos del sistema de máquinas se realizó directamente en la Finca Integral “El Mingo”, tomando con una cinta métrica las dimensiones de cada una de las máquinas fundamentales que componen la tecnología allí existente para obtener almidón a partir del Sagú.

Los detalles del plano de conjunto de la máquina aparecen en el anexo 1 del trabajo, de donde se observa que la longitud total de la misma incluyendo la

piscina de sedimentación del agua acompañada de almidón es de 3240mm, la máquina de molinar de conjunto con el trasportador helicoidal o tronillo sin fin posee una longitud de 1510mm y una altura de 1403mm tomada desde la base de la piscina que posee una altura de 520mm.

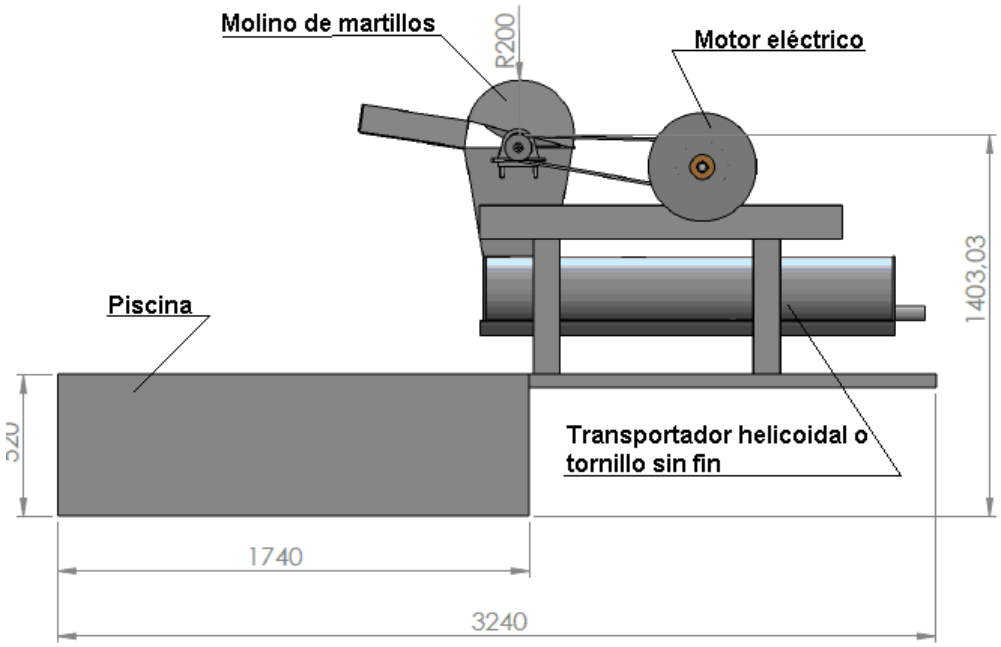


Figura 3.13. Partes componentes fundamentales de la máquina de molinar**.**

Sus partes componentes fundamentales, representadas en la figura 3.13 son:

- Piscina de sedimentación del almidón;
- molino de martillos;
- motor eléctrico;
- transportador helicoidal o tornillo sin fin.

Como se ha explicado, los rizomas de Sagú de vierten a través de la tolva del molino y caen en el sistema de martillos que se encargan de triturarlos hasta convertirlos en una masa homogénea que pasa al transportador helicoidal donde al ser mezclada con agua se filtra y cae a la piscina de sedimentación, donde al transcurrir un determinado período de tiempo el agua se separa del almidón, se decanta y pasa a las piscinas de secado.

3.3.4. Resultados del estudio para elaborar el plano de conjunto del molino de martillos.

En el anexo 2 del trabajo se puede apreciar la vista de ensamble del molino de martillos utilizado en la tecnología para obtener almidón de Sagú en la Finca Integral “El Mingo”.

Los detalles constructivos de las piezas que lo componen se muestran a continuación:

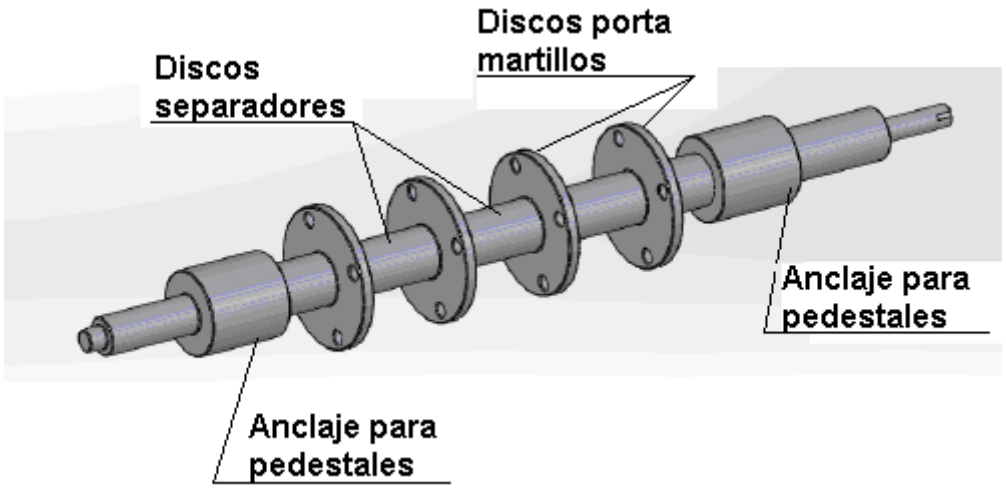


Figura 3.14. Eje principal del molino de martillos.

Como se muestra en la figura 3.14, se trata de una barra cilíndrica elaborada mecánicamente en sus puntas para permitir el anclaje de pedestales que le servirán de soportes y sustentación al bastidor de la máquina, sobre la que se montan además los discos encargados de soportar los martillos y los discos que sirven para separar una sección de martillos de otra.

Los detalles de los martillos se pueden observar en la figura 3.15, de donde se deduce que se trata de barras rectangulares de acero redondeada por una de sus puntas, mientras que en la otra se elabora un agujero permite unirlos a todos en forma de tándem por intermedio del eje secundario, figura 3.16.

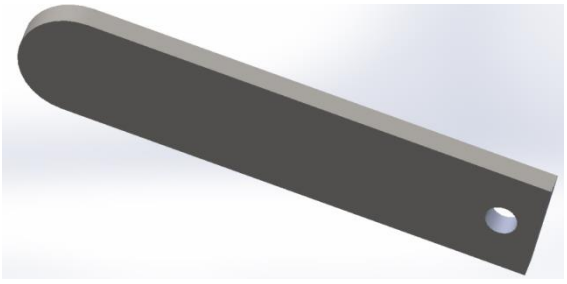


Figura 3.15. Martillo.

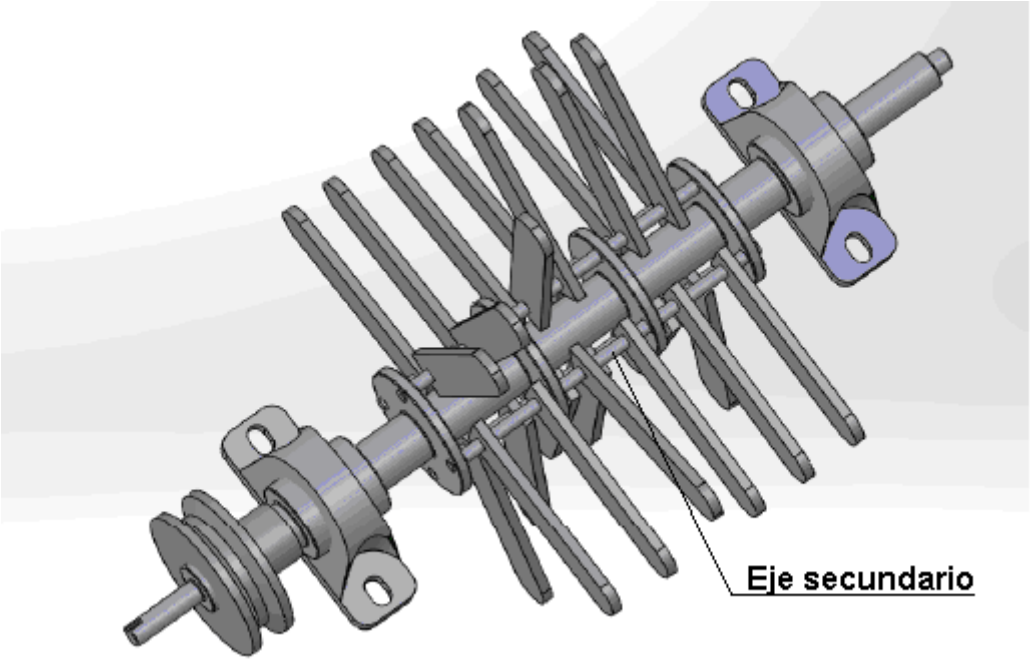


Figura 3.16. Sistema de molinado del molino de martillos.

Como se ha explicado, la mezcla agua almidón es arrastrada por un transportador helicoidal o tornillo sin fin que al presionarla misma contra un tamiz colocado en el fondo de su carcaza, hace que la misma se cuele y pase a la piscina de sedimentación.

En la figura 3.17 se muestran detalles del transportador helicoidal o tornillo sin fin.

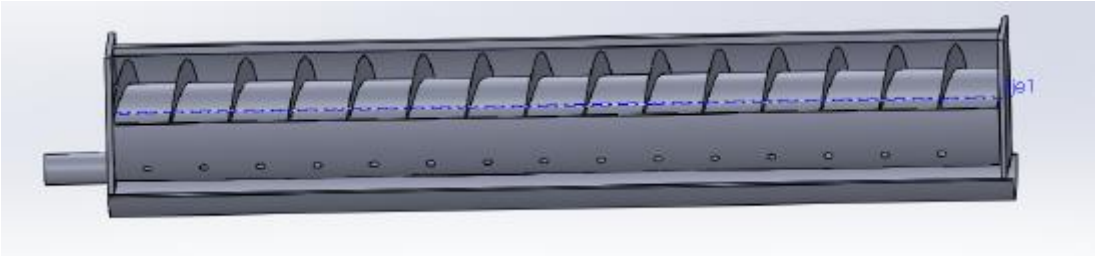


Figura 3.17. Transportador helicoidal o tornillo sin fin.

Como se observa, se trata de un tornillo de Arquímedes común y corriente montado sobre un cilindro que le sirve de eje y que al girar, hace que las espiras del tornillo se muevan en la misma dirección del movimiento arrastrando consigo el material que se le suministre.

Como se observa en la figura, el tornillo es recubierto por una carcasa en cuyo fondo se elaboran pequeños orificios por donde sale la mezcla agua almidón al pasar a través de un tamiz colocado encima de ésta, hasta llegar a la piscina o laguna de sedimentación de donde más tarde se recogerá el almidón aún

húmedo previo proceso de decantado, para ser secado y envasado o vuelto a molinar hasta obtener la granulometría correspondiente en función del destino final que se le quiera dar al mismo.

En la figura 3.18 se muestran detalles del bastidor de la máquina.

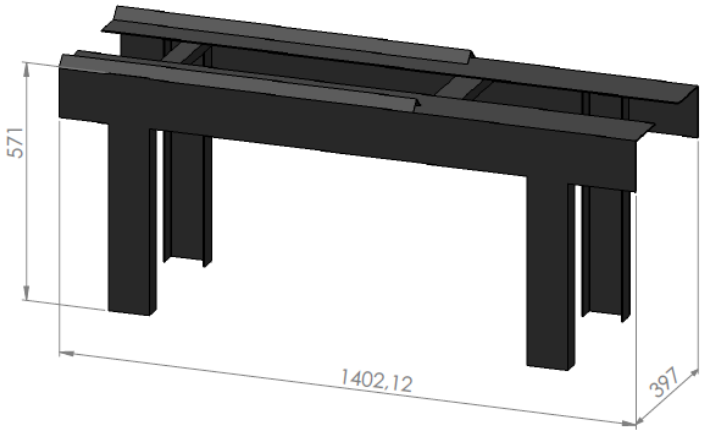


Figura 3.18. Detalles del bastidor de la máquina**.**

Como se observa, es una robusta construcción elaborada de vigas en U y angulares debidamente soldados, encargada de soportar los órganos de trabajo fundamentales del sistema incluyendo a la fuente energética, en este caso un motor eléctrico.

Como se sabe, independientemente del proceso de molinado y antes que éste se realice, es necesario limpiar de suciedades e impurezas a los rizomas de Sagú.

Para ello se utiliza un tambor de limpieza cuyos detalles aparecen en la figura 3.19. Anexo 3.

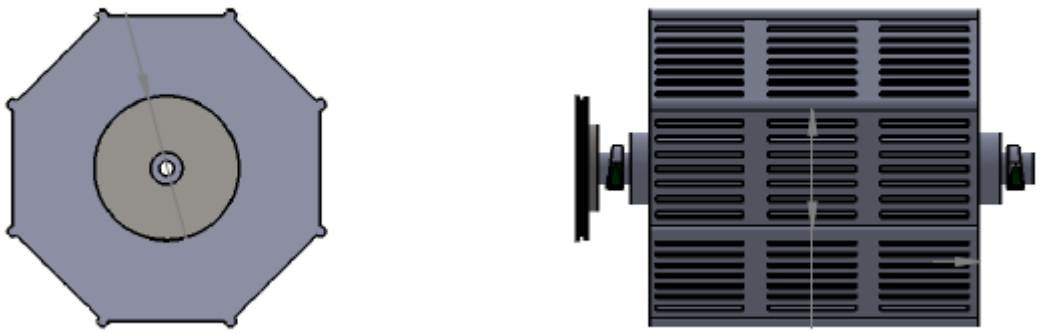


Figura 3.19. Detalles del tambor de limpieza.

De la misma se deduce que se trata de una construcción hexagonal construida de alambrones, cabillas y madera en la tecnología que se evalúa, cuya función es la de limpiar a los rizomas y liberarlos de suciedades e impurezas en la medida en que el tambor gira.

Finalmente, los detalles de la piscina de sedimentación donde se separan el agua y el almidón se representan en la figura 3.20.

De la misma se deduce que se trata de una construcción elaborada de ladrillos, cemento en forma rectangular, donde se sedimenta el almidón y se separa del agua para posteriormente y a través de un proceso de decantación ser llevado a las piscinas o lagunas de secado.

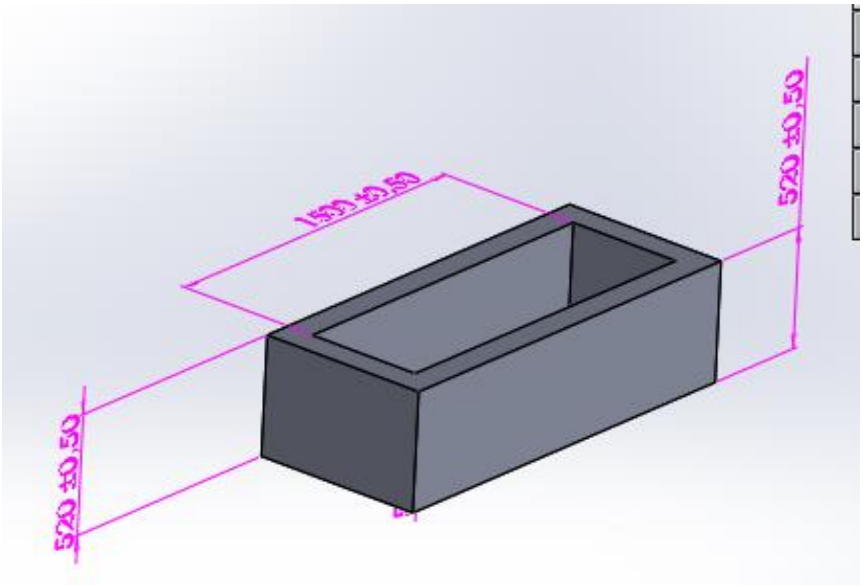


Figura 3.20. Detalles de la piscina de decantación.

CONCLUSIONES

El desarrollo del trabajo permitió arribar a las siguientes conclusiones:

1. La tecnología que se utiliza en la Finca Integral “El Mingo” para obtener almidón de Sagú es similar a la utilizada a nivel internacional, pero su sistema de máquinas ha sido construido de manera empírica sin que se hayan realizado estudios técnicos al respecto.
2. Recalcular el sistema de máquinas pues al parecer, de acuerdo a la potencia absorbida y energía consumidas por el sistema, parecen estar sobre dimensionadas algunas de ellas
3. Una vez calculadas las máquinas de acuerdo a sus exigencias, los planos elaborados en el trabajo servirán de referentes.

RECOMENDACIONES

1. Realizar nuevos estudios para esclarecer los factores que afectan la calidad de la limpieza de los rizomas.
2. Continuar estos estudios para conocer cómo influyen factores tales como la humedad de la materia prima, en el tiempo de molinado de la misma.
3. Continuar estos estudios para conocer la calidad del almidón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARCÓN, F.: *Almidón agrio de yuca en Colombia* vol., pp., 2002.

ARISTIZABAL, J.: "Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca": 2007

ARIZA, L., EMILIANO; A. L. CASTRO CELY; D. GÓMEZ CAÑON: "Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua", *Revista ION*, 26(1): 63-71, 2013.

BUITRAGO, G. V. A. P. L. A. P. C. Y. F. L. O.: "Determinacion de las características fisicas y propiedades mecanicas de papa cultivada en Colombia", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*: 2004.

CASTRO, F. 1961.

COULTATE, T. P.: *Manual de química y bioquimica de los alimentos*, vol., pp. Zaragoza, 2007.

CHARLEY, H.: *Tecnología de alimentos: procesos químicos y físicos en la preparación*

de alimentos, vol., pp. Noriega, 2001.

CHEFTEL, H.: *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*, vol., pp. Zaragoza, 1977.

FAO: "Desciende el hambre en el mundo Oficina regional para america Latina y el Caribe": 2013.

---: "Repercusiones de la introducción de la flora del Viejo Mundo en América, y causas de la marginación de los cultivos": 2014.

FENNEMA, O.: *Química de los alimentos*, vol., pp. España, 2010.

FERNÁNDEZ, A. Y. D. F.: *Forma de producción de sagú.* , vol., pp., 2013.

FERNÁNDEZ, L.: *Potencialidades del sagú como planta medicinal y alimenticia*, vol., pp., 1999.

HERNANDEZ-MEDINA, M.; J. G. TORRUCO-UCO; L. CHEL-GUERRERO; D. BETANCUR-ANCONA: "Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México", *Food Science and Technology (Campinas)*, 28(3): 718-726, 2008.

HOSENEY, R. C.: *Principios de ciencia y tecnología de Cereales*, vol., pp. Zaragoza, 1994.

IGLESIAS, C. E.: *Propiedades físico mecánicas de los productos agrícolas*, vol., pp. Chapingo, México, 1992.

KIRK, R.: *Composición y análisis de alimentos de*

Pearson CECSA vol., pp. 393, 2004.

LEON NORUEGA, P.: *Fitotecnia General*, vol., pp. La Habana, 2007.

LOPEZ, M.: *Raíces y tubérculos*, vol., pp. La Habana, 1995.

MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, A.: *Conferencias del Curso "Teoría y Diseño de Máquinas Agrícolas*, Tesis Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, 2008.

MILIÁN, M. H. C. Y. D. G.: *Conozca del sagú*, vol., pp. Santo Domingo, 2013.

MONTALDO, A.: *Cultivo de raíces y tubérculos tropicales*, vol., pp. San José, 1991.

MORA, P.: *Reflexiones y observaciones", El hombre en la primera época de su vida*, vol., pp. Madrid, 1827.

MOTT, R.: *Diseño de elementos de maquinas*, vol., pp., 2010.

PAHL, G. Y. W. B.: *Engineering Design. The Design Council*, vol., pp. London, 1984.

RESHETOV, D.: *Elementos de Maquinas*, vol., pp. 829, Ciudad de La Habana, 1987.

RODRÍGUEZ, A. A. R. Y. S. Q.: "Caracterización de germoplasma y mejoramiento participativo en especies de raíces y tubérculos alimenticios tropicales y en musáceas", *INIFAT*: 2011.

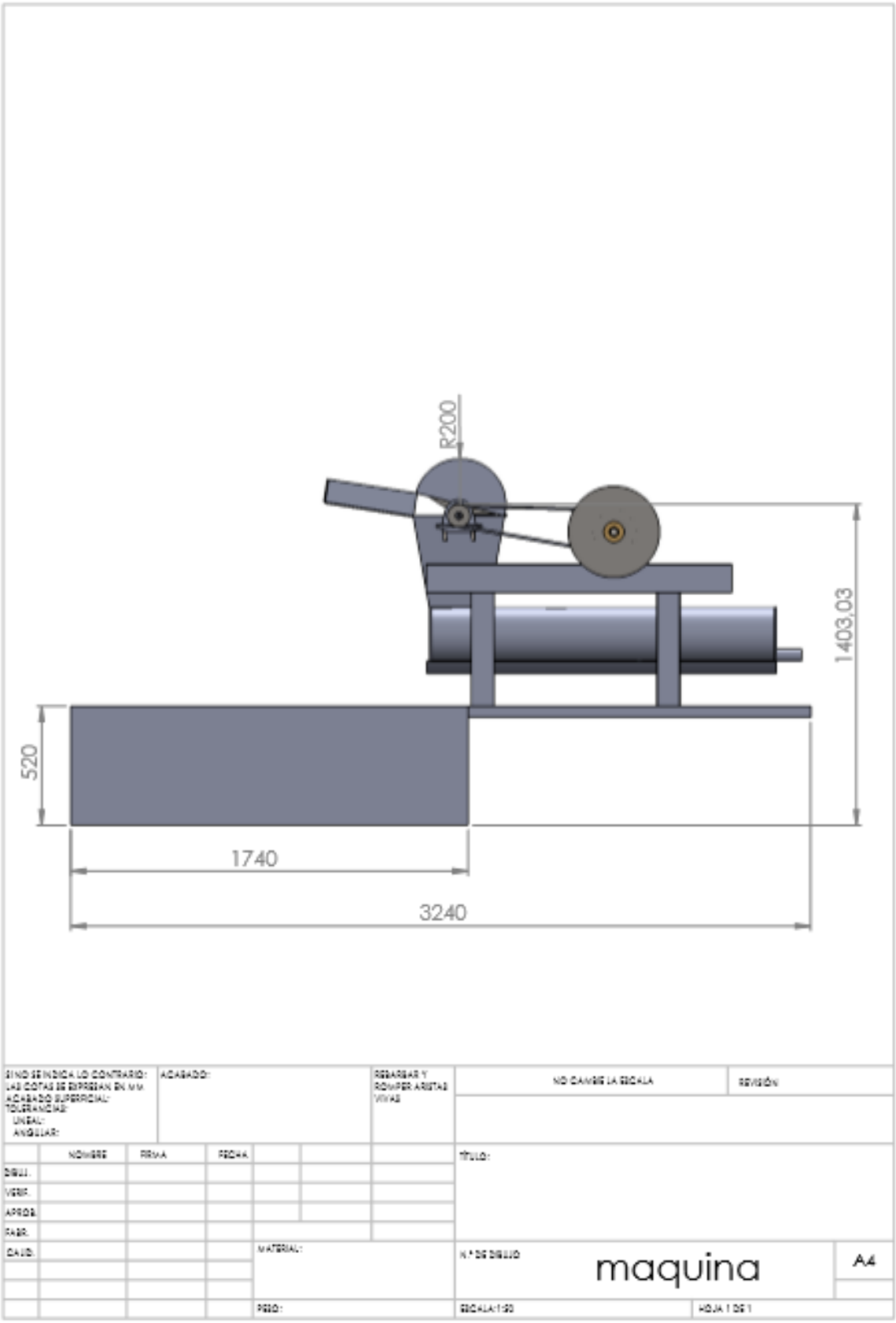
RODRÍGUEZ, G. H. G. J. C. Y. F. A.: *Manual técnico para la elaboración del amidón de achira o sagú,* vol., pp. Tibaitatá, 2003.

SAWYER, R.: *Composición y análisis de alimentos de Pearson CECSA* vol., pp. Mexico, 2004.

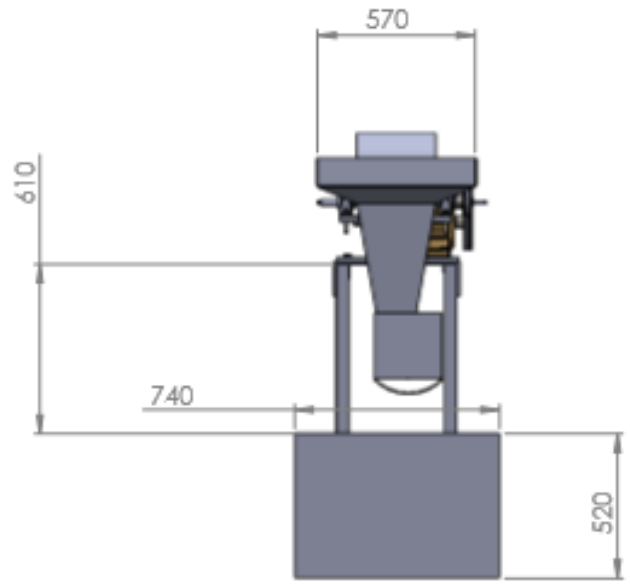
VALDÉS, M. P. S. O. Y. T. S.: *Morfología de la planta y características de rendimiento y calidad de almidón sagú,* vol., pp., 2010.

ANEXOS

Anexo 1

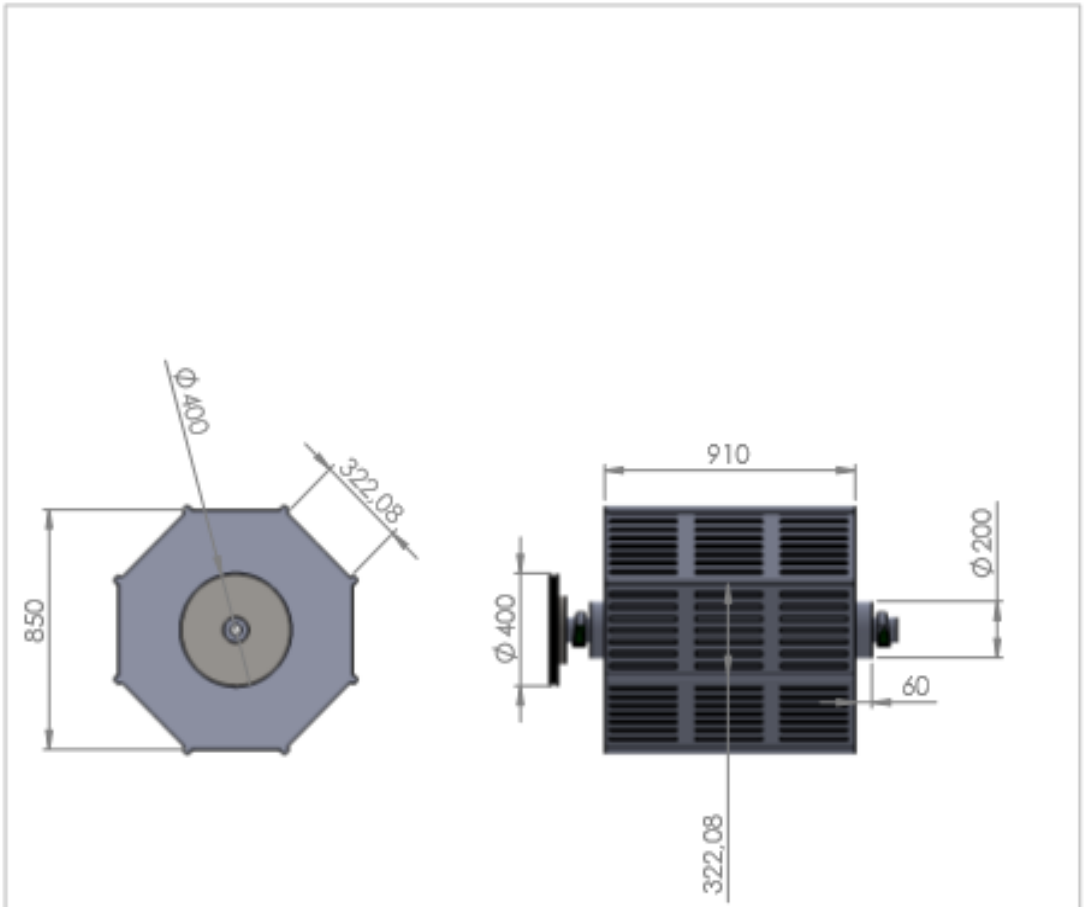


Anexo 2



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:		
DIBUJ.								
VERIF.								
APROB.								
FABR.								
CALID.				MATERIAL:		Nº DE DIBUJO	1	A4
				PESO:		ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 1	

Anexo 3



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.				TÍTULO:	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO: Ensamblaje1	A4
			PESO:	ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 1