DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE RAÍCES DE YUCA

OSCAR ALIRIO PABA GOMEZ
EDWIN GIOVANNY BAEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2.004

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE RAÍCES DE YUCA

OSCAR ALIRIO PABA GOMEZ
EDWIN GIOVANNY BAEZ

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director
LEONIDAS VASQUEZ
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2.004

A Dios,

A mi madre: Myriam Gómez con todo mi amor, por su incondicional apoyo.

A mis sobrinos: Jonathan, Juan, Natalia y Daniel.

A mis hermanos.

OSCAR

A Dios por permitirme alcanzar esta meta y ser el guía de mi vida dando luz a mis pasos.

A mi madre Carmen de quien he recibido todo su apoyo, dedicación, amor y sacrificio.

A mis nonos Pacho y Chiquinquirá quienes siempre han estado conmigo apoyándome para alcanzar este triunfo.

A mi tío Hernando, Paola, Papuchis y Adriana.

A toda mi familia y amigos.

GIOVANNY.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos los más sinceros agradecimientos a las personas nombradas a continuación, por la colaboración durante el desarrollo del presente proyecto.

Al ingeniero Leonidas Vásquez, Director del proyecto por su asesoría.

Al Profesor Daniel Molina, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna durante el desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Julián Francisco Pinto por su amistad y colaboración.

A los señores Alberto y Celino, talento humano del taller Recomaq.

A la escuela de Química. Al Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural y al Fondo Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PRONATTA)

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	**1**
1. JUSTIFICACIÓN	**3**
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	**5**
2.1 VALORACIÓN DE LA NECESIDAD	**5**
2.2 LIMITACIONES DEL PROBLEMA	**5**
2.3 OBJETIVOS	**6**
2.3.1 Objetivos generales	6
2.3.2 Objetivos específicos	7
3. EL CULTIVO DE LA YUCA	**8**
3.1 GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DE LA YUCA	**8**
3.1.1 Lugar de origen	8
3.1.2 Planta y cultivo	9
3.2 PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO	**10**
3.2.1 En el mundo	10
3.2.2 En Colombia	11
3.2.2.1 Consumo humano	12
3.2.2.2 A nivel industrial	12
3.2.2.3 En la alimentación de animales	12

3.2.3 Perspectivas para el futuro 13

4. PROCESAMIENTO DE LA YUCA 14

4.1 LAVADO DE LAS RAÍCES 17

4.1.1 Métodos de lavado/pelado 17

4.2 RALLADO DE LASA RAÍCES 18

4.2.1 Rallador o rallo 19

4.2.2 Operación del rallo 19

4.3 COLADO O TAMIZADO 20

4.3.1 Método manual 20

4.4 SEDIMENTACIÓN DEL ALMIDÓN 21

4.4.1 Tanques de sedimentación 22

4.4.2 Fermentación del almidón 23

4.5 SECADO DEL ALMIDÓN 24

4.5.1 Tratamiento final del almidón 24

5. UTILIZACIÓN DE LAS RAÍCES Y PRODUCTOS DE YUCA EN ALIMENTACIÓN ANIMAL 25

5.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS RAÍCES DE YUCA Y PRODUCTOS DE LA YUCA 25

5.2 UTILIZACIÓN DE LA YUCA EN ALIMENTACIÓN DE AVES 27

5.3 UTILIZACIÓN DE LA YUCA EN ALIMENTACIÓN PORCINA 28

5.4 UTILIZACIÓN DE LA YUCA EN ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES 29

6. USO AGROINDUSTRIAL DE LA YUCA 31

6.1 CONSUMIDORES INDUSTRIALES POTENCIALES 31

6.2 INDUSTRIA NO ALIMENTARÍA **31**

6.2.1 Industria papelera 31

6.2.2 Fabricación de cartón ondulado o corrugado 32

6.2.3 Perforación de pozos petroleros 33

6.2.4 Industria de la fundición 33

6.2.5 Industria textil 33

6.2.6 Industria de gomas para rehumedecimiento 33

6.2.7 Industria de la glucosa 34

6.2.8 Hidrólisis del almidón 34

6.2.9 Producción de dextrosa 34

6.2.10 Industria de la conversión de almidón 35

6.2.11 Industria farmacéutica 36

6.3 INDUSTRIA ALIMENTARIA **36**

6.3.1 Industria de jarabe de fructosa 36

6.3.2 Producción de caramelo comercial 37

6.3.3 Productos de panadería 37

6.3.4 Confitería 37

6.3.5 Conservas de frutas, compotas y mermeladas 37

7. ALTERNATIVAS DE DISEÑO Y SELECCIÓN **38**

7.1 LAVADO-PELADO **38**

7.2 RALLADO **45**

7.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA **48**

8. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA **49**

8.1 DESCRIPCIÓN **49**

8.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE PELADO **54**

8.2.1 Selección del diámetro de los agujeros 54

8.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE PELADO **54**

8.3.1 Selección de la malla para el tambor 54

8.3.2 Cálculo de la potencia 54

8.3.2.1 Cálculo del torque inercial 55

8.3.2.1.1 Determinación de la inercia 55

8.3.2.2 Cálculo del torque de operación 60

8.3.3 Diagrama del eje 61

8.3.4 Cálculo del diámetro exterior 62

8.3.4.1 Diseño de la cuña 64

8.3.5 Diseño de la brida 67

8.3.5.1 Soldadura para la brida 69

8.4 SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS PARA EL TAMBOR **70**

8.5 SELECCIÓN DEL ACOPLE **71**

8.6 DISEÑO DE LA RALLADORA **72**

8.6.1 Cálculo de la potencia 72

8.6.1.1 Cálculo del torque inercial 73

8.6.1.2 Cálculo del torque de rallado 74

8.6.2 Calculo de fuerzas y momentos 74

8.6.3 Cálculo del diámetro del eje 76

8.6.4 Selección de los rodamientos para la ralladora 77

8.6.5 Diseño de la brida de la ralladora 78

8.6.5.1 Soldadura para la brida 79

8.6.5.2 Diseño de la cuña 81

8.6.6 Selección del acople 82

9. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE 84

9.1 SUBSISTEMA DE LAVADO 84

9.1.1 Barra de acero inoxidable 84

9.1.2 Acople rápido 85

9.1.3 Grifo 85

9.1.4 Tubería 86

9.2 SUBSISTEMA DE PELADO 86

9.2.1 Malla del tambor 86

9.2.2 Guarda de protección 87

9.2.3 Bandeja de recepción 88

9.2.4 Bandeja de recolección 88

9.3 SUBSISTEMA DE RALLADO 89

9.3.1 bandeja de inspección 89

9.3.2 Tolva de alimentación 91

9.3.3 Conjunto de gratas 91

9.4 SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA 93

9.4.1 Motorreductor 93

9.4.2 Brida para el tambor 93

9.4.3 Motor eléctrico 94

9.4.4 Eje de la ralladora 94

9.4.5 Brida de la ralladora 94

10. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO 95

10.1 GENERALIDADES 95

10.1.1 Misión del mantenimiento 95

10.1.2 Beneficios 96

10.1.3 Tipos de mantenimiento 96

10.2 DISEÑO DEL PROGRAMA 97

10.2.1 Sistema de mantenimiento 98

10.3 INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO 99

10.3.1 Listas de chequeo 99

10.3.2 Programación del mantenimiento 101

11. ANÁLISIS DE COSTOS 102

12. PRUEBAS REALIZADAS Y RESULTADOS 106

12.1 PRIMERA PRUEBA 106

12.2 SEGUNDA PRUEBA 108

CONCLUSIONES 113

BIBLIOGRAFÍA 115

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Elementos del subsistema de lavado	50
Tabla 2.	Elementos del subsistema de pelado	51
Tabla 3.	Elementos del subsistema de rallado	52
Tabla 4.	Elementos del subsistema de transmisión de potencia	53
Tabla 5.	Momentos de inercia	56
Tabla 6.	Tiempos de régimen del motor	59
Tabla 7.	Tamaño de cuña contra tamaño de flecha	66
Tabla 8.	Tamaño mínimo de soldadura para placas	70
Tabla 9.	Acople flexible de cruceta	72
Tabla 10	Potencia inercial	74
Tabla 11.	Beneficio de un programa de mantenimiento	96
Tabla 12.	Detección de fallas	100
Tabla 13.	Programación del mantenimiento	101
Tabla 14.	Costos de materiales maquina	103
Tabla 15.	Costos de elementos máquina	104
Tabla 16.	Costos mano de obra	105

Tabla 17. Costo total del proyecto 105

Tabla 18. Resultados de la primera etapa 107

Tabla 19. Datos de resultados. 112

LISTA DE FIGURAS

		Pág
Figura 1	Planta de yuca	9
Figura 2	Producción de yuca (millones de toneladas)	11
Figura 3	Gránulos de almidón natural	14
Figura 4	Diagrama del proceso general de extracción de almidón	15
Figura 5	Diagrama de la producción de almidón agrio de yuca	16
Figura 6	Pelado de las raíces con los pies	17
Figura 7	Pelado de las raíces	18
Figura 8	Rallado de la raíz de yuca	19
Figura 9	Colado manual de la masa de yuca	21
Figura 10	Canales de sedimentación	23
Figura 11	Tanque de fermentación del almidón agrio	24
Figura 12	Cepillos de nylon	39
Figura 13	Montaje con cepillo metálico	40
Figura 14	Alternativa 3 y su resultado	42
Figura 15	Recipiente con tiras de carborundum y su resultado	42
Figura 16	Cilindro en malla preondular y resultado	44
Figura 17	Tornillo transportador	46

Figura 18	Vista general de la maquina	49
Figura 19	Diagrama de esfuerzos sobre el eje 1	61
Figura 20	Diagrama de esfuerzos sobre el eje 2	75
Figura 21	Eje de acero inoxidable	85
Figura 22	Tambor para el pelado	87
Figura 23	Guarda de protección	87
Figura 24	Bandeja de recepción	88
Figura 25	Bandeja de recolección	89
Figura 26	Bandeja de inspección	90
Figura 27	Tapa de corredera	90
Figura 28	Tolva de alimentación	91
Figura 29	Gratas aceradas	92
Figura 30	Montaje de las gratas	92
Figura 31	Brida para el tambor	93
Figura 32	Maquina en funcionamiento	106
Figura 33	Raíces de yuca lavadas y peladas	108
Figura 34	Proceso de rallado	109
Figura 35	Tamizado	110
Figura 36	Precipitación	110
Figura 37	Observación de la precipitación	111
Figura 38	Determinación del rendimiento	111

LISTA DE ANEXOS

		Pág
Anexo 1.	Factores de concentración de esfuerzos por flexión para una barra con un orificio transversal.	116
Anexo 2.	Factores de concentración de esfuerzos k_t para una barra con hombro.	117
Anexo 3.	Factores de concentración de esfuerzos por flexión con cuña.	118
Anexo 4.	Fotografías de fabricación.	119
Anexo 5.	Fotografías de procesamiento.	122
Anexo 6.	Fotografías maquina para obtención de almidón de raíces de yuca.	123
Anexo 7.	Planos.	125

TITULO: Diseño y Construcción de una Maquina para obtener Almidón de Raíces de Yuca *

AUTORES: Edwin Giovanny Báez
Oscar Alirio Paba Gómez**

PALABRAS CLAVES:
Diseño mecánico.
Lavado y Pelado.
Rallado.
Obtención de Almidón.
Transmisión de potencia.

DESCRIPCION:

Este proyecto contiene información recopilada y los principios de diseño utilizados para el diseño y construcción de una maquina para obtener Almidón de Raíces de Yuca, máquina necesaria en el procesamiento y producción de la yuca dando de esta manera un valor agregado al producto inicial ya perecedero.

El proceso de extracción del almidón en el proyecto tiene las siguientes etapas: 1**. *Recepción de las raíces frescas**:*** se seleccionan las que están en buen estado para procesar. **2*. Lavado:*** se limpia la yuca y se retiran impurezas. **3. *Pelado:*** se libera y desprende la cascarilla por fricción con el tambor y con ellas mismas. **4. *Rallado:*** se libera el almidón de la raíz

De este proceso se obtienen el almidón para alimentación humana y agroindustrial y subproductos como el “afrecho”, empleado en la industria de concentrados; la “mancha”, utilizada por las familias campesinas en la alimentación de cerdos, y la cascarilla, utilizada en la producción de abonos orgánicos.
La Máquina cuenta con un sistema de lavado-pelado el cual por medio de un tambor con unas características especiales de lavado y corte durante un tiempo estimado, retiramos la cascarilla, pasamos a una etapa de inspección para luego ser conducidas a la etapa de rallado, en el cual por medio de un conjunto de gratas liberamos el almidón encapsulado en las raíces, este sistema consta de una unidad de transmisión de potencia en cada etapa (motor y reductor), unos acoples de estrella en cada uno y unas bridas de agarre.

Con la realización de este proyecto se aumenta la productividad y se mejoran las condiciones de trabajo de las personas que realizan esta tarea manualmente.

* Proyecto d Grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director Ing. Leonidas Vásquez.

Title: Design and Construction of the Machine in order to obtain Starch of Yucca's root.*

AUTHORS: Edwin Giovanny Báez
Oscar Alirio Paba Gómez**

KEYWORDS:

Mechanic design
Washed and Peeled
Grated
Obtain of starch
Transmission of potency

DESCRIPTION:

This project contains compile information and the principle of design than were used for the design and construction of the machine, in order to obtain starch of yucca's root. The machine is necessary in the processing and production of the yucca, like this; of this form the machine give a valve added to the initial product perishable now.

The process of extraction of the starch in the project has the next levels: **1. Reception of the fresh roots**: it chooses the roots in good form for the process. **2. Washed**: the yucca is cleaned and the impurities are subtracted. **3. Peeled**: it exempts and detach the husk by friction with the drum with themselves. **4. Grated**: it exempts the starch of the root.

Of this process you obtain the starch for the human food and agroindustrial and subproducts as the "afrecho" used in the concentrated´s industry; the "mancha" is used for pig's food and the husk used for the productions of the organics fertilizes.
The machine has a washed-peeled ´s system in which, through of drum with a characteristics of washed and cut during a valued time, we retired the husk. After, we follow to the inspect level for then to be conduced to the grated level, in the which through of the Gratas´s joint, we free the inside starch in the roots, this system has a unit of transmission of potency in each level (motor and reducer), an stars´s Acoples in each one and a Bridas of grasp.

With the put into effect of this project, we increment the productive and we improvement the work's conditions of the people who carry out this homework manually.

* Grade's Project.

** Faculty of science physical-mechanics, school of mechanics engineering ,
Director Ing. Leonidas Vásquez

INTRODUCCIÓN

El cultivo de raíces de yuca ha sido una actividad tradicionalmente importante para gran parte de la población agrícola del país y especialmente para nuestra región santandereana. La yuca es un cultivo altamente perecedero debido a su alto contenido de humedad (60-70%) y la composición del sustrato de sólido.

Sin embargo la tendencia actual es la de reducir su importancia desafortunadamente con el ánimo de disminuir su producción y por ende su consumo y de esta forma promover otras harinas nacionales.

El 80% de la producción nacional se utiliza en forma fresca para el consumo humano, el resto tiene otros destinos como la harina de yuca, desde el punto de vista alimenticio tiene muchas otras aplicaciones, como es el caso de la elaboración de concentrados para ganado, y la industria avícola, de gran desarrollo en nuestra región; además en el sector industrial se puede obtener materia prima para pegantes, papel y medicamentos.

Es por eso que entidades tan prestigiosas como la Universidad industrial de Santander por intermedio de nuestra escuela a querido vincularse en el desarrollo regional, contribuyendo a la búsqueda de nuevos recursos que aporten al desarrollo de aquellas zonas aisladas permitiendo una posible creación de microempresas competitivas, y mejorar de esta manera su actividad dentro de un entorno social y económico.

Razón por la cual se ofrece al cultivador o rallandero la posibilidad de abrir nuevos espacios para su bienestar y el de su familia, en donde se pueda acceder a la máquina para obtener almidón de raíces de yuca con materiales de buena calidad, de una manera mas tecnificada; y no la artesanal convencional en donde estaban creando productos deficientes, y contribuyendo de esta manera al cierre su propio sustento.

Los alcances del presente proyecto, van desde generalidades sobre el cultivo de la yuca, utilización como fuente de alimentación animal y a nivel agroindustrial, la cual hoy por hoy ha tenido una gran repercusión gracias a la calidad del almidón como materia prima.

Además su procesamiento juega el papel mas importante ya que de ahí se partió para el diseño, construcción y montaje de la maquina. También se realizará un análisis de beneficio-costo para que el pequeño y mediano agricultor interesado pueda acceder a obtener la maquina.

1. JUSTIFICACIÓN

Con el objetivo de contribuir con el desarrollo del país, y en especial con el de nuestra región se da inicio a un proceso de investigación en la parte agrícola, específicamente relacionado con el diseño y construcción de una maquina para obtención de almidón de raíces de yuca dando de esta manera un valor agregado al producto inicial ya perecedero, además esta maquina estará en un centro agrícola en San Gil, la cual será para el servicio del campesino-cultivador de esta manera mostrando que entidades tan prestigiosas como lo es la Universidad Industrial se preocupa y contribuye al crecimiento de la región y la de sus habitantes.

Además se busca incentivar la vida campesina y en general todo lo relacionado con el agro, puesto que las raíces de yuca no solo se deben considerar de consumo humano, pues una parte considerable de la producción se mercadea convertida en almidón y en otros productos.

Además de esta forma el cultivador no solo venda las raíces en los centros de abastos y de mercadeo sino también se de la posibilidad de obtener grandes cantidades de almidón y venderlos a otras ciudades industriales y textileras, pues es lo que actualmente sucede con algunos departamentos de nuestro país, tal como pasa con las rallanderias del Cauca, este es el principal productor de almidón de yuca en Colombia ya que procesa ya casi el 80% de la producción total del país.

Con el fin de evitar lo antes expresado se plantea diseñar una máquina utilizada para obtener almidón de raíces de yuca aplicando materiales de buena calidad, en donde no se contaminen los productos finales, además que sea de alta eficiencia, fácil montaje, mantenimiento y de funcionamiento sencillo.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 VALORACIÓN DE LA NECESIDAD.

La agricultura Colombiana es de gran desarrollo, es por eso que cada día productos agrícolas como la yuca toman gran importancia especialmente en la obtención de materias primas, alimentos de consumo humano (panadería) , concentrado para ganado, industria avícola, papel, pegantes, medicamentos, y en la industria textil, pero a pesar de su amplia utilización el subproducto que de este se deriva actualmente es de mala calidad, debido a los métodos artesanales utilizados para su obtención, razón por la cual hace que las microempresas en especial las santandereanas tiendan a desaparecer.

2.2 LIMITACIONES DEL PROBLEMA

En la actualidad los métodos artesanales o realizados con materiales de baja calidad no aptos para operar con alimentos como sucede hoy día debido a la falta de apoyo económico por parte de entidades encaminadas al progreso regional, en donde se utilizan materiales oxidados, maderas con capas de sustancias en descomposición, tal como se observó en cada una de las visitas realizadas a microempresas en vía de extinción en la región, ha incentivado al diseño y construcción de una maquina que satisfaga las necesidades de los pequeños y medianos microempresarios.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivos Generales.

- ✓ Contribuir con la misión de la Universidad de atender y dar solución a diferentes necesidades tanto en el campo social como en el económico, es por eso que nuestro proyecto va encaminado a dar una respuesta tecnológica a un problema regional del sector agrícola, golpeado hoy por hoy por tantos conflicto socioeconómicos y políticos que atrasan el desarrollo integral y evolutivo de nuestro departamento y país.

- ✓ Vincular la Universidad con las microempresas campesinas, hoy asociaciones familiares que buscan en el campo su sustento y bienestar en donde ven en la tierra como una fuente de progreso para cada uno sus necesidades.

- ✓ Motivar a las instituciones estatales a la continuidad del desarrollo agrícola de en donde se tengan en cuenta todos y cada uno de estos sectores marginados evitando de esta manera los desplazamiento masivos a la ciudad en donde solo va a llevar a mas pobreza y mendicidad.

2.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Diseñar y construir una máquina para obtención de almidón de raíces de yuca , con una capacidad de 12 arrobas/hora con las siguientes especificaciones:
  - Lavado y pelado por tambor.
  - Rallado por gratas de acero inoxidable.

- ✓ Presentar los planos en papel de todos los conjuntos y elementos de la máquina.

- ✓ Diseñar una maquina de fácil manejo, de tal forma que el operario (agricultor) efectué operaciones básicas de una manera sencilla (carga, encendido, apagado y descarga).

- ✓ Construir una máquina de traslado sencillo a las zonas rurales a las cuales prestará un servicio (peso aproximado: 280. Kg.), dicho desplazamiento se puede efectuar con un pequeño vehículo. (camioneta).

3. EL CULTIVO DE LA YUCA

La yuca (Manihot Esculenta, Crantz) representa una importante alternativa alimenticia para las zonas tropicales dada su alta capacidad de producción por unidad de superficie y los elevados rendimientos en calorías aún sembrándola en zonas relativamente marginales para otros cultivos agrícolas, con una baja inversión en insumos. Hasta hace pocos años este cultivo estuvo prácticamente marginado de la investigación; sin embargo, su reconocida importancia económica tanto en alimentación humana y animal como en procesos industriales (producción de almidones, alcohol, etc.), ha generado la necesidad de adoptar e implementar estrategias de estudio e investigación que han permitido incrementar en forma considerable los rendimientos, mejorar las técnicas de cultivo, ampliar las potencialidades de su uso y en consecuencia, derivar de todo ello un necesario beneficio social.

3.1 GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DE LA YUCA.

3.1.1 Lugar de origen. La yuca es una de las principales plantas útiles tropicales difundidas en todos los continentes. Existen diversas opiniones acerca del centro de origen de esta especie, se acredita al África, Asia, Las Islas del Pacífico, América central, México, Brasil y la Región Amazónica. Otros investigadores se inclinan a admitir más de un lugar de origen, indicando como probables el Brasil, América Central y México. Sin embargo, la mayoría de los botánicos y ecológicos consideran la planta originaria de América tropical, y el nordeste del Brasil como el mas probable centro de origen. La diversidad más amplia del género *Manihot* se encuentra en el Brasil, sur occidente de México y Guatemala.

Actualmente la yuca se ha constituido en un cultivo de gran importancia en todas la regiones tropicales del mundo, tanto por el consumo de raíces frescas, es decir como un cultivo de subsistencia, como por su uso agroindustrial.

3.1.2 Planta y cultivo. Hay actualmente más de 5000 variedades de raíces de yuca y cada una tiene características peculiares. Sus flores (masculina y femenina) son pequeñas y la polinización cruzada es frecuente.

El fruto es dehiscente y las semillas pequeñas y ovaladas. La raíz es cónica y tiene una corteza externa y otra interna (de color blanco o rosado). Los tallos maduros se cortan en estacas de 7 a 30 cm de longitud, con las cuales se propaga la planta, (Ver figura 1).

Figura 1. Planta de yuca

Aunque la yuca es un cultivo resistente, puede sufrir tres enfermedades importantes: el añublo bacteriano (en hojas y tallos), las pudriciones de la raíz, y el virus del mosaico africano (en África solamente).

La yuca tolera la sequía (sin reducir su producción) porque posee tres características particulares: los estomas se cierran cuando el aire está seco, las raíces extraen agua del suelo profundo (hasta 2.5 m), y su sistema fotosintético fija el carbono atmosférico aun disponiendo de poca agua (en estrés hídrico prolongado).

La yuca no tolera un suelo inundado. Las raíces pueden cosecharse a los 7 meses de plantado el cultivo y pueden permanecer en el suelo hasta 3 años. Una vez cosechadas se deterioran en 3 ó 4 días, por lo tanto deben consumirse sin demora.

3.2 PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO

3.2.1 En el mundo. El cultivo de la yuca ha sido una actividad tradicional de gran importancia para la población rural de muchos países del mundo. En los países que están en vías de desarrollo, especialmente, la yuca es uno de los componentes principales de la dieta alimentaría de sus habitantes, quienes alimentan también con ella a sus animales y (cuando tienen excedentes) la venden en el mercado.

Los principales países productores de yuca son Nigeria, Brasil, Zaire, Tailandia e Indonesia. Su producción de raíces frescas (FAO, 1997) aparece en figura 2.

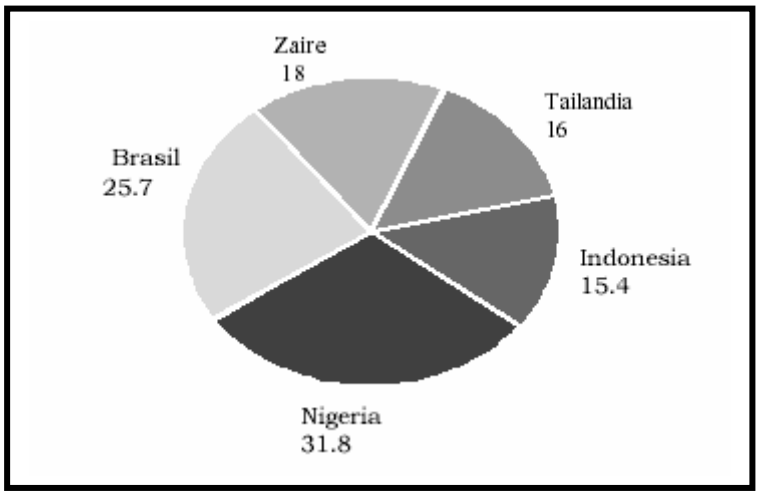


Figura 2. Producción de yuca (millones de toneladas)

En la actualidad sigue siendo un cultivo de subsistencia dadas las magnificas cualidades de adaptación a la sequía, los suelos pobres, la resistencia relativa a las malezas e insectos; todas estas características aunadas al hecho de que puede dejarse sin cosechar por un periodo largo de tiempo, hacen de la yuca, un producto alimenticio de gran utilidad en las épocas de escasez de alimentos.

3.2.2 En Colombia. La principal zona productora de yuca en Colombia es la Costa Atlántica; una cantidad considerable de este producto sale también de los Llanos Orientales. El Departamento del Cauca figura con un 3% de la producción total del país. Por la estacionalidad de las lluvias, gran parte de la producción anual se concentra en ciertas épocas del año.

Esta situación ocasiona a la agroindustria de la yuca escasez de materia prima en unos meses del año y abundancia en otros, pérdidas por daño de las raíces frescas que se almacenan durante largo tiempo en épocas de oferta excesiva, y oscilaciones en los precios de la materia prima y del almidón.

El departamento del Cauca es el principal productor de almidón agrio de yuca en Colombia, ya que procesa casi el 80% de la producción total del país.

3.2.2.1 Consumo humano. Posee la yuca ciertas características de interés para biólogos y economistas, por su productividad en términos de calorías por unidad de superficie y por unidad de tiempo que al parecer es mas alta que en otros cultivos alimenticios básicos. La yuca puede producir 250 x 10^3 cal*ha/día en comparación con el arroz que produce 173 x 10^3, el trigo 110 x 10^3, el maíz 200 x 10^3 y el sorgo 114 x 10^3. Es necesario encontrar usos apropiados para la yuca a fin de poder utilizar su eficiencia biológica y desarrollar el cultivo.

3.2.2.2 A nivel industrial. Se emplea para gran cantidad de procesos, siendo uno de los más importantes el *almidón industria*l. El incremento en los precios del petróleo durante los últimos años ha creado un gran interés por la producción del alcohol de biomasas, como un sustituto del petróleo. En la actualidad el Brasil tiene una planta que usa yuca como fuente de biomasa. Por el momento el mayor problema para producirlo es el alto requerimiento energético para su destilación, de allí que se espera reducir estos costos mediante el uso de los tallos como fuente de energía para el proceso. Por tonelada de yuca se produce 170 litros de alcohol.

3.2.2.3 En la alimentación de animales. Se le ha utilizado desde hace muchos años y actualmente Alemania, Bélgica y Holanda son grandes consumidores para la elaboración de alimentos para animales. En la actualidad la comunidad económica europea absorbe el 80 – 90 % del comercio mundial de la yuca para la fabricación de estos alimentos.

3.2.3 Perspectivas para el futuro. Con base en el incremento potencial de la producción de yuca debido al uso de nuevas tecnologías, se crea la necesidad de expandir y diversificar su mercado. Desde luego, para que llegue a ser una alternativa es necesario implementar una tecnología barata que además de favorecer incrementos significativos de producción permita reducir los precios del producto en comparación con los actuales y se convierta así la yuca en un sustituto de otros productos en el mercado.

4. PROCESAMIENTO DE LA YUCA

Después de la celulosa, el almidón es el carbohidrato de mayor abundancia en la naturaleza. El almidón es una de las principales reservas de energía de las plantas y se encuentra en fuentes tan diversas como los cereales (maíz, trigo, cebada, arroz), la papa, la yuca y muchos otros cultivos. El almidón es el carbohidrato más importante en la actividad humana por su función alimenticia y por sus múltiples aplicaciones en la industria y el comercio.

A diferencia de los almidones de cereales, que requieren procesos industriales muy tecnificados, los almidones de raíces y tubérculos (papa, batata, achira y yuca) son más fáciles de obtener en el medio rural: su obtención sólo requiere de molienda, tamizado, separación con agua, sedimentación y secado.

En la siguiente figura 3 se muestran gránulos de almidón natural (o nativo) de yuca vistos con el microscopio electrónico. En los del almidón fermentado o agrio (derecha) se ve la acción erosiva de la bacteria amilolítica.

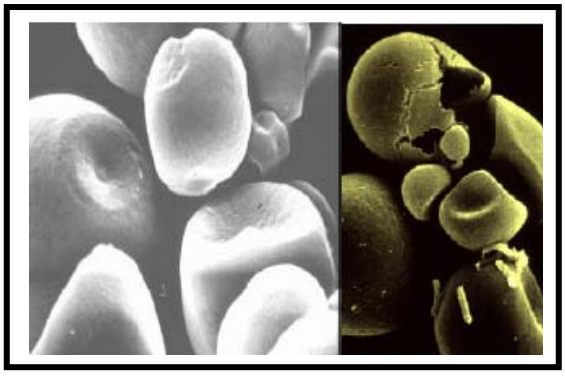


Figura 3. Gránulos de almidón natural

El proceso general de extracción de almidón de yuca se ilustra en la siguiente figura.

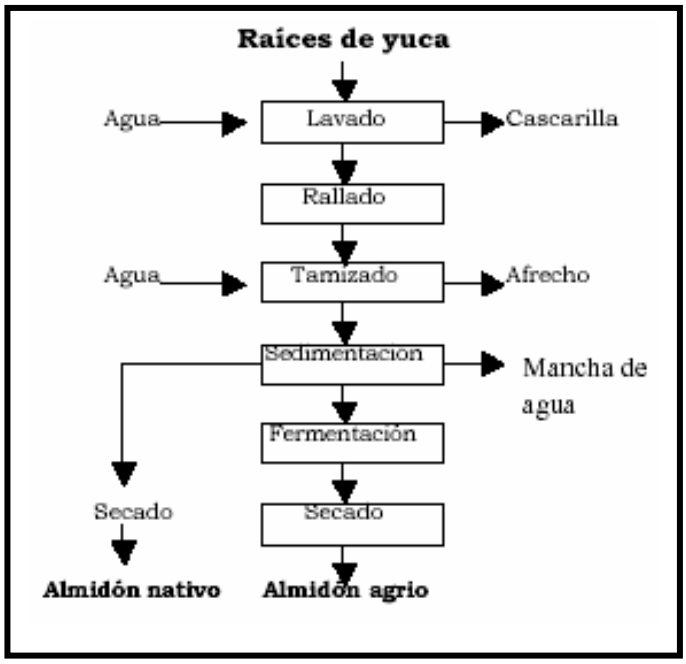


Figura 4. Diagrama del proceso general de extracción de almidón de yuca (nativo y agrio).

El proceso de extracción del almidón agrio tiene las siguientes etapas:

1. *Recepción de las raíces frescas:*** se seleccionan las que están en buen estado para procesar.

2. *Lavado:* se limpia la yuca y al mismo tiempo se retira su cascarilla (corteza externa).

3. *Rallado:* se libera el almidón de la raíz.

4. *Colado o tamizado:* se separa el almidón del afrecho.

5. *Sedimentación:* se separa el almidón de los otros componentes menos densos.

6. *Fermentación:* es un proceso natural realizado por bacterias lácticas amilolíticas en condiciones de anaerobiosis.

7. *Secado:* se realiza mediante exposición solar hasta alcanzar una humedad entre el 12% y el 14%, y luego se empaca y se procede a la comercialización.

De este proceso se obtienen subproductos como el “afrecho”, empleado en la industria de concentrados como fuente de energía y fibra; la “mancha”, utilizada por las familias campesinas en la alimentación de cerdos como fuente de energía, y la cascarilla, utilizada en la producción de abonos orgánicos. (Ver figura 5).

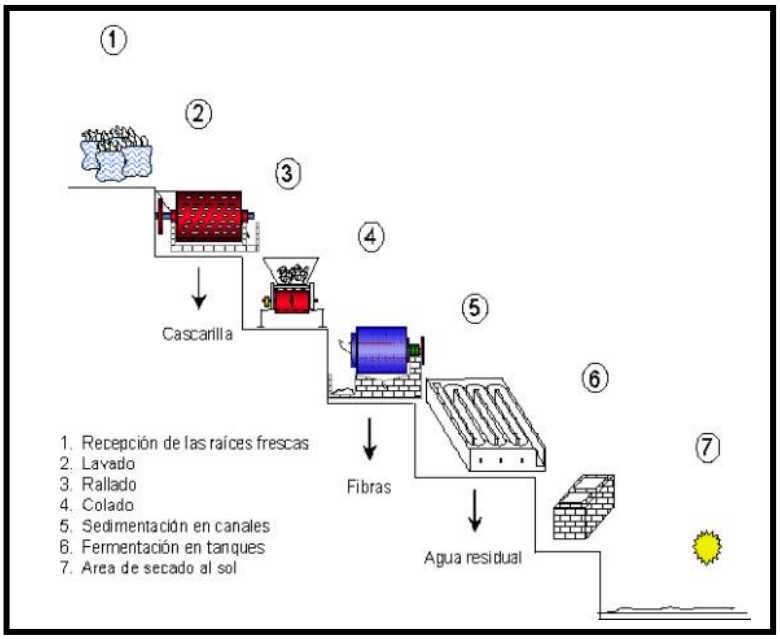


Figura 5. Diagrama de flujo de la producción de almidón agrio de yuca.

4.1 LAVADO DE LAS RAÍCES.

El propósito de esta operación es eliminar la tierra y las impurezas adheridas a la cascarilla de las raíces de yuca, junto con esa misma cascarilla (corteza externa o periderma).

4.1.1 Métodos de lavado/pelado.

Lavado/pelado manual. Se ejecuta con las manos, aunque en algunas zonas de los departamentos del Cauca (23 rallanderias) y de Caldas (8 rallanderias) se hace también con los pies. La cascarilla se desprende por la fricción de unas raíces con otras durante el lavado. Esta operación emplea gran número de personas de la familia campesina y es, por ello, una fuente de ingreso para la comunidad. (Ver figura 6).

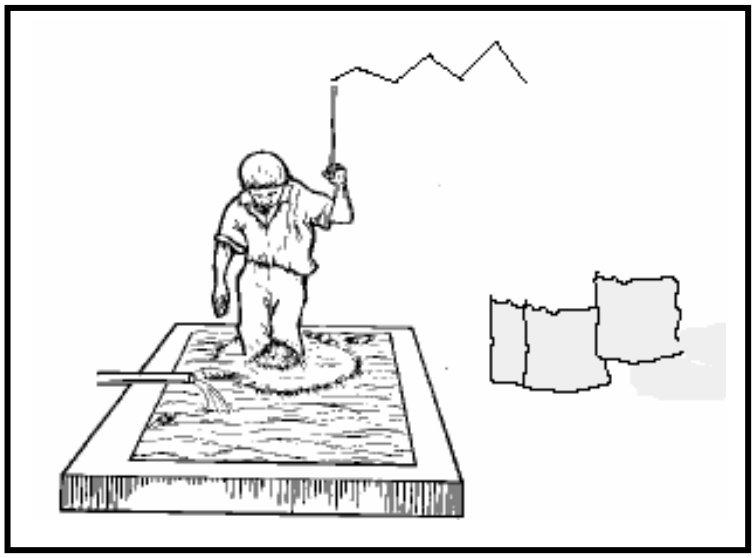


Figura 6. Pelado de las raíces con los pies.

Pelado. En las rallanderias antes mencionadas, las raíces se pelan manualmente (con cuchillos), es decir, se despojan de la corteza interior (parénquima cortical) estando ya lavadas y sin la cascarilla. (Ver figura 7).

Figura 7. Pelado de las raíces.

4.2 RALLADO DE LAS RAÍCES

Es la acción de liberar el almidón de la raíz empleando un método cualquiera. La eficiencia de esa acción recibe el nombre de efecto rallador (ER), que se ha calculado mediante la siguiente ecuación:

$$ER = \left(1 - \frac{A_A * F_R}{A_R * F_A}\right) * 100$$

A_A = almidón recuperado en el afrecho (%)
F_R = fibra cruda en las raíces frescas (%)
A_R = almidón en las raíces frescas (%)
F_A = fibra cruda en el afrecho (%)

En el rallado se liberan los gránulos de almidón contenidos en las células de la raíz. La eficiencia de esta operación determina, en gran parte, el rendimiento total de almidón en el proceso de extracción. (Ver figura 8).

Figura 8. Rallado de la raíz de yuca

4.2.1 Rallador o rallo Es un cilindro de madera que va montado en un eje de hierro. El cilindro está recubierto por fuera por una lámina de hierro galvanizado que se perfora manualmente con un clavo (o con punzón) en toda su área. Se hacen, generalmente, una o dos perforaciones por cm^2. La velocidad de rotación del cilindro varía de 1200 a 1300 r.p.m.

4.2.2 Operación del rallo. La superficie áspera y cortante del tambor, constituida por los bordes filudos de múltiples agujeros, establece una línea de corte (un rallo) con la cara interior de una tabla colocada frente al tambor.

Ese rallo produce una masa de ralladura de yuca, que será fina o gruesa según el espacio (o luz) dejado entre el tambor y el borde de madera.

La operación de rallado suele hacerse en seco. Sólo en casos especiales se practica con agua, por ejemplo, cuando la maquinaria puede instalarse aprovechando la pendiente del terreno, es decir, el gradiente de gravedad; el agua usada puede así fluir fácilmente hacia la siguiente operación o hacia el depósito de aguas residuales (donde es purificada).

El porcentaje de extracción de almidón depende del rallado. Si éste no deshace bien el tejido de la raíz para separar los gránulos de almidón de las fibras, el rendimiento del proceso de extracción es bajo y se pierde mucho almidón en el afrecho desechado.

El rallado no puede ser demasiado fino porque los gránulos muy pequeños de almidón sufrirían daño físico y, más tarde, deterioro enzimático. En estas condiciones, la sedimentación sería más lenta (el gránulo fino pierde densidad) y se formaría mayor cantidad de mancha.

4.3 COLADO O TAMIZADO.

Esta operación puede hacerse manualmente, con coladoras mecánicas continuas o con coladoras mecánicas por tandas.

4.3.1 Método manual. El colado manual se hace a través de una tela que se fija a un marco de madera; el conjunto se instala sobre un depósito o tanque donde se sedimentará la lechada de yuca rallada que pase por la tela. (Ver figura 9).

El rendimiento obtenido manualmente es igual al que se logra con las coladoras mecánicas. En realidad, este rendimiento depende de la variedad de yuca, del tipo de rallo empleado, del número de personas que intervienen en la operación y de la destreza de éstas.

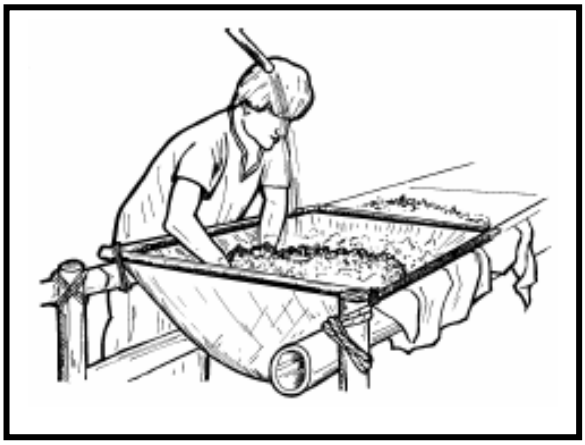


Figura 9. Colado manual de la masa de yuca.

4.4 SEDIMENTACIÓN DEL ALMIDÓN.

Cuando la lechada de yuca rallada sale de la coladora, contiene almidón, fibra fina y material proteico en suspensión. Esta lechada es conducida a tanques o a canales, donde se lleva a cabo la sedimentación del almidón. De la lechada que recorre los canales, o que se estaciona en los tanques, se separa el componente más denso, o sea, el almidón, cuyos gránulos, de diverso tamaño, se sedimentan en el fondo.

Este proceso puede durar 3 horas en los canales y 6 a 8 horas en los tanques de sedimentación. Al final de esta etapa queda una capa de almidón compactado en el fondo (del canal o del tanque). El agua sobrenadante se desecha.

4.4.1 Tanques de sedimentación. Estos tanques se construyen con ladrillo y se recubren con baldosín. El volumen de agua que pasa por ellos, por tonelada de raíces frescas, es de 4.8 m^3. Los tanques se convierten en una limitante grande del proceso por el trabajo que requieren. Las rallanderias, en efecto, no poseen el número suficiente de tanques para atender su propia capacidad de producción de yuca rallada. Además, hay que esperar hasta 8 horas para que el almidón quede sedimentado en un tanque.

Los tanques tienen otros dos inconvenientes: permiten que se mezcle el almidón con la mancha y que se pierda hasta un 2% del almidón sedimentado cuando éste se “desmancha”. La labor de retirar la mancha (desmanchar) consiste en limpiar la parte superior de la capa de almidón sedimentado empleando agua y una herramienta manual de limpieza que tiene un borde recubierto con caucho. (Ver figura 10).

Al terminar la sedimentación, se obtienen tres capas en los canales y dos tipos diferentes de almidón:

• La capa inferior es el almidón.

• La intermedia, denominada mancha, es un almidón mezclado con material proteico; su espesor es variable.

• La capa superior es el agua sobrenadante o residual.

Figura 10. Canales de sedimentación.

4.4.2. Fermentación del Almidón. La fermentación es un proceso natural realizado por bacterias lácticas amilolíticas en condiciones de anaerobiosis (sin oxígeno en el medio). La yuca, un producto agrícola muy perecedero, se aprovecha bien cuando puede conservarse convertida en almidón fermentado.

El almidón fermentado adquiere, además, características especiales de sabor, textura, olor y expansión en el horneado, que son deseables en la panificación. Estas características no pueden lograrse con el almidón nativo o sin fermentar.

El almidón sedimentado se coloca en los tanques de fermentación. Se le agrega luego una capa delgada de agua y allí se conserva de 20 a 30 días. Este tiempo varía según las condiciones climáticas de la zona. Los tanques tienen dimensiones variables y, en general, están recubiertos con madera en su interior. (Ver figura 11).

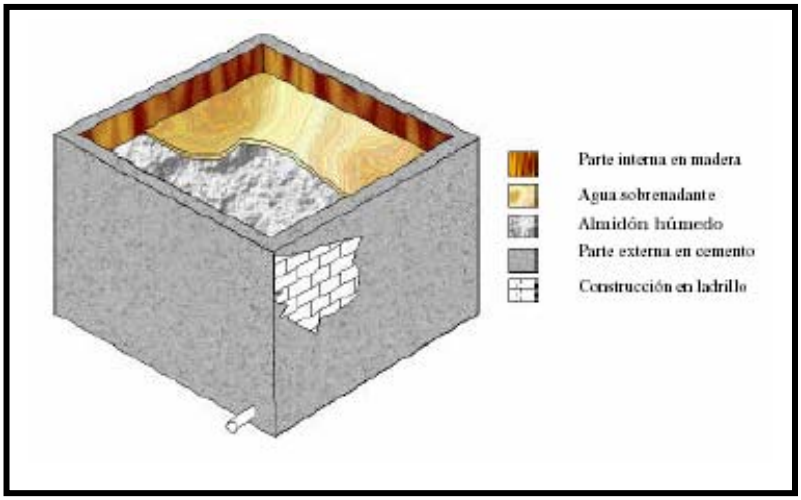


Figura 11. Tanque de fermentación del almidón agrio.

4.5 SECADO DEL ALMIDÓN.

El secado es la operación de deshidratación del almidón húmedo mediante exposición al calor. El almidón nativo se seca empleando medios naturales o artificiales; el almidón fermentado debe secarse solamente con calor solar.
Terminada la fermentación, el almidón se extrae de los tanques o de los canales en bloques compactos y se transporta a los patios donde se seca al sol.

4.5.1 Tratamiento final del almidón. El almidón se recoge de los secaderos cuando su contenido de humedad está entre 12% y 14%. Durante el secado, el almidón forma de nuevo terrones más o menos duros que requieren de un tratamiento, es decir, de molienda y cernido. Los terrones se muelen con rodillos como los descritos en la etapa de secado. El cernido se hace en mallas, cuya finura depende de las características del almidón que se desea obtener (de 100 a 120 mesh).

5. UTILIZACIÓN DE RAÍCES Y PRODUCTOS DE YUCA EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

Entre los cultivos de raíces y tuberosas, la yuca es el de mayor importancia en las regiones tropicales y constituye una apreciable fuente de calorías en la alimentación de los habitantes de estas regiones. Aproximadamente el 60% de la producción de yuca en América latina es utilizada para consumo humano y el 40% restante es empleada en la producción de almidón, en alimentación animal y en la producción de alcohol carburante, especialmente en Brasil.

5.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS RAÍCES Y PRODUCTOS DE YUCA

Las raíces de yuca contienen 60-65% de agua y 35-40% de materia seca; debido al elevado contenido de humedad, las raíces se deterioran rápidamente después de ser cosechadas y deben ser procesadas (ensiladas o secadas) para preservarlas por tiempo prolongado.

Para su uso en alimentación humana, las raíces son peladas, las cáscaras eliminadas y la pulpa (parénquima) es sometida a algún proceso térmico antes de ser consumida. Para su uso en alimentación animal, las raíces completas, incluyendo la cáscara, son picadas en trozos o astillas los cuales pueden ser suministrados como trozos frescos especialmente a cerdos y ganado o pueden ser sometidos al proceso de secado, para convertirlos en trozos secos y luego harina de yuca, o ensilados, para conservarlos por periodos prolongados.

La mejor forma de conservar las raíces de yuca para ser utilizadas en alimentación animal es procesarlas a través de una maquina picadora para obtener trozos, pedazos o astillas, los cuales son luego secados al sol y convertidos en un producto estable con 10-14% de humedad. Los trozos secos pueden ser almacenados como tal o pueden ser peletizados (comprimidos) o molidos para transformarlos en harina. La yuca seca molida o harina es la que se emplea como ingrediente para la preparación de alimentos balanceados para animales domésticos. El proceso de secado permite concentrar los nutrientes presentes en las raíces de yuca frescas, especialmente el almidón y al mismo tiempo es uno de los métodos más eficaces para eliminar el cianuro presente en la yuca.

Las hojas y el follaje (hojas y tallos tiernos) de yuca secados al sol o con calor artificial constituyen un alimento proteico cuya composición química es similar o superior al heno de alfalfa secado al sol. Además, algunas variedades de yuca pueden sembrarse en mayor densidad (número de plantas por hectárea) a distanciamientos cortos para producir forraje de corte que puede ser utilizado especialmente para alimentación de rumiantes. El follaje de yuca (hojas y tallos tiernos) contiene normalmente mayor cantidad de proteína que la yuca forrajera. El potencial de uso de las hojas y del follaje de yuca así como la producción de yuca forrajera representa áreas de investigación primarias para lograr la utilización integral del cultivo, sobre las cuales existe relativamente poca información.

En resumen, los procesos normales a los cuales son sometidas las raíces de yuca para alimentación animal, secado o ensilaje, constituyen medios eficientes para reducir la cantidad de cianuro a niveles inocuos para los animales. Debe anotarse, sin embargo, que los trozos de raíces frescas de variedades con altos contenidos de cianuro no son consumidos por los

cerdos y por tanto retardan su crecimiento; en cambio, raíces frescas de variedades con bajo contenido de cianuro son ávidamente consumidas y constituyen una excelente fuente de carbohidratos. Por tanto, las raíces de variedades con altos contenidos de cianuro deben se ser procesadas, para eliminar la mayor parte del cianuro y poder ser eficientemente utilizadas por los animales domésticos.

5.2 UTILIZACION DE LA YUCA EN ALIMENTACION DE AVES

En la mayoría de los países tropicales de América latina, la industria avícola es el sector pecuario que consume la mayor proporción (60-70%) de los alimentos balanceados. Por tanto, constituye el sector potencial más importante para utilizar la yuca en la alimentación animal.

Existe abundante información en la literatura sobre el uso de la harina de yuca en alimentación de aves, tanto para pollos de engorde como para gallinas ponedoras. La mayoría de la información se refiere al uso de harina de raíces de yuca y en menor proporción al empleo de harina de hojas de yuca.

Se puede observar una gran variedad y falta de consistencia en lo referente a los niveles de harina de yuca recomendados para pollos de engorde. Algunos trabajos sugieren 10% de harina de yuca para dietas del periodo de iniciación (0-4 semanas) y 20% para dietas del periodo de finalización (4-6-8 semanas).

5.3 UTILIZACIÓN DE LA YUCA EN ALIMENTACIÓN PORCINA

En América latina, el grado de tecnificación de la explotación porcina es muy bajo, en términos generales, comparado con el de la avicultura y a menudo se trata de explotaciones a nivel de subsistencia, las cuales no emplean alimentos balanceados. Sin embargo, durante las dos últimas décadas se han apreciado tendencias y planes de producción porcina a nivel comercial en varios países latinoamericanos tales como Brasil, México, Cuba, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. La carne de cerdo en muchos países de la región es la segunda en orden de importancia del consumo total de carne por habitante, después de la carne de res. Una creciente demanda de alimentos balanceados para cerdos implicaría una mayor importancia de la producción de yuca para fines de alimentación animal como un producto nativo de las regiones tropicales que puede satisfactoriamente sustituir en gran parte los granos de cereales.

La mayor información sobre utilización de yuca en alimentación animal es la que se refiere a la producción porcina, debido principalmente a la versatilidad de esta especie para consumir raíces de yucas frescas, ensiladas, harina de yuca e inclusive hojas de yuca.

Tanto las raíces de yuca fresca como ensiladas requieren de un suplemento que aporte las proteínas, minerales y las vitaminas necesarios para obtener una ración balanceada; en inadecuado o deficiente aporte de estos nutrientes producirá rendimientos pobres y antieconómicos. Este tipo de suplemento pude suministrarse separado de las raíces frescas de yuca, o de las raíces ensiladas, o puede mezclarse con ellas; sin embargo, debido al alto contenido de humedad de las raíces hay que tener cuidado en obtener una mezcla uniforme del suplemento con los trozos de las raíces.

En lo posible, para evitar este problema, se aconseja suministrar el suplemento por separado en forma restringida, pero en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos.

Algunos aspectos adicionales que merecen atención especial son los siguientes: la suplementación de metionina en raciones a base de harina de yuca; la preferencia de los animales, especialmente lechones, por las dietas con altos niveles de harina de yuca; la posibilidad de utilizar insumos de regiones tropicales como melaza de caña para combinarla con raciones a base de harina de yuca; y el empleo de formulación de dietas de costo mínimo.

5.4 UTILIZACIÓN DE YUCA EN ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES.

Debido a su composición química, el uso más adecuado de las raíces de yuca y de sus productos derivados es en la alimentación de no-rumiantes, especialmente aves y cerdos. Por otro lado, la disponibilidad de vastas extensiones para producción de pastos hace que la explotación de ganado lechero y de carne, en gran parte de las regiones de América latina, se realice en un sistema extensivo de pastoreo. Sin embargo, la tendencia en ciertas áreas a los sistemas intensivos de producción, especialmente para ganado lechero, permite considerar el empleo de productos derivados de la yuca en la alimentación de rumiantes.

Aunque la harina de raíces de yuca podría emplearse en la alimentación de terneros y en los suplementos para vacas lecheras de alta producción, uno de los potenciales del cultivo de la yuca para alimentación de rumiantes reside en la utilización de las hojas o follaje (hojas y tallos tiernos) de plantas sembradas para la producción de raíces.

Estas partes de las plantas serian prácticamente un subproducto del cultivo de la yuca. Dependiendo de la parte de la planta que se aproveche, su composición química variara considerablemente. Si solamente se utilizaran las hojas, el contenido de proteína seria del orden de 23-28% en base seca, pero si se incluyen los pecíolos y las ramas verdes apicales el contenido se reduciría a 18-21% de proteína; una relación inversa se apreciaría en el contenido de fibra que suele ser de alrededor de 9% para hojas solas, pero que aumenta a 20-25% cuando se incorpora toda la parte verde superior de la planta. La recolección de hojas solas demanda mucha mano de obra y la producción total de hojas varia considerablemente entre las diferentes variedades de yuca y puede ser afectada por factores climáticos (especialmente precipitación), edáficos y por ataque de plagas y enfermedades.

El forraje de yuca tiene un alto valor alimenticio para rumiantes. Harina de forraje de yuca utilizada para alimentar vacas lecheras ha demostrado tener un valor nutricional casi igual al del heno de alfalfa. Combinaciones de 75-25% y 50-50% de pasto elefante y forraje de yuca fresco, respectivamente, produjeron mejores ganancias de peso en novillos de engorde que cuando se uso solamente pasto elefante y estos resultados fueron producidos principalmente por el nivel proteico aportado por el forraje de yuca. La posibilidad de ensilar el forraje de yuca puede aumentar aun más su potencial de uso en explotaciones de ganadería intensiva.

6. USO AGROINDUSTRIAL DE LA YUCA

6.1 CONSUMIDORES INDUSTRIALES POTENCIALES

Los almidones se obtienen actualmente en muchos países partiendo de materias primas amiláceas muy diversas, tales como: trigo, cebada, maíz, arroz, papas, batatas, yuca, maíz céreo, entre otros. Aunque tienen reacciones químicas similares y suelen ser intercambiables, los almidones de diferentes procedencias tienen estructuras granulares distintas que influyen en sus propiedades físicas.

El almidón y los productos amiláceos se usan en muchas industrias alimentarías y no alimentarías, así como en calidad de materias primas químicas para otras muchas aplicaciones, por ejemplo, plásticos, curtido de pieles y otras. El uso no alimentario de almidones, como en revestimientos, adhesivos y colas, representa aproximadamente, el 75% de la producción de la industria del almidón comercial.

6.2 INDUSTRIAS NO ALIMENTARIAS

A continuación se indican algunas de las aplicaciones mas importantes de dextrinas de las industrias no alimentarías.

6.2.1 Industria papelera. En las industrias de papel y cartón se usa almidón en grandes cantidades en tres puntos de su proceso de elaboración:

- En el extremo húmedo donde la fibra celulósica básica se bate (pulpers) hasta dar una pulpa adecuada para aumentar la fuerza del papel terminado y conseguir cuerpo y resistencia a la aspereza y plegado (almidones catiónicos);

- En la prensa de encolado, en cuya fase la hoja del papel o cartón se ha formado y secado parcialmente. El almidón (generalmente oxidado o modificado) se suele añadir a uno o ambos lados de la hoja de papel o cartón que se ha secado parcialmente para mejorar el acabado, el aspecto, la resistencia y las propiedades de impresión del papel.

- En la operación de revestimiento, cuando se necesita un revestimiento de pigmento para el papel el almidón actúa como agente de revestimiento y como adhesivo.

Una nueva e importante aplicación de almidón de yuca se lleva a efecto en la maquina de estucar papel de revistas, que anteriormente se hacia exclusivamente en base de caseína. Parece ser que la yuca es especialmente adecuada para esta finalidad; Pero todavía no se han formulado las especificaciones concretas que debe reunir el almidón en este caso.

6.2.2 Fabricación de cartón ondulado o corrugado. La mayor utilización de dextrinas se encuentra en la industria del cartón corrugado, que incluye la fabricación de cartones, cajas y otros envases. Las capas de cartón se encolan juntas por medio de una suspensión de almidón bruto en una solución deforma gelatinizada. El cartón se prensa entre rodillos calientes que efectúan la gelatinización del almidón bruto, dando una adhesión muy fuerte.

6.2.3 Perforación de pozos petroleros. Almidones y almidones modificados mezclados con arcilla se usan para dar la viscosidad correcta y la capacidad de retención de agua en taladros para perforar pozos de petróleo o de agua. Estos productos amiláceos están sustituyendo a otros productos comerciales para hacer los materiales fangosos (lodo) indispensables para la perforación de pozos. Para este fin, conviene un almidón pregelatinizado soluble en agua fría, que pueda trabajarse hasta dar un engrudo que tenga la concentración necesaria en el sitio.

6.2.4 Industria de la fundición. El almidón se usa como adhesivo, revistiendo los granos de arena y pegándolos entre si en la fabricación de núcleos que se colocan en moldes en la manufactura de coladas para metales.

6.2.5 Industria textil. En la industria textil, los almidones ocupan un lugar importante en operaciones tales como encolado de urdimbre, aprestado y estampado de tejidos. El encolado de urdimbre consiste en la aplicación de un revestimiento protectivo para impedir que se desintegren las fibras individuales durante la tejedura. Esta cola esta constituida por un adhesivo y un lubricante y, generalmente, se elimina después de tejer. El aprestado altera el tacto de la tela, haciéndola mas fuerte, dura y pesada. El almidón de yuca se usa también para estampados de tejidos o para producir ciertos diseños en varios colores sobre al superficie lisa de un tejido acabado.

6.2.6 Industria de gomas para el rehumedecimiento. Son adhesivos que se aplican en forma de capa sobre la superficie y se secan, y que el usuario moja antes de aplicar una segunda superficie, por ejemplo, en el caso de los sellos de correos y los sobres. Las dextrinas de yuca en solución acuosa son muy adecuadas para este fin.

6.2.7 Industria de la glucosa. La fabricación comercial de azucares de glucosa a partir de almidón empezó durante las guerras napoleónicas con Inglaterra, cuando los suministros de sacarosa quedaron cortados de Francia por el bloqueo marítimo, pero en los Estados unidos se hicieron rápidos progresos en su fabricación a mediados del siglo XIX.

En la actualidad, la glucosa se suele fabricar en forma de jarabe o de un sólido, y las propiedades físicas del jarabe varían según el equivalente de dextrosa (ED) y el método que se haya seguido en la fabricación. El equivalente de dextrosa es el total de azucares reductores expresado como dextrosa y calculado como porcentaje del total de sustancia seca. La glucosa es el nombre corriente para el jarabe y la dextrosa para el azúcar sólido. La dextrosa, que a veces se llama también azúcar de uva, es la D-glucosa obtenida por la hidrólisis completa del almidón.

6.2.8 Hidrólisis del almidón. Hay dos métodos para la hidrólisis del almidón que se emplean actualmente para la fabricación de glucosa en escala comercial: hidrólisis ácida e hidrólisis ácida parcial, seguida de una conversión enzimática. El empleo de enzimas da como resultado valores de ED (equivalente de dextrosa que llega hasta 98-99%, lo cual significa mayor rendimiento de dextrosa a partir del almidón, o conversión casi completa de almidón en dextrosa). Sin embargo, cuando se utiliza ácido como agente hidrolizante, el ED del licor de conversión llega solo al 92%, aproximadamente, por que tiene lugar un cierto grado de poli condensación y se pierde parte del rendimiento de dextrosa debido a la acidez y las altas temperaturas que se necesitan para la conversión.

6.2.9 Producción de dextrosa. En la actualidad, la mayor parte de la dextrosa comercial se prepara en forma de dextrosa monohidrato puro, por un proceso de combinación ácido-enzima. El jarabe espeso caliente de glucosa, de una concentración de 70-80% de dextrosa, pasa desde el

evaporador a pailas de cristalización. La formación de cristales se controla principalmente por la cantidad de dextrina que queda con la glucosa. La separación de cristales del jarabe se realiza en centrifugas y las impurezas se quedan en el licor madre. La dextrosa cristalina se seca luego en secadores rotatorios de aire caliente en vació y luego se ensaca en materiales impermeables a la humedad.

La recristalizacion de dextrosa de prácticamente 100% de dextrosa pura en cristales, que se utilizan como azúcar de calidad farmacéutica.

El almidón empleado en la fabricación de jarabe de glucosa tiene que ser lo mas puro posible, con un bajo contenido de proteína, particularmente de proteína soluble. A este respecto, el almidón de yuca es preferible a otros almidones.

6.2.10 Industria de la conversión del almidón. La industria de la conversión de almidón (glucosa y dextrosa) es el mayor consumidor independiente de almidón, consumiendo alrededor del 60% del total d la producción. El jarabe de glucosa y la dextrosa cristalina compiten con la sacarosa y se usa en grandes cantidades en la industria de frutasen conserva, confitería, compotas, jaleas, mermeladas, mantecados, helados, productos de panadería, productos farmacéuticos, bebidas y fermentaciones alcohólicas.

El objetivo funcional de la glucosa y la dextrosa en la industria de la confitería es impedir la cristalización de la sacarosa; en la industria de los productos de panadería, suministrar carbohidratos fermentables; en las conservas de frutas y mantecados- helados e industrias similares, aumentar los sólidos sin causar un incremento indebido en el dulzor total, aumentando así el aroma natural de la fruta, y también prevenir la formación de grandes cristales de hielo que destruyen la textura suave.

6.2.11 Industria farmacéutica. En la industria farmacéutica se utilizan la dextrosa y el almidón en forma directa, ya sea como suero o edulcorante en el caso del primero, o como el gel de las píldoras, en el segundo.

6.3 INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.

En las industrias alimentarías se usa almidón sin modificar, almidón modificado y glucosa para una o más de los siguientes fines:

A. Directamente como alimento amiláceo cocinado, flanes y otras formas;
B. Espesante: aprovechando las propiedades pastosas del almidón (sopas, alimentos para bebes, salsas etc.);
C. Carga: contribuyendo al contenido de sopas, píldoras, tabletas y otros productos farmacéuticos, mantecados- helados, etc.;
D. Aglutinante: adhesión de los productos y prevención del secado de la masa durante el cocinado (en salchichas y carnes elaboradas);
E. Estabilizador: utilizando la elevada capacidad de retención del agua del almidón (mantecados-helados).

6.3.1 Industria de jarabe de fructosa. Este es un sustituto del azúcar, creado a partir de amiláceas tales como el maíz y la yuca con el fin de ser utilizado industrialmente en los Estados Unidos, principalmente en la industria de refrescos y colas.

Una vez que la glucosa ha sido obtenida por hidrólisis, otros izo azucares pueden ser producidos a voluntad. En el caso de que el 50% de una glucosa hidrolizada fuera isomerizada, se obtendría un producto con el poder edulcorante equivalente al de la sacarosa, mas con todas las características de la miel, lo que es una mezcla equiproporcional de glucosa invertida y fructosa.

6.3.2 Producción de caramelo comercial. El caramelo, en calidad de agente colorante para alimentos, dulces y licores, se obtiene en gran parte a partir de glucosa, en vez de sacarosa, ya que su costo es menor. Si se calientan solo azúcar invertido, dextrosa o glucosa, se forma una sustancia que se usa con fines aromatizantes, pero, si se calientan en presencia de ciertos catalizadores, aumenta mucho la coloración, y se obtienen productos de color más oscuro.

6.3.3 Productos de panadería. El almidón se emplea en la fabricación de galletas para aumentar su propiedad de extenderse y crujir. El uso de la dextrosa en ciertas clases de pan fermentado con levadura y productos de panificación tiene ciertas ventajas, ya que esta fácilmente disponible para la levadura, y la fermentación resultante es rápida y completa. También da un color pardo dorado a la corteza y un periodo de conservación mas prolongado.

6.3.4 Confitería. Además del amplio empleo de dextrosa y jarabe de glucosa como agentes edulcorantes en confitería, el almidón y los almidones modificados se utilizan también en la fabricación de varios tipos de dulces, tales como grageas gelatinosas, “toffes” gomas blandas y duras, dulces hervidos duros, “fondants” y delicias turcas. El almidón se emplea principalmente en la manufactura de gomas, pastas y otros tipos de dulces como ingredientes de confitería.

6.3.5 Conservas de frutas, compotas y mermeladas. Entre los procesos de estas industrias, pueden citarse la sustitución parcial de la sacarosa por la dextrosa o el jarabe de glucosa exento de dióxido de azufre. Esto ayuda a mantener el porcentaje deseado de sólidos en el producto sin dar un dulzor excesivo y aumentando el sabor natural de la fruta. Por otra parte se disminuye la tendencia a la cristalización de los azucares.

7. ALTERNATIVAS DE DISEÑO Y SELECCIÓN

En el desarrollo del proyecto, se realizaron diferentes propuestas de solución al problema inicialmente planteado, mejorar la calidad del almidón debido a los métodos artesanales, los cuales esta creando que pequeñas microempresas tiendan a desaparecer. Después de una buena documentación se han planteado una serie de alternativas para la etapa del lavado-pelado y al igual otras para la etapa del rallado; a continuación se presentan cada una de ellas.

7.1 LAVADO-PELADO.

Una vez identificados los parámetros y requerimientos de esta primera etapa del diseño se plantearon las siguientes alternativas.

Alternativa No.1

Inicialmente se hicieron unos bosquejos preliminares utilizando elementos muy comerciales y de fácil adquisición en el mercado, y se construyó un prototipo utilizando cepillos de brilladora comúnmente encontrados, estos eran elementos circulares con cerdas de nylon, se le hizo una adaptación especial para ponerlas en funcionamiento, y así girarlos a altas velocidades en donde se obtuvo un bajo resultado, pues a las raíces de yuca era muy poca la cascarilla que se le quitaba, con este método se optó por cambiar las cerdas finas por gruesas en donde el resultado fue muy similar, además su baja eficiencia pues el proceso era raíz por raíz. (Ver figura 12).

Figura 12. Cepillos de nylon

Ventajas:

- Fácil adquisición de cada uno de estos cepillos en el mercado, además es un producto de bajo costo.

Desventajas:

- Bajo rendimiento, pues el pelado es raíz por raíz más no en grandes cantidades.
- Para hacer de este método eficaz, el montaje se vuelve complicado y de difícil mantenimiento.
- El pelado es ineficiente puesto que las raíces de yuca quedan con demasiada cascarilla.
- Al estar permanentemente los cepillos en contacto con el agua hacen que su vida útil sea muy corta.

Alternativa No. 2

Seguidamente se probó un pelado con cepillos cilíndricos de cerdas metálicas dispuestos en un banco apropiadamente y al igual los resultados no fueron los esperados, aquí ocurría desgaste apresurado de las cerdas desbaratándose estos totalmente, pues no estaban diseñados para girar a altas velocidades, aunque limpiaba las raíces eficientemente, pero este se descartó debido a que el cepillo durante el corto funcionamiento se fue destruyendo. (Ver figura 13).

Figura 13. Montaje con cepillo metálico.

Ventajas:

- Buen rendimiento en el pelado, contribuyendo de esta manera en la calidad del almidón.
- Una vez montado es de mantenimiento sencillo, el cual se puede realizar en corto tiempo y con poca herramienta.
- Componentes fáciles de conseguir en el mercado local además presentan un bajo costo.

Desventajas:

- La vida útil del cepillo es muy corta ya que su diseño no permite operarlos a altas velocidades.
- El material del cual están hechos no es apto para trabajar con alimentos, pues al menor contacto con agua estos se oxidan.
- Debido a su tamaño no permite realizar un sistema compacto de fácil movilidad.
- En el mercado no se encuentran cepillos hechos en aceros inoxidables, y los pocos existentes tiene un elevado costo.

Alternativa No. 3.

También se elaboraron modelos con recipientes metálicos en donde se perforaron sus paredes de una manera distribuida, buscando de esta forma aumentar la fricción con las paredes y el rozamiento de las raíces, aquí se dispuso de una variedad de agujeros de diferentes diámetros (circulares, romboidales, etc.). Además se le adaptó una manivela dando de esta forma la posibilidad de jugar con las velocidades de giro, de donde se concluían las más aproximadas para mejorar el rendimiento.

Esta alternativa fue buena, pero existió una pequeña falencia ya que el tamaño de los agujero no permitía la salida fácil de cascarilla. (Ver figura 14).

Figura 14. Alternativa 3 y su resultado.

Continuando con el principio anterior y buscando siempre aumentar la fricción de las raíces de yuca con las paredes del recipiente, se procedió a adicionársele al interior de este tiras de carborundum (lija de agua), dando mejores resultados, pero se continuaba con la falencia de la salida de la cascarilla. (Ver figura 15).

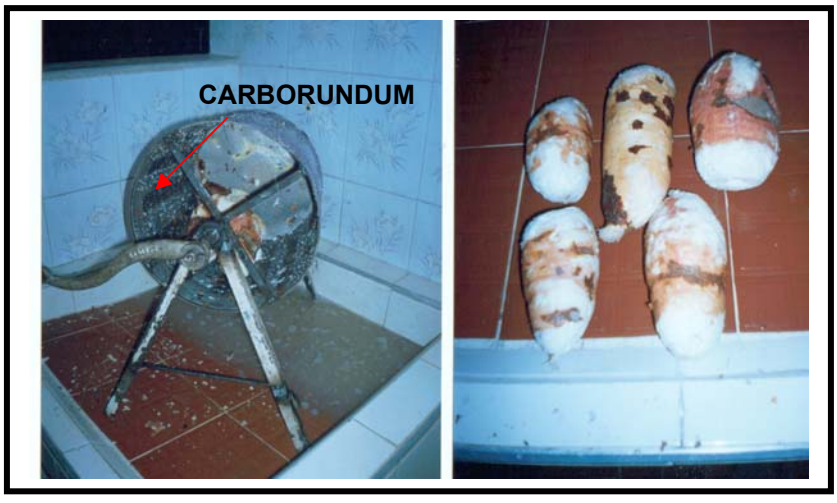


Figura 15. Recipiente con tiras de carborundum y su resultado

Ventajas:

- Sistema sencillo y de fácil traslado.
- Mantenimiento de bajo costo.
- Permite que el lavado y pelado sea en grandes cantidades.
- El cargue y descargue se realiza con facilidad.

Desventajas:

- El principal problema que se presenta en esta alternativa es la oxidación del recipiente en corto tiempo.

Alternativa No.4

Debido a esto se procedió a elaborar un recipiente cilíndrico cuyas paredes fueran de malla de alambre, aquí se dispuso de una diversa gama de mallas en donde los mejores resultados los arrojó la malla preondular, se obtuvo los resultados esperados, además el proceso pelaba grandes cantidades de raíces de yuca en poco tiempo y no presentaba inconvenientes en cuanto a la salida de agua.

Al igual que con las alternativas anteriores, a este sistema se le adaptó una manivela, buscando de esta manera llegar a una velocidad mas aproximada en donde los resultados fueran los esperados. Además el adecuado espaciamiento entre alambre y alambre permitía el desalojo de cascarilla, tierra, y agua que son los elementos que normalmente tiene. En la siguiente figura se puede observar el prototipo en funcionamiento y los resultados obtenidos.

Figura 16. Cilindro en malla preondular y resultados.

Ventajas:

- Es el sistema que mejor comportamiento presenta, las ondulaciones de los alambres permiten que las raíces queden mejor lavadas y peladas.

Desventajas

- Se presenta corrosión debido al contacto permanente con agua.
- La falta de rigidez de la malla, hace la necesidad de utilizar travesaños longitudinales, para evitar durante el funcionamiento que la malla se desforme lo cual incrementaría los costos.

7.2 RALLADO.

Respectivamente con la etapa de rallado se realizaron las siguientes alternativas:

Alternativa No.1

Inicialmente se utilizó una maquina de moler convencional en donde se le adaptó un disco rallador, buscando que primero las raíces de yuca fueran molidas, luego ralladas. Los resultados no fueron los esperados la yuca era triturada pero el rallo no rompía el almidón encapsulado.

Ventajas:

- La principal ventaja de este montaje es el bajo costo

Desventajas:

- Bajo rendimiento, debido a la lentitud y repetición del proceso, buscando el buen resultado.
- La eficiencia de la maquina es muy baja.

Alternativa No.2

Continuando con el principio antes descrito se elaboró un tornillo transportador con su respectiva tolva de alimentación, aquí las raíces eran recibidas y transportadas, su movimiento se suministraba de forma manual a través de una manivela (solo para pruebas) en una camisa cilíndrica en donde finalmente era rallado por un disco dispuesto apropiadamente y movido por un motor eléctrico arrojando la masa a un recipiente de descarga, su resultado no fue bueno, pues presionaba demasiado la masa al final del tornillo y lo que hacia era exprimirla y el objetivo no era ese, pues de esta manera se impedía el rallado.

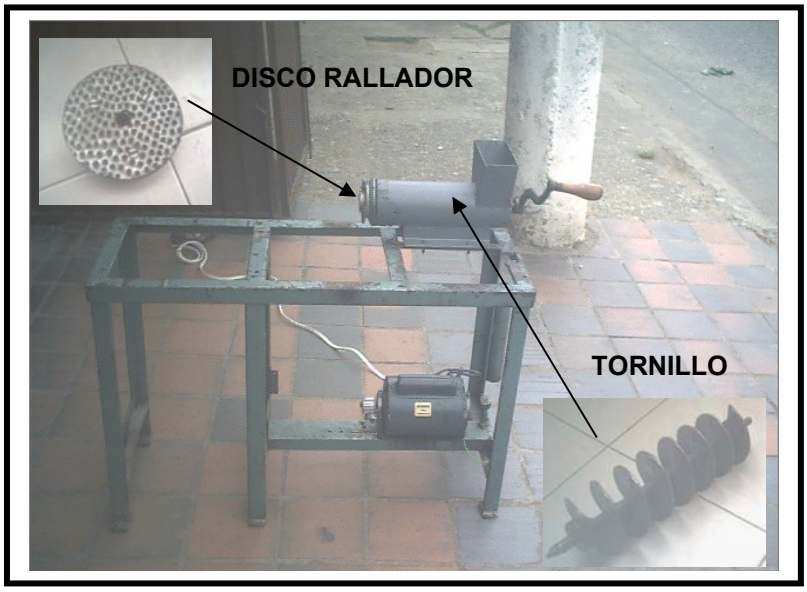


Figura 17. Tornillo Transportador.

Ventajas:

- La disposición es sencilla y de fácil manejo.

Desventajas:

- Bajo rendimiento durante el rallado.
- Presenta atascamiento durante la operación.
- Maltrata las raíces exprimiéndolas e impidiendo que se trasladen hacia el rallo para el corte de los gránulos encapsulados.

Alternativa No.3

Finalmente se optó por una disposición con gratas metálicas, se probó con una sola girando a altas velocidades obteniendo muy buenos resultados físicos y químicos, puesto que la masa se precipitaba casi de forma instantánea al ser mezclada con agua, cosa que no ocurría con los métodos artesanales utilizados, ya que se necesitaban casi 8 horas para su precipitación, por consiguiente este procedimiento se ajusta a la necesidad para su posterior diseño y ejecución.

Ventajas:

- Precipitación en corto tiempo superando el obtenido mediante otros métodos.
- Buen rendimiento, resultando un gran porcentaje real de almidón.
- Su montaje es muy sencillo
- El mantenimiento requiere menos tiempo y de fácil realización.

Desventajas:

- La principal desventaja de este sistema es el elevado costo, las pruebas realizadas fueron con gratas metálicas, pero se deben montar con gratas de acero inoxidable evitando de esta manera la contaminación por óxidos del producto final.

7.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA.

Con todas las pruebas antes descritas se optó por el siguiente diseño, lavado pelado: ***alternativa No. 4***, y rallado: ***alternativa No. 3***. Entonces se construirá una máquina sencilla de fácil manejo, traslado y conexión eléctrica en las viviendas rurales con materiales de buena calidad, está provista de un cilindro metálico fabricado en una malla especial, este rota a una velocidad baja, en donde las raíces de yuca giran y se friccionan entre si y con las paredes de la malla.
Además por el interior del cilindro fluyen chorros de agua, a través del eje perforado facilitando y garantizando de esta manera la limpieza y extracción de todos los residuos (cascarilla y tierra).

La etapa de rallado está provista de una serie de gratas de acero inoxidable dispuestas uniformemente separadas por pequeños discos y giran en conjunto a altas velocidades, la masa rallada se desliza sobre las paredes de una tolva hecha del mismo material para finalmente ser recogida en un recipiente, además a este sistema se le instalará un mecanismo de retorno rápido, el cual ayuda a aumentar rendimiento durante la operaron del rallado; es comúnmente usado para operaciones repetitivas tales como empujar piezas a lo largo de una línea de montaje, evitando desperdicios de tiempo valiosos en donde se mueve con mayor rapidez durante la carrera de retorno que en la de trabajo.

8. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA

8.1 DESCRIPCIÓN.

La máquina diseñada es un conjunto de elementos diversos dispuestos de una manera apropiada para la ejecución de unas tareas: lavar, pelar y rallar raíces de yuca para la obtención de almidón sin importar su variedad y el tamaño de las mismas. (Ver figura 18).

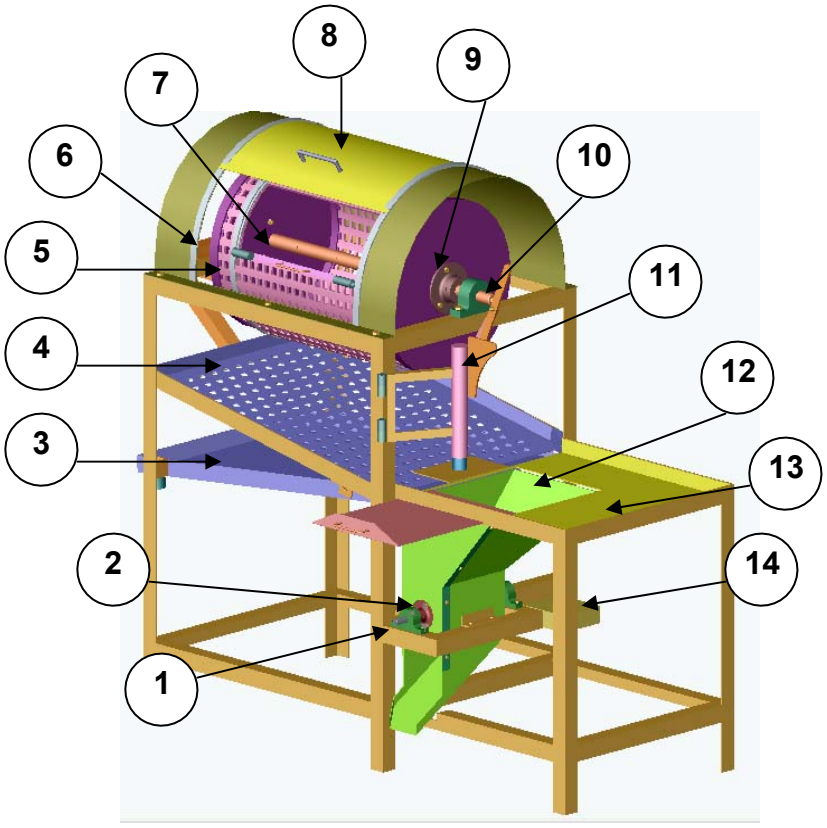


Figura 18. Vista General de la Máquina

Debido a la función para la cual esta fue diseñada; la máquina se ha dividido en subsistemas en donde cada uno de ellos está encargado de realizar unos trabajos específicos. Los subsistemas y cada uno de los componentes se describen a continuación:

Subsistema de Lavado: Es el encargado de eliminar la tierra y contribuir al pelado de las raíces de yuca, esta conformado por los siguientes elementos:

Tabla No.1 Elementos del subsistema de lavado

NUMERO	ELEMENTO	OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO
7	Barra de acero inoxidable	A través de este el agua es introducida por uno de sus extremos y su salida se realiza por un número determinado de agujeros que se cortan a lo largo del eje, permitiendo de esta manera un eficiente lavado de las raíces de yuca y a su vez contribuir a la operación del pelado. El extremo opuesto del eje se encuentra sellado.
10	Acople rápido	Es el elemento encargado de permitir la conexión del eje en movimiento con las mangueras de suministro de agua.

Subsistema de Pelado: Es el principal sistema de la máquina; es el elemento encargado de quitarle la cascarilla a las raíces de yuca y entregarlas ya peladas para la siguiente operación de rallado. Este subsistema esta conformado por los elementos descritos a continuación:

Tabla No.2 Elementos del subsistema de pelado

NUMERO	ELEMENTO	OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO
3	Bandeja de recolección	Esta dispuesto de manera que permita la recolección de agua con tierra, cascarilla y otros elementos extraños presentes durante la etapa del lavado y pelado de las raíces.
4	Bandeja de recepción	Elemento cuyo fin es la de recibir la cascarilla durante la operación del pelado y además es aquí en donde descargan las raíces ya peladas y se trasladan a la siguiente etapa de rallado.
5	Tambor	Está conformado por una malla especial, la cual hace que sus paredes de forma preondular se friccione con la corteza de las raíces de yuca, eliminado de esta manera el parénquima exterior. Además, posee una compuerta en forma de corredera deslizante que permite el descargue y cargue de la misma.

8	Guarda de protección	Utilizado por seguridad industrial durante la operación de pelado, con el fin de evitar accidentes durante su funcionamiento, además también se evita la salpicadura durante su funcionamiento, esta provista de una tapa de corredera.

Subsistema de rallado: Es el conjunto de elementos utilizados para rallar las raíces de yuca ya peladas y de esta manera convertirlas en una masa homogénea, los partes que la conforman son las siguientes:

Tabla No. 3 Elementos del subsistema de rallado

NUMERO	ELEMENTO	OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO
1	Gratas	Posee 16 gratas de acero inoxidable, dispuestas intercaladamente con unos discos del mismo material, limitando de esta forma la longitud de trabajo de la grata.
11	Mecanismo	Es de retorno rápido utilizado para realizar operaciones repetitivas tales como empujar piezas, y de esta manera evitar desperdicios de tiempo valiosos para efectuar el rallado.

12	Tolva de alimentación	Es la encargada de recibir las raíces de yuca, es en este lugar en donde se efectúa la operación del rallado, además posee una tapa que protege cada uno de los aditamentos.
13	Bandeja de inspección	Por medio de esta se corrobora la eficiencia del pelado antes de iniciar la operación del rallado.

Subsistema de transmisión de potencia: Es el conjunto de elementos utilizados para proporcionar la energía motriz a la maquina, hacen parte de este subsistema las siguientes partes:

Tabla No.4 Elementos del subsistema de transmisión de potencia

NUMERO	ELEMENTO	OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO
2	Brida para la ralladora	Permite la transmisión del torque del motor eléctrico al conjunto de gratas para efectuar la operación del rallado.
6	Motorreductor	Fuente de potencia para el tambor, posee un sistema de control on-off.
9	Brida para el tambor	Es el dispositivo utilizado para transmitir la potencia del motorreductor al tambor.
14	Motor eléctrico	Encargado del suministro energético motriz para poner en funcionamiento la ralladora.

8.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE LAVADO

8.2.1 Selección del diámetro de los agujeros. Los criterios utilizados para seleccionar el diámetro de los agujeros se basaron en datos experimentales tomados durante el desarrollo del proyecto.

8.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE PELADO.

8.3.1 Selección de la malla para el tambor. Para la selección de este elemento nos basamos en pruebas realizadas durante el desarrollo del proyecto; partimos de tipos convencionales de mallas, buscando siempre la que nos diera mayor eficiencia y además teniendo en cuenta factores tan importantes como la economía y la fácil consecución en el mercado.

Por tal razón después de haber realizado con un número considerable de pruebas con diferentes elementos tal como cepillos, con diferentes tipos de cerdas, (metálicas y de nylon) recipientes abrasivos, y con diversas mallas existentes en el mercado, se optó por la selección de dicha malla especial, ***VENA 8.*** Este tipo de malla especial tiene unas salientes filosas, las cuales permite la fricción de esta con las raíces de yuca, y su adecuado espaciamiento permite la salida de la cascarilla y agua utilizada durante el lavado, la cual tendrá 700mm de longitud y un diámetro de 250 mm.

8.3.2 Cálculo de la Potencia. Para la selección del motor de la maquina se deben tener en cuenta dos factores importantes, el torque inercial y el torque de operación. El primero es el necesario para vencer el propio peso de la máquina, es decir el de cada uno de los componentes de esta, el segundo torque es el que se necesita para que las raíces de yuca giren y se friccione con las paredes del tambor y se cumpla la función para la cual fue diseñada.

8.3.2.1 Cálculo del torque inercial. Este valor esta determinado por el producto de la inercia total del sistema y la aceleración angular.

8.3.2.1.1 Determinación de la inercia. Esta definida como la resistencia que un cuerpo en rotación opone al cambio de su velocidad de giro. A veces se denomina inercia rotacional. El momento de inercia desempeña en la rotación un papel equivalente al de la masa en el movimiento lineal.

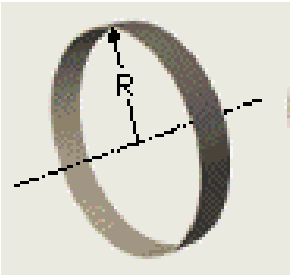
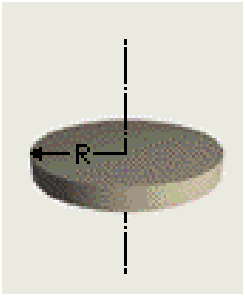
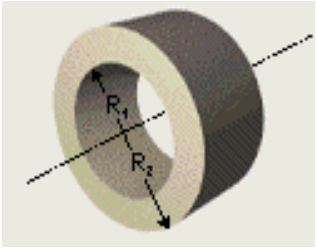
El momento de inercia de un objeto depende de su masa y de la distancia de la masa al eje de rotación. El momento de inercia de un cuerpo no es una cantidad única y fija. Si se rota el objeto en torno a un eje distinto, en general tendrá un momento de inercia diferente, puesto que la distribución de su masa en relación al nuevo eje es normalmente distinta.

Las leyes del movimiento de los objetos en rotación son equivalentes a las leyes del movimiento de los objetos que se mueven linealmente (el momento de inercia sustituye a la masa, la velocidad angular a la velocidad lineal).

Cuando los elementos no son figuras planas sino sólidos continuos, el cálculo de su momento de inercia requiere la aplicación de la ecuación (1). Sin embargo, resulta conveniente tener una tabla -lo más extensa posible- de momentos de inercia de aquellos sólidos que aparecen más frecuentemente en los ejercicios sobre dinámica de rotación. Esto evita tener que realizar el cálculo cada vez que aparece uno determinado.

$$\int_{Ro}^{R1} r * dm \qquad (1)$$

Tabla 5. Momentos de inercia

FIGURA	FÓRMULA
 **ANILLO**	$I = mR^2$
 **DISCO SÓLIDO**	$I = \frac{1}{2} * mR^2$
 **CILINDRO HUECO**	$I = \frac{1}{2} * m * (R_1^2 + R_2^2)$

Fuente: BEER. Mecánica vectorial para Ingenieros, sexta edición. España: Mc Graw Hill, 1998.1325 p

- **Cálculo de la inercia de la malla del tambor.** Para los cálculos hemos tenido en cuenta datos experimentales y algunas dimensiones realizadas por nosotros durante el desarrollo del proyecto, las cuales las hemos asumido como datos, tales como velocidad angular, diámetro, longitud del tambor y de la ralladora.

El tambor está hecho de una malla especial de aleación de hierro fundida ASTM-A-197 (VENA 8).

Para el cálculo de esta inercia se ha considerado al tambor como un cilindro de pared delgada, en donde:

$$I = mR^2 \qquad (2)$$

Reemplazando los valores se obtiene: $I = 1.5Kg * m^2$

- **Cálculo de la inercia de las tapas.** Para este cálculo se utiliza en todos los casos la ecuación (2):

  $I = 0.544Kg * m^2$

  Pero como son 2 tapas entonces se tiene el siguiente valor de la inercia:

  $I_{2T} =$ Inercia de las 2 tapas

  $I_{2T} = 1.084Kg * m^2$

- **Cálculo de la inercia de las bridas.** Para este cálculo se dividió la brida en volúmenes para su mejor determinación.

$I_B = 7.17 * 10^{-4} Kg * m^2$

Además el tambor está conformado por dos bridas entonces el valor total de la inercia es:

$I_{2B} = 1.43 * 10^{-3} Kg * m^2$

- **Cálculo de la inercia de la carga.** Por fines conservativos aunque las raíces de yuca no giran totalmente, y su valor de inercia es muy bajo, sin embargo se va a considerar.

  Densidad de las raíces de yuca = 1120 Kg/m^3

  Para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1}{2} * mR^2 \qquad (3)$$

  Al reemplazar se obtiene el siguiente valor de inercia: $I = 1.09 Kg * m^2$

  $I_T =$ Inercia Total del sistema = $3.65 Kg * m^2$

- **Cálculo de la aceleración angular.** Es una magnitud vectorial que caracteriza la variación de la velocidad angular de un móvil que describe una trayectoria circular o de un sólido rígido que gira alrededor de un eje fijo. Se representa por a y su unidad es rad/seg^{-2}.

  La aceleración angular se define como la derivada del vector velocidad angular respecto al tiempo. Como la derivada de un vector es también un vector, la aceleración angular es un vector, cuyo módulo vale a_t / r, donde a_t es la aceleración lineal tangencial y r es el radio de la

trayectoria circular o la distancia al eje de giro. La dirección de la aceleración angular coincide con la de la velocidad angular, y su sentido depende de si la velocidad angular está creciendo o decreciendo. Si la velocidad angular está creciendo, el sentido de ambas magnitudes coincide, y si la velocidad angular está disminuyendo, sus sentidos son opuestos.

En el caso de la rotación de un sólido alrededor de un eje fijo, la naturaleza vectorial de esta magnitud carece de importancia, ya que si se considera el eje Z como el eje de rotación, la aceleración angular sólo tiene componente z y, por tanto, sólo puede variar de módulo.

Para el cálculo de este no se conoce el tiempo de régimen del motor, y para tomar un valor se realiza un cuadro comparativo partiendo desde valores de tiempos pequeños hasta uno máximo. Con base en pruebas realizadas durante el progreso del proyecto se determinó que la máxima eficiencia se obtenía haciendo girar el tambor a 25 r.p.m, por ende se va utilizar un motorreductor con sinfín corona con m: 90.

Tabla 6. Tiempos de régimen del motor

t	ω	α	I	F.S	$T_{nominal}$	Pot.
(seg.)	(rad./seg.)	(rad./seg^2)	(Kg/m^2)		(N.m)	(HP)
0.5	2.61	5.22	3.65	1.25	23.81	$8.35*10^{-2}$
1	2.61	2.61	3.65	1.25	11.9	$4.1*10^{-2}$
1.5	2.61	1.74	3.65	1.25	7.93	$2.7*10^{-2}$
2	2.61	1.30	3.65	1.25	5.95	$2.08*10^{-2}$
2.5	2.61	1.044	3.65	1.25	4.76	$1.67*10^{-2}$

Como no se conoce el tiempo de régimen del motor y según los cálculos mostrados en la tabla 6 se toma un máximo valor de la aceleración angular con un tiempo de 0.5 segundos.

De manera que:

$T = 23.81$ N*m

Con este valor de torque inercia calculamos la potencia inercial:

Potencia inercial = $Pot_{inercial} = \frac{T_{inercial} * n}{9550}$ = $8.35*10^{-2}$ hp (4)

8.3.2.2 Cálculo del torque de operación. Este valor es el necesario para que el tambor inicie su movimiento con carga. Para su cálculo la carga se ha tomado linealmente distribuida y se ha dividido el tambor en 10 diferenciales, el cual nos queda:

w = peso de la carga = 36.35 Kg

$$T_{operación} = 8.9(N * m) * 10 = 89(N * m)$$

Potencia de pelado = $Pot_{pelado} = \frac{89 * 25}{9550} = 0.31hp$

Por tanto la potencia total es:

$$POT_{Total} = 0.38hp \quad (5)$$

Con base en los cálculos realizados se escoge un motorreductor tipo sin-fin corona con un m: 90 de 3/4 hp, sellado además monofásico garantizando de esta manera la fácil conexión en la zona rural.

8.3.3 Diagrama del eje. El cálculo estático define los siguientes valores:

A_y= 437.12 N; B_y= 437.12 N; C_y= 437.12 N D_y= 437.12 N; T= 21.79 Kg*m

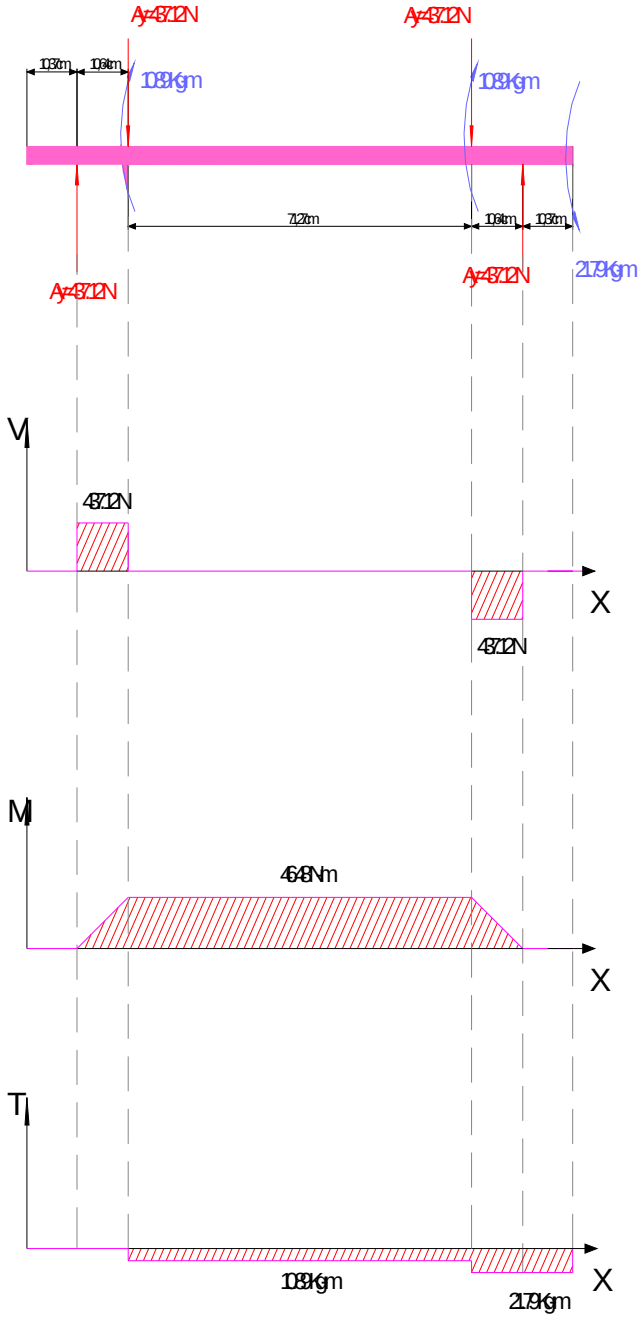


Figura 19. Diagrama de esfuerzos sobre el eje 1

8.3.4. Calculo del diámetro exterior. Se ha escogido un una barra de acero AISI 304L de perforación, partimos de una de 20 mm de diámetro interno y vamos a determinar su diámetro externo.

$$Su = 5976\, Kg - f \diagup cm^2$$

Tipo de carga: flexión rotativa.

Partiendo de la ecuación de Goodman modificada se tiene:

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{\sigma_m}{S_u} + \frac{K_f * \sigma_a}{S_n} \right)^2 + 3\left(\frac{\tau_m}{S_u} + \frac{K_{fs} * \tau_a}{S_n} \right)^2 \right]^{1/2} \qquad (6)$$

De la ecuación anterior: $\frac{\sigma_m}{S_u} = 0$ y $\frac{K_{fs} * \tau_a}{S_n} = 0$

Tomando como: $a = 1/8"$ **(Ver anexo No.1)**

Con base en estos datos se deduce el valor de K_f =2.75

$$S_n = C_l * C_d * C_s * C_c * C_t * C_V * S_{n'} \qquad (7)$$

$C_l =$ Factor de carga = 1.0

$C_d =$ Factor de tamaño = 0.9 puesto que $0.4" \angle d \leq 2"$

$C_s =$ Factor de acabado superficial = 0.85

$Cc =$ Factor de confiabilidad = 0.814

$C_t =$ Factor de temperatura =1.0 puesto que $T \leq 160^0 F$

$C_v =$ Otros factores = 0.75 Agua dulce o agua salada

$S_{n'} = 0.5 * S_u = 2988\, Kg.f \diagup cm^2$

$$S_n = 1395.5 \, Kg - f/cm^2$$

Reemplazando obtenemos:

$$\sigma_a = \frac{Mc}{I} = 474.096 Kg * cm \quad (8)$$

$$\tau_m = \frac{Tc}{j} = \frac{1387.23 * R_e}{R_e^4 - 1} \quad (9)$$

Se toma un valor para N= 3 basado en la resistencia a la fluencia.

Reemplazando los valores de las ecuaciones: (8) y (9).

$$\frac{1}{3} = \left[\left(\frac{1.18 * R_e}{R_e^4 - 1} \right)^2 + 3 \left(\frac{0.232 * R_e}{R_e^4 - 1} \right)^2 \right]^{1/2}$$

De donde: $R_e = 32.64 mm$

En el punto critico va colocada la brida y el eje escogido es de 40mm, además allí se le hace un hombro para colocar la brida y asi evitar que esta se desplace a lo largo del eje cuando se inicie su funcionamiento, este diámetro se mecaniza hasta un diámetro de $1\frac{3}{8}"$ con el fin de colocar el rodamiento.

Verificación del factor de seguridad. Para constatar que el factor de seguridad asumido es el correcto se realiza la siguiente comprobación:

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{K_{f*\sigma_a}}{S_n} \right)^2 + 3\left(\frac{\tau_m}{S_u} \right)^2 \right]^{1/2} \qquad (10)$$

$K_f = 1.92$ **(Ver anexo No. 2)** Aunque este es un eje hueco se aplica la teoría de eje macizo.

$$\sigma_a = \frac{M * c}{I} = 157.37 \, Kg * f/cm^2$$

$C_d = 0.79$ **(Corregido)**

Luego el nuevo valor de S_n es:

$$S_n = 1225 \, K_g * f/cm^2$$

$$\tau_m = \frac{T * c}{J} = 361.64 \, K_g * f/cm^2$$

$$S_u = 5976 \, K_g * f/cm^2$$

Reemplazando todos estos valores en la ecuación (10) resulta: $N = 3.73$ **o.k**

8.3.4.1 Diseño de la cuña. Para el diseño de la cuña se deben tener en cuenta ciertos parámetros los cuales pueden definir el tipo de cuña a utilizar y sus dimensiones correspondientes.

Material de la cuña: Acero 1020 (estirado en frío).

$$Sy = 4640 \, Kg * f / cm^2$$

N=3.0 Utilizado en aplicaciones industriales.

$$\tau_d = \frac{0.5 * S_y}{N} = 773.34 \, Kg * f / cm^2 \quad (11)$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} = 1546.66 \, K_g * f / cm^2 \quad (12)$$

El diámetro de eje es $1\,3/8''$ se sugiere cuña cuadrada. **(Ver tabla 7.)**

$$Espesor(W) = 3/8''$$

$$Altura(H) = 3/8''$$

Hallamos la longitud de la cuña:

Aplastamiento: $L = \frac{4 * T}{\sigma_d * D * H} = 17.5mm$

Cortadura: $L = \frac{2 * T}{\tau_d * D * W} = 16.85mm$

Luego nos queda cuña cuadrada de $3/8''$ y con una longitud de $18mm$.

Tabla 7. Tamaño de cuña contra tamaño de flecha.

Diámetro nominal de la flecha			Tamaño nominal de la cuña	
Mas de	Hasta	Espesor,W	Altura, H	
			Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	3/32
7/16	9/16	1/8	1/8	1/8
9/16	7/8	3/16	3/16	3/16
7/8 1 1/4	1 1/4 1 3/8	1/4 5/16	1/4 5/16	1/4 1/4
1 3/8	1 3/4	3/8	3/8	3/8
1 3/4	2 1/4	1/2	1/2	7/16
2 1/4	2 3/4	5/8	5/8	1/2
2 3/4	3 1/4	3/4	3/4	5/8
3 1/4	3 3/4	7/8	7/8	3/4
3 3/4	4 1/2	1	1	7/8
4 1/2	5 1/2	1 1/4	1 1/4	1
5 1/2	6 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
6 1/2	7 1/2	1 3/4	1 3/4	1 1/2
7 1/2	9	2	2	1 3/4
9	11	2 1/2	2 1/2	2
11	13	3	3	2 1/2
13	15	3 1/2	3 1/2	3
15	18	4		3 1/2

Como la cuña es de $3/8'' * 3/8''$ con una longitud de 18 mm inspeccionamos el factor de seguridad N en esta sección, descartando así posibles fallas.

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{K_{f*\sigma_a}}{S_n} \right)^2 + 3\left(\frac{\tau_m}{S_u} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Ya sabiendo las dimensiones de la cuña, calculamos el K_f :

$d = 1\frac{3}{8}'' = 34.925mm$

$r = 2mm$

$d = 34.925mm$

$Kt_B = 2.15$ (Sugerido para diámetros menores de 6.5") **(Ver anexo No. 3)**

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{K_{f*\sigma_a}}{S_n} \right)^2 + 3\left(\frac{\tau_m}{S_u} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$N = 3.4$ **o.k**

8.3.5. Diseño de la brida. Este es el elemento mecánico encargado de transmitir el movimiento entre el eje hueco y el tambor.

- **Selección del diámetro del círculo para los tornillos de acoplamiento.** El diámetro del círculo se asume como parámetro que es tres veces el diámetro del eje, entonces se tiene: $3 * d = 3(35mm) = 105mm$.

Esta es una suposición razonable para la mayor parte de los acoplamientos que se disponen comercialmente.

- **Cálculo de la fuerza cortante en los tornillos de acoplamiento.**

$$F_v = \frac{T}{r_b} = 415.04Kg \tag{13}$$

Esta fuerza cortante es mucho mayor que la fuerza en el eje, que es de 44.58kg.

- **Determinación del número de tornillos.** Para la selección de estos se utiliza la siguiente ecuación.

$$N = \frac{8 * F_v}{\Pi * d^2 * \tau_y} \tag{14}$$

En donde las variables están definidas como:

N : Numero de tornillos.

F_v : Fuerza cortante.

τ_y : Esfuerzo cortante permisible en los tornillos de acoplamiento.

d : Diámetro acostumbrado de tornillos rígidos. ($1/4$" y 2").

Material de los tornillos: acero 1020 con $S_y = 3515\ Kg/cm^2$

$$S_{ys} = 0.5 * S_y = 1757.5\ Kg/cm^2 \tag{15}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{S_{ys}}{N} = 585.34 \, Kg/cm^2 \quad (16)$$

$N = \frac{8 * F_v}{\pi * d^2 * \tau_y} = 2$ Pero tomamos tres tornillos uniformemente distribuidos de $3/8" \times 3/4"$.

8.3.5.1 Soldadura para la brida. Para este caso se va a utilizar cordón de soldadura por todo el alrededor.

- **Corte vertical directo.**

$$F_s = \frac{V}{A_w} = 2.23 \, Kg/cm \quad (17)$$

- **Torsión**

$$F_T = \frac{Tc}{J_w} = 34.40 \, Kg/cm \quad (18)$$

- **Flexión** $F_F = \frac{M}{Z_w} = 14.97 \, Kg/cm$ (19)

Con estos datos calculamos la fuerza resultante:

$$F_R = (F_S^2 + F_T^2 + F_F^2)^{1/2} = 210.01 \, Lb/in \quad (20)$$

Para la determinación de la longitud del chaflán nos basamos en la siguiente tabla:

Tabla 8. Tamaños mínimos de soldadura para placas

Espesor de placa (Pul)	Tamaño mínimo para la soldadura de chaflán. (Pul)
$\leq 1/2$	$3/16$
$\geq 1/2 - 3/4$	$1/4$
$\geq 3/4 - 1\,1/2$	$5/16$
$\geq 1\,1/2 - 2\,1/4$	$3/8$
$\geq 2\,1/4 - 6$	$1/2$
≥ 6	$5/8$

Fuente: MOTT. Diseño de elementos de maquinas, Segunda edición. México: Prentice hall,1995. 771p

Por lo tanto la longitud para el lado de la soldadura es:

$W = 0.0218\,pul$ De donde se toma $W = 3/16$

8.4 SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS PARA EL TAMBOR

- *Carga sobre el rodamiento:* $D_Y = 437.12N$

Para la selección del rodamiento se tiene un $n: 25$ r.p.m. y un $L_{10h} = 20.000$ para maquinas de 8 horas de trabajo no totalmente utilizadas.

- $C/P = 2.9$

- *Capacidad dinámica de carga:* $C = P * 2.90 = 1267.64N$
- *Carga estática equivalente:* $P_o = X_o * F_r = 262.27N$ como P_o es menor que F_R entonces se toma este valor; $P_O = 437.12N$
- *Capacidad de carga estática:* $C_O = S_O * P_O = 1.7 * 437.12 = 743.04N$ Tomando un $S_O = 1.7$ para cargas de choque acosadas.

Con los anteriores datos se seleccionó el siguiente soporte del catalogo de rodamientos de SKF:

Designación completa: SY35FJ para un $d = 1\frac{3}{8}"$

8.5 SELECCIÓN DEL ACOPLE.

Para la selección de este, nos basamos en el catálogo **ZCP** de acoples flexibles para potencia, y se tiene los siguientes datos:

- Factor $F_m = 0.25$ (Maquina motriz).
- Factor $F_o = 1.4$ (Maquina que recibe movimiento).
- Potencia del motor $HP = \frac{3}{4}$
- R.P.M.= $1720 \approx 1800$
- $F_T = 0.25 + 1.4 = 1.65 * HP = 1.2375HP$

Del catálogo se selecciona un acople de cruceta ***AFC-125*** tal como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 9. Acoples flexibles de cruceta

RPM		100	600	1200	1800	2400	3600	MAXIMO EJE	LARGO	PESO KG.
AFC-75	HP	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3	2.0	3/4"	53	0.4
AFC-95	HP	0.4	1.2	2.2	3.0	4.0	5.4	1"	68	0.8
AFC-100	HP	0.8	2.7	5.0	7.5	9.5	11.0	1 1/4"	82	1.5
AFC-125	HP	1.0	4.5	8.5	12.0	15.0	19.0	1 1/2"	94	2.5
AFC-150	HP	1.5	7.5	15.0	20.0	24.0	30.0	1 5/8"	108	4.0
AFC-190	HP	2.5	11.0	22.0	30.0	37.0	45.0	2"	125	6.5
AFC-225	HP	4.0	15.0	30.0	40.0	50.0	60.0	2 1/4"	135	9.5

Fuente: Catalogo de acoples. CARCOPLES LTDA.

8.6 DISEÑO DE LA RALLADORA.

Para el diseño de este sistema se utilizan 16 gratas de acero inoxidable de 6" de diámetro por 1/2" de espesor, montadas intercaladamente con 15 discos del mismo material de 1/8" de espesor, garantizando de esta manera un eficiente rallado de las raíces de yuca

8.6.1. Cálculo de la potencia. Este valor es el necesario para poner en funcionamiento la ralladora inicialmente para vencer todas las fuerzas inerciales y posteriormente para llevar a cabo su trabajo.

8.6.1.1. Cálculo del torque inercial.

- **Inercia de las gratas.** Cada grata tiene un peso de 350 gramos, esta hecha de acero inoxidable y su diseño permite que se realice trabajos hasta 6000 r.p.m, Pero por datos ya tomados y calculados experimentalmente estas giraran durante su operación en este diseño a 1800 r.p.m.

$$I = \text{Inercia Total} = 0.01625 \ \ Kg - m^2 \qquad (21)$$

- **Inercia de los discos.** En este diseño se utilizan 15 discos de acero inoxidable montados intercaladamente con las gratas, buscando de esta manera que el proceso del rallado sea lo mas delgado posible, además de esta forma se descarta la posibilidad de que el rallado sea defectuoso pasando pedazos enteros de las raíces de yuca aumentando así los desperdicios, y por ende disminuyendo la eficiencia del proceso. Además con la finura del rallado se garantiza una disminución de tiempo durante el proceso de precipitación para la obtención del almidón.

$$I_{dr} = \frac{1}{2} * m \ * r^2 = 0.01235 \ \ Kg - m^2 \qquad (22)$$

- **Inercia de las bridas.** Al igual que los otros elementos mecánicos las bridas están hechas de acero inoxidable. Tienen el mismo diámetro de los discos con el fin de evitar que perdidas en las esquinas de la ralladora.

$$I = \frac{1}{2} * m * r^2 = 0.03876 \ \ Kg - m^2 \qquad (23)$$

- **Determinación de la aceleración angular.** El sistema tiene un motor de 1800 r.p.m. y los valores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Potencia inercial

t (seg)	w (rad/seg)	α (rad/seg^2)	I $(Kg-m^2)$	T_r $(N-m)$	$F.S$	T_n $(N-m)$	Pot (hp)
0.5	188.5	377	0.0387	14.61	1.4	20.45	5.17
1	188.5	188.5	0.0387	7.30	1.4	10.22	2.58
1.5	188.5	125.67	0.0387	4.87	1.4	6.81	1.72
2	188.5	94.25	0.0387	3.65	1.4	5.11	1.29
2.5	188.5	75.4	0.0387	2.92	1.4	4.09	1.03

8.6.1.2. Cálculo del torque de rallado. El sistema se ha diseñado para una capacidad de $7kg$ $(68.62N)$ de raíces de yuca; la longitud determinada es $25cms$.

$T_{rallado} = 1.04N*m$

Luego la potencia de rallado es: $Pot_{rallado} = \frac{T_{rallado} * n}{9550} = 0.264hp.$ (24)

8.6.2 Cálculo de fuerzas y momentos. Tomando las ecuaciones de estática y resolviendo se obtiene:

$A_y = 10.04Kg*m$; $B_y = 10.04Kg*m$

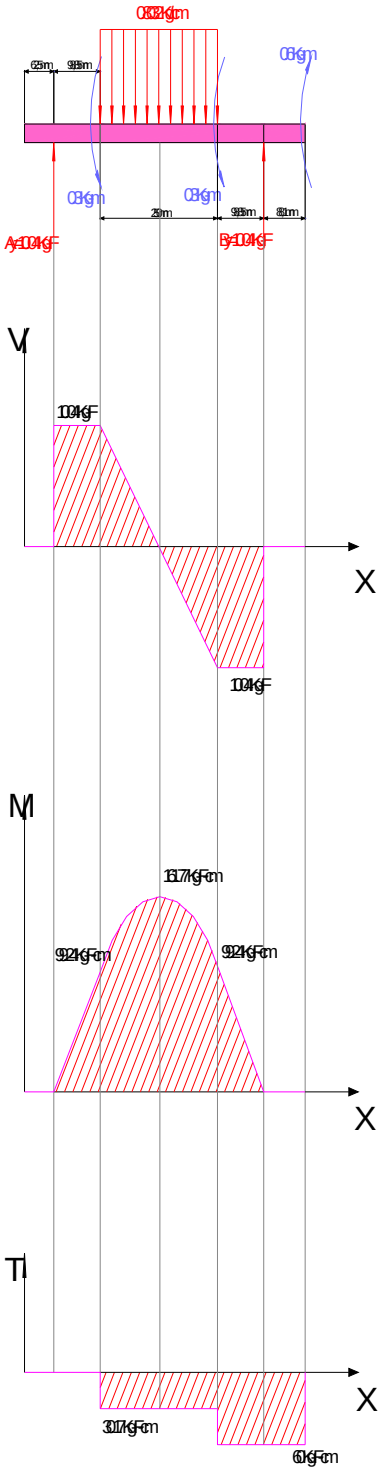


Figura 20. Diagrama de esfuerzos para el eje 2

8.6.3 Cálculo del diámetro del eje.

- *Tipo de carga:* Flexión rotativa
- *Partiendo de la ecuación:*
- $$d = \left\{ \frac{32 * N}{\Pi} * \left[\left(\frac{K_f * M}{Sn} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_m}{Sn} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (25)$$
- $M = 161.77 \ \ Kg - cm$
- $Su = 5976 \ \ {Kg}/{cm^2}$
- *Material:* Acero inoxidable
- $Sn = C_l * C_d * C_s * C_c * C_T * C_v * Sn'$

Cada una de las siguientes variables esta definida como:

$C_l : 1.0$
$C_d : 0.9 \rightarrow 0.4" \leq d \leq 2"$
$C_s : 0.85$
$C_c : 0.814$
$C_T : 1.0$
$C_V : 0.75$
$Sn' = 0.5 * Su = 2988 \ {Kg}/{cm^2}$
$Sn = 1395.49 \ {Kg}/{cm^2}$
$K_f : 1.8(\text{sup}\, uesto)$
$T_m : 30 Kg - cm$

Reemplazando en la ecuación (25)

$d = 18.54mm$

Pero se toma un diámetro de 1” para dejar un hombro para la colocación de las bridas.

- *Chequeo del factor de seguridad:*

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{K_f * \sigma_a}{Sn} \right)^2 + 3 * \left(\frac{\tau_m}{Su} \right)^2 \right]^{1/2}$$

(26)

$K_f : 1.8$ **(Ver anexo No. 2)**

Reemplazando obtenemos:

$Sn = 1317.96 \, Kg/cm^2$

Calculamos el resto de variables:

$$\sigma_a = \frac{M * c}{I} = 146.33 \, Kg/cm^2$$

$$\tau_m = \frac{T * c}{J} = 44.23 \, Kg/cm^2$$

Reemplazando en la ecuación (26) se tiene un valor de N=5.**o.k**

8.6.4 Selección de los soportes con rodamientos para la ralladora.

- *Carga sobre el rodamiento:* $B_Y = 98.43N$

Para la selección del rodamiento se tiene un $n : 1800$ r.p.m. y un $L_{10h} = 20.000$ para maquinas de 8 horas de trabajo no totalmente utilizadas.

- $C/P = 13$
- *Capacidad dinámica de carga:* $C = P * 13 = 1279.59N$
- *Carga estática equivalente:* $P_o = X_o * F_r = 59.058N$ como P_o es menor que F_R entonces se toma este valor; $P_O = 98.43N$
- *Capacidad de carga estática:* $C_O = S_O * P_O = 167.33N$ Tomando un $S_O = 1.7$ para cargas de choque acosadas.

Con los anteriores datos se seleccionó el siguiente soporte del catálogo de rodamientos de SKF: para un $d = 3/4"$.

8.6.5 Diseño de la brida de la ralladora. Para la construcción de esta se deben tener en cuenta factores tan importantes como lo es el tipo de material, pues es este el lugar en donde las raíces de yuca estarán en continuo contacto, razón por la cual se construirá en acero inoxidable.

- **Determinación del número de tornillos para la brida.** Por medio de estos se ajustaran todas las gratas, por tal razón se utilizan tornillos espárragos de la misma longitud de la ralladora hechos en acero inoxidable, el cual cruzara todo el conjunto que conforman esta. Para el cálculo de este sistema nos basamos en las ecuaciones: 14, 15 y 16. Basados en datos dimensionales se determinó un diámetro de circulo para los tornillos espárragos de $70mm$, y con lo cual se calcula una fuerza cortante existente en cada uno de ellos.

$$Fc = \frac{T}{r_c} = 17.14\ Kg - f \qquad (27)$$

El número de tornillos a utilizar esta determinado por:

$$N = \frac{8 * F_v}{\pi * d^2 * \tau_y}$$

En donde las variables están definidas como:

N : Numero de tornillos.

F_v : Fuerza cortante.

τ_y : Esfuerzo cortante permisible en los tornillos de acoplamiento.

d : Diámetro acostumbrado de tornillos rígidos. ($1/4$" y 2").

Material de los tornillos: acero inoxidable 304 con $S_y = 2815.2 \ Kg/cm^2$

$S_{ys} = 0.5 * S_y = 1407.6 \ Kg/cm^2$

$\tau_{adm} = 469.2 \ Kg/cm^2$

Tomando inicialmente un diámetro de $3/16$"

$N = \frac{8 * F_v}{\pi * d^2 * \tau_y} = 1$ Pero tomamos tres tornillos uniformemente distribuidos de $3/16$".

8.6.5.1 Soldadura para la brida. Para este caso se va a utilizar cordón de soldadura de acero inoxidable por todo el alrededor que es lo mas recomendable Para el cálculo de este se va a utilizar las ecuaciones 17, 18, y 19 respectivamente.

- **Corte vertical directo.**

$$F_s = \frac{V}{A_w} = 0.839\, Kg/cm$$

- **Torsión**

$$F_T = \frac{Tc}{J_w} = 2.631\, Kg/cm$$

- **Flexión**

$$F_F = \frac{M}{Z_w} = 8.7\, Kg/cm$$

Con estos datos calculamos la fuerza resultante:

$$F_R = (F_S^2 + F_T^2 + F_F^2)^{1/2} = 51\, lb/in$$

Para la determinación de la longitud del chaflán nos basamos en los resultados de la ***tabla 8*** el cual nos muestra que se utiliza una longitud de $3/16"$.

8.6.5.2 Diseño de la cuña. Este componente es de acero 1020 estirado en frío encargado de transmitir torque posee las siguientes características:

- $S_y = 4640 \ {Kg}/{cm^2}$
- $N = 3$ (utilizado en aplicaciones industriales).

$\tau_d = 773.34 \ {Kg}/{cm^2}$

$\sigma_d = 1546.67 \ {Kg}/{cm^2}$

Debido al diámetro del eje se sugiere una cuña cuadrada de: $H = 1/4"$ y $W = 1/4"$

Longitud de la cuña:

- Aplastamiento: $L = \frac{4 * T}{\sigma_d * D * H} = 0.122 cm$
- Cortadura : $L = \frac{2 * T}{\sigma_d * D * W} = 0.122 cm$

Con base en estos resultados tomamos una longitud de 10mm.

Como la cuña es $1/4" \times 1/4"$ con una longitud de 10mm inspeccionamos el factor de seguridad, descartando así posibles fallas. Para esto utilizamos la ecuación 26 así:

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{K_f * \sigma_a}{Sn} \right)^2 + 3 * \left(\frac{\tau_m}{Su} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Reemplazando valores obtenemos:

$K_f : 2.15$ (Sugerido para diámetros menores de 6.5") **(Ver anexo No. 3)**

$N = 4.84$ **o.k**

8.6.6 Selección del acople. Para la selección de este, nos basamos en el catálogo **ZCP** de acoples flexibles para potencia, y se tiene los siguientes datos:

- Factor $F_m = 0.25$ (Maquina motriz).
- Factor $F_o = 1.4$ (Maquina que recibe movimiento).
- Potencia del motor $HP = 1.5$
- R.P.M. $= 1800$
- $F_T = 2.475HP$

Del catálogo se selecciona un acople de cruceta ***AFC-95*** tal como lo muestra en la ***tabla 9.***

9. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.

Para describir el proceso de construcción y montaje se ha dividido la maquina para extracción de almidón de raíces de yuca en cuatro subsistemas:

- Subsistema de lavado.
- Subsistema de pelado.
- Subsistema de rallado.
- Subsistema de transmisión de potencia.

9.1 SUBSISTEMA DE LAVADO.

El subsistema de lavado esta compuesto una barra de acero inoxidable 304L de perforación de 40 mm de diámetro exterior y 20mm de diámetro interior, un acople rápido de 3/4", un grifo y tubería galvanizada.

9.1.1. Barra de acero inoxidable. Una vez diseñado y calculado el eje se procedió a realizar 9 agujeros que se cortan de 3/16" de diámetro a una distancia de 16 cm uno respecto de otro. (Ver figura 21.)

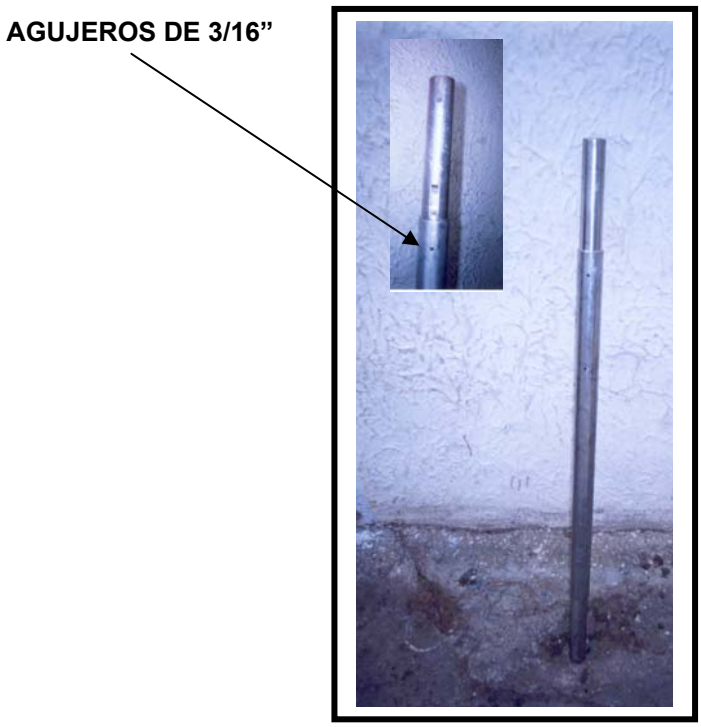


Figura 21. Eje de acero inoxidable

9.1.2 Acople rápido. Determinado el diámetro de los agujeros, el cual cumplía con los parámetros de diseño se instaló un acople rápido de bola, este nos permitía la introducción de agua a través una barra de acero ahuecado en movimiento para el correcto lavado de las raíces de yuca, el extremo opuesto del eje fue sellado.

9.1.3. Grifo. Conectado el acople se realiza la conexión con el grifo, este nos permite controlar el caudal de agua para el lavado y posteriormente para la conexión de la tubería galvanizada hasta la llave principal.

9.1.4 Tubería. Para su instalación se conecto la suficiente longitud de tubería para no limitar el lugar de trabajo.

9.2 SUBSISTEMA DE PELADO.

El pelado de las raíces de yuca es llevado a cabo con una malla especial *VENA-8*, además de este subsistema también hacen parte del pelado, la bandeja de inspección ahuecada y la bandeja recolección de agua, tierra y cascarilla.

9.2.1 Malla del tambor. Una vez diseñado y construido el eje, va a ser el soporte de este. Para el sistema de cargue y descargue se construyo una compuerta deslizante asegurada con dos pasadores los cuales se ajustan por la presión de un resorte interno. Como el descargue es por sistema de bache al motorreductor se le diseño una pequeña manivela con un tornillo bristol de 1/4", de tal manera que para descargar el tambor y continuar con el trabajo solamente es dar unos pequeños giros a la manivela y las raíces ya peladas caen a la bandeja de recepción.

Buscando siempre eliminar la contaminación de las raíces de yuca para obtener un producto de calidad, esta malla se mando galvanizar garantizando mejores resultados. (Ver figura 22.)

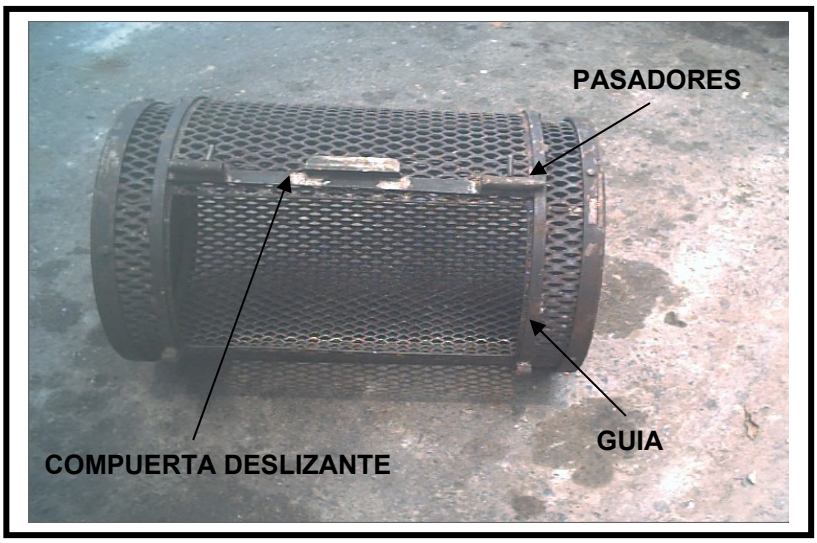


Figura 22. Tambor para el pelado.

9.2.2 Guarda de protección. Con el fin de evitar accidentes durante la operación de pelado se le coloco al tambor una guarda de protección, ésta al igual que el tambor es también de corredera, hecha en lámina galvanizada, y se le instaló una manija plástica de proporciones considerables para su adecuado uso.

Figura 23 Guarda de protección.

9.2.3. Bandeja de Recepción. Esta hecha en lamina de acero inoxidable de 1/8, la función es recoger las raíces de yuca ya lavadas y peladas y permitir que se deslicen hacia la siguiente etapa del proceso que es el rallado.

Además se le hicieron 243 huecos de 1" de diámetro distribuidos buscando de esta manera el paso del agua y cascarilla hacia la siguiente bandeja de recolección; esta encajada sobre los ángulos de la estructura. (Figura 24.)

Figura 24. Bandeja de recepción.

9.2.4. Bandeja de recolección. Se construyó en lámina galvanizada con una inclinación en uno de sus extremos en donde se le coloca un miple también galvanizado de 2 1/2" x 5", garantizando de esta manera la fluidez

total del agua y residuos. La bandeja esta atornillada a los ángulos de la estructura. (Ver figura 25.)

Figura 25. Bandeja de recolección

9.3 SUBSISTEMA DE RALLADO.

El sistema de rallado esta conformado por una bandeja de recepción, una tolva de alimentación, un conjunto de 16 gratas de acero inoxidable y un mecanismo de retorno rápido.

9.3.1 Bandeja de inspección. Para su construcción se compró lámina de acero inoxidable 304 en donde son recibidas las raíces de yuca completamente lavada y pelada. (Figura 26) En la bandeja se hizo tapa de corredera del mismo material, esta nos comunica con la ralladora. (Figura 27).

Figura 26. Bandeja de inspección.

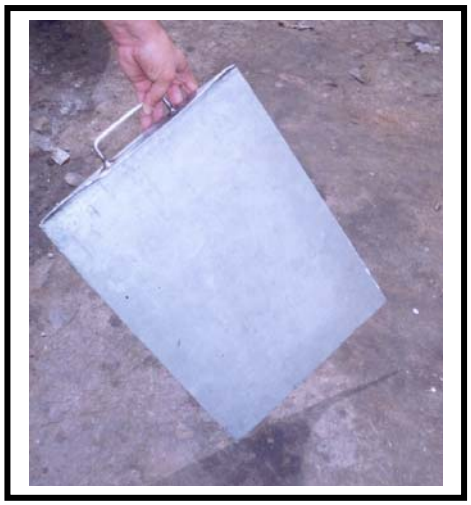


Figura 27. Tapa de corredera

9.3.2. Tolva de alimentación. Después de haber definido el diseño más adecuado, para su construcción se compró lámina de acero inoxidable 304L de donde se sacaron cada uno de los perfiles que la conformaron. (Figura 28).

Figura 28. Tolva de alimentación.

9.3.3. Conjunto de gratas. Básicamente es el principal sistema de la maquina, tal como se ha mencionado anteriormente, esta conformado por un numero determinado de gratas, cada una de estas tiene un numero de filamentos acerados con capacidad de giro de hasta 6000 r.p.m, en medio de cada grata hay discos también de acero puestos intercaladamente.

A cada grata se le hicieron tres agujeros de 3/16” con el fin de poderlas compactar y ajustar por medio de tres tornillos pasantes llamados espárragos de igual diámetro. (Ver figura 29 y 30).

Figura 29. Gratas aceradas.

Figura 30.Montaje de las gratas.

9.4. SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.

Forman parte de este sistema los siguientes elementos: motorreductor, brida para el tambor, motor eléctrico, eje de la ralladora, y brida de la ralladora.

9.4.1 Motorreductor. De acuerdo a los resultados obtenidos en el diseño se seleccionó un motorreductor sinfín corona con salida a 90^0 marca ***Ramfé*** y un motor eléctrico marca ***Siemens*** (acoplados) de 3/4 hp, con salida a 25 r.p.m.

9.4.2 Brida para el tambor. Para lograr el montaje del tambor se construyó este elemento mecánico conformado por dos partes; un disco de acero A-36 de 550 mm de diámetro por 1/4" y una barra redonda de acero 1020 acoplados por soldadura. (Ver figura 31).

Figura 31. Brida para el tambor.

9.4.3. Motor eléctrico. Según cálculos realizados se determinó la compra de un motor eléctrico marca *siemens* de 1.5 hp.

9.4.4. Eje de la ralladora. Para fabricar el eje se compró una barra de acero inoxidable 304 de 1" de diámetro, se maquinó hasta lograr hombros correspondientes para realizar el montaje de las bridas y las chumaceras.

9.4.5 Brida de la ralladora. Para su construcción de utilizó acero inoxidable, puesto que va a existir un contacto directo de las raíces con el material, se acoplaron para su posterior maquinada y ajuste dimensional.

10. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

10.1 GENERALIDADES

En un proceso de producción se utilizan maquinaria y equipos, que presenta frecuentemente fallas y daños debido al mal uso, al desgaste y al tipo de mantenimiento que se le realiza, generando paros y retrasos en la producción, además, causa problemas de calidad en los productos o piezas procesadas, haciendo necesario el reproceso para eliminar las fallas, contribuyendo a aumentar el despilfarro de recursos, materiales, humanos y financieros.

Por tal razón se hace necesario implementar un plan de mantenimiento; definido como el conjunto de acciones, operaciones y actitudes tendientes a poner o restablecer un bien a un estado específico que le permitan asegurar un servicio determinado; y se deben hacer operaciones tales como: limpieza, lubricación, inspección, conservación, reparaciones y mejoras que permitan conservar el potencial de la maquina para asegurar su continuidad y garantizar la calidad de la del producto.

10.1.1 Misión del mantenimiento. Es un conjunto de actividades para proteger el ciclo de vida del sistema de producción de toda una empresa, con el fin de lograr una eficiencia global con cero pérdidas, fallas y con la participación de todas las actividades involucradas, además tan pronto se perciba que en un sistema, equipo o maquina haya bajado su fiabilidad se busca adaptarla a una condición óptima corrigiendo el problema.

10.1.2 Beneficios. Los beneficios de un buen programa de mantenimiento de pueden verse en la siguiente tabla.

Tabla 11. Beneficios de un programa de Mantenimiento

Beneficios	
Productividad	Aumentar la productividad del valor agregado
	Disminuir las fallas esporádicas de la maquina
	Aumentar la eficiencia global de producción
	Minimizar los tiempos de paro
Calidad	Disminuir el porcentaje de producción defectuosa
	Hacer cero la insatisfacción del cliente
	El servicio al cliente con calidad
Costo	Reducir el costo de Mantenimiento.
Tiempo de Entrega	Reducir el inventario de productos terminados y en proceso
Seguridad	Disminuir el porcentaje de incapacidades y accidentes

10.1.3 Tipos de Mantenimiento.

- **Mantenimiento Correctivo.** Es el trabajo que es necesario ejecutar en las máquinas cuando presentan fallas de funcionamiento, y se pueden procesar productos defectuosos, también puede ser un paro total o parcial, debido a diferentes causas, ya sea errores humanos, técnicos, de energía entre otros. Este sistema funciona basándose en las emergencias, es decir, sólo en el momento en que se presenta la falla, siendo a menudo insuficientes los recursos de mano de obra y repuestos, por lo que es muy costoso, ocasionando bajas en la productividad.

▪ **Mantenimiento Preventivo.** Consiste en una serie de trabajos que son necesarios en las máquinas y equipos, para mantenerlos en las condiciones adecuadas de operación evitando que se presenten paradas intempestivas de las máquinas debido a malos usos, falta de lubricaciones o de repuestos. Debe existir un programa altamente planeado con inspecciones periódicas para luego determinar de ellas que reparaciones deben realizarse. Este tipo de mantenimiento resulta menos costoso que el mantenimiento correctivo, ya que tanto material, mano de obra y tiempo de labor están adecuados en cantidad, calidad, precio y en el momento indicado.

Entre algunas de las ventajas que presenta el mantenimiento preventivo tenemos:

- Las condiciones de trabajo se mejoran como resultado de una correcta planeación y valoración de las labores.
- Permite disponer de una información anticipada y correcta.
- Reduce las paradas inesperadas en la producción

Para evitar paradas intempestivas de la máquina se deben hacer una serie de revisiones periódicas con el fin de evitar daños permanentes, y de esta manera evitar gastos extras e inoficiosos.

10.2 DISEÑO DEL PROGRAMA

Para la implementación de un instructivo de mantenimiento se requiere de un esfuerzo por parte de todos los rallanderos pues son estos quienes van a operar dicha maquina, y para llevar a cabo esto se requieren que tengan en cuenta lo siguiente:

- Crear las labores de limpieza diaria y de chequeo periódico posterior a su utilización de cada uno de los elementos que conforman la maquina, pues

estos son parámetros importantes en el buen funcionamiento de la misma y tienen una influencia marcada en la calidad del producto.

- Utilizar cada uno de los aditamentos allí dispuestos de manera apropiada pues fueron diseñados para un adecuado uso.

- Es importante que se tenga en cuenta la capacidad de la maquina pues un sobrecargado y la sobre-exigencia puede ocasionar daños graves.

Resaltar que los beneficios del programa no se pueden obtener sin el pleno convencimiento e involucramiento de los operarios quienes son los encargados de ejecutar las actividades y por ende son ellos quienes garantizan una larga vida a cada uno de sus componentes.

10.2.1 Sistema de Mantenimiento. Se deben establecer pautas para prevenir y controlar el deterioro de la maquina con el fin de mantener las condiciones básicas de funcionamiento. Se determinaron dos niveles de mantenimiento, en los que se agruparán las diferentes actividades a desarrollar y las responsabilidades asignadas.

Mantenimiento Preventivo. Consta de inspecciones periódicas, de jornadas de limpieza y del cumplimiento de medidas para prevenir fallas en el motor y en el motorreductor.

Mantenimiento Correctivo. Esta encaminado a solucionar o corregir la falla una vez presentada, para nuestro caso la maquina se somete a reparación hasta corregir el defecto, esto obliga a que el operario se familiarice con la maquina y de sus partes susceptibles y puede ser determinado por una simple inspección.

10.3 INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO

10.3.1. Listas de Chequeo. Las listas de chequeo son guías para solucionar algunos de los problemas que se pueden presentar en la operación de la maquina, ordenados según la posibilidad más alta de que se presenten, ya sea por no realizar adecuadamente las inspecciones, por el mismo deterioro, o por la mala utilización y manejo.

Tomar seguros contra daños en la máquina es hoy una necesidad, en algunos casos obligatorio, porque se obliga al operario proveer riguroso control sobre aquellas partes que pueden sufrir daño. A continuación se presentan algunas listas de chequeo que sirven como ayuda en la solución de problemas cotidianos.

Tabla 12. Detección de Fallas.

DEFECTO	CAUSA	SOLUCION
Parada del tambor	Sobrecarga de materia prima.	Extraerla hasta dejar la carga para la cual fue diseñada.
	Mala conexión del motor.	Constatar los empalmes del cableado y enchufes.
	Potencia eléctrica insuficiente.	Comparar la tensión de la red con la nominal del motor que se indica en la placa.
	Componentes del reductor desacoplados.	Verificación del correcto acople del sinfín corona.
Salida de agua nula	Agujeros de la barra tapadas	Destapar cada uno de los agujeros allí existentes.
	Pérdidas por fugas en acoples rápidos, grifos, y mangueras	Revisar cada uno de estos elementos y si se hace necesario utilizar cinta de teflón.
	Caudal de suministro principal insuficiente.	Abrir totalmente el grifo de la maquina.
Parada de la ralladora	Elemento extraño en las gratas	Revisar manualmente la existencia de elementos metálicos en la misma.
	Potencia eléctrica insuficiente.	Comparar la tensión de la red con la nominal del motor que se indica en la placa.
	Motor eléctrico recalentado.	Verificar que el aire de refrigeración del motor pueda circular libremente.
	Cables cortocircircuitados.	Desconecte el motor y verifique empalmes y conexiones que se encuentran adherido a la tapa de caja de bornes.

10.3.2. Programación del Mantenimiento. La programación de las labores de inspección que se van a llevar a cabo, para la maquina lavadora-ralladora y peladora de raíces de yuca, se ilustran en la siguiente tabla y se hacen necesarias para el correcto funcionamiento de la maquina y de esta manera prolongar su vida útil, y así garantizar productos con calidad.

Tabla 13. Programación del Mantenimiento

DIARIO
• Limpiar la maquina en general. (tambor, bandejas, y ralladora) • Revisar el estado de los cables y conexiones eléctricas. • Limpiar la superficie externa de los motores. (utilizar aire seco) • Revisar las fugas en mangueras, acoples y grifos.
MENSUAL
• Revisar el nivel de la valvulina del reductor sinfín corona. • Limpiar cada uno de los agujeros de salida de agua para el lavado.
SEMESTRAL
• Extraer los sedimentos acumulados en la ralladora. • Revisar la caja de bornes de los motores. • Revisar el estado de los platos de las gratas.
ANUAL
• Cambiar la valvulina de la caja del reductor sinfín corona. • Inspeccionar los rodamientos de las chumaceras del tambor y ralladora.

11. ANÁLISIS DE COSTOS.

El proyecto en su totalidad será financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a través de su Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria – PRONATTA - por intermedio de la Universidad Industrial de Santander la encargada de realizar el proyecto titulado "Diversificación del uso de tres variedades de yuca (amarga, Armenia, y Chile) producidas en la provincia de Guanentá mediante el aprovechamiento de sus subproductos."

El proyecto está debidamente registrado en la oficina General de Investigaciones de la UIS, y tendrá un costo en materiales tales como: láminas de acero inoxidable, perfilería, malla, motorreductor, motor eléctrico y otros elementos a utilizar junto con la mano de obra por un valor de: **$ 6´652.252**

En la siguiente tabla se muestran detalladamente el valor exacto de los materiales tomado de las facturas de compra incluido el IVA del 16%.

Tabla 14. Costos de Materiales máquina.

MATERIALES	CARACTERISTICAS	Cant.	v/r. unit.	v/r. tot.
Perfiles L A-36	2” x 3/16” x 6000	3	34201	102605
Angulo HR negro	2” x 3/16” x 6000	2	35470	70940
Barra sólida 1020	3” de diámetro x120	1	14125	14125
Redondo S-304 L Torneado	3050 x 1530 x 3	1	40623	40623
Redondo S-304 L Torneado	100 x 38.1	1	9270	9270
Lamina S-304 L	6000 x 50.8 x 4.76	1	805000	805000
Disco A-36	550 de diámetro x 1/4”	2	34815	69630
Disco A-36	6.5” de diámetro x 1/4”	2	3480	6960
Disco SAE 304	140 x 4.5	13	8040	104500
Disco SAE 304	140 x 6	2	10700	21400
Barra de perforación S-304L	1500 x 40 x20	1	289141	289141
Gratas de acero inoxidable.	6” x 1/2”	16	81200	1299200
Miple galvanizado	2 1/2” x 5”	1	7000	7000
Varilla de acero inoxidable	1/4”	1	5500	5500
Malla VENA-8	1 x 250	1	250000	250000
Lamina galvanizada	14 4 x 8	1	121800	121800
Platina	1/4 x 1	1	13720	13720
Platina	3/4 x 3/16	1	7540	7540
Anillo SAE	153 x120 x 8	2	18750	37500
Varilla HR	1” x 1/4” x 150	1	5000	5000
	Valor total materiales			**$ 3´281.454**

Tabla 15. Costos de Elementos de máquinas.

ELEMENTOS DE MAQUINA	CARACTERIST.	Cant.	v/r. unit.	v/r. tot.
Motorreductor	Sin fin corona, siemens 3/4 hp	1	980000	980000
Motor eléctrico	1.5 hp	1	320000	320000
Manija	Plástica	1	7000	7000
Acople de hierro	AFC-95	1	17000	17000
Acople hierro	AFC 125	1	27000	27000
Acople rápido hidráulico	1/2”	1	80000	80000
Llaves de boca	Grifos	2	4500	9000
Chumacera 3/4”	Sy NBR	2	24940	49880
Chumacera 1/2”	Sy NBR	2	41760	83520
Tornillo galvanizado, con tuerca y guaza.	3/16” x 3/8”	4	110	440
Tornillos de acero inoxidable, con tuerca y arandela	1/4” x 3/4”	8	530	4240
Tornillo inoxidable, con tuerca	1/4” x 1/4”	3	320	960
Tornillo galvanizado	1/4” x 1/4”	2	180	360
Tornillo galvanizado	1/4” x 3/8”	2	180	360
Tornillo galvanizado	3/8” x 1/2”	2	350	700
Tornillo galvanizado	3/8” x 3/8”	2	300	600
Tornillo galvanizado, con tuerca y arandela.	5/16” x 1”	6	260	1560
Tornillo galvanizado, con tuerca y guaza.	3/8” x 1 1/2”	6	505	3030
Tornillo con tuerca, arandela y guaza.	3/8” x 1”	2	464	928
Tornillo con tuerca	5/16” x 8”	4	1100	4400
Tornillo inoxidable, con tuerca.	1/4” x 3/4”	4	430	1720
Tornillo, con tuerca y arandela.	1/2” x 1 1/2”	4	930	3720
Tornillo, con tuerca y arandela.	1/2” x 2”	4	1050	4200
Tornillo con tuerca arandela y guaza.	5/16” x 1 1/2”	4	340	1360
Tornillo con tuerca arandela y guaza.	3/8” x 1 1/2”	8	540	4320
Tornillo con tuerca y arandela	1/2” x 1”	4	800	3200
Tornillo con tuerca, arandela y guaza.	5/8” x 1 1/2”	4	2500	10000
	Valor total elementos de maquina			**$ 1´619.498**

Tabla 16. Costos mano de obra.

MANO DE OBRA	CARACTERISTICAS	v/r. unit.	v/r. tot.
Doblado de la malla	Vena -8	50000	50000
Galvanizada de la malla	Vana - 8	70000	70000
Aceite.	1/4 Shell spirax	7000	7000
Galvanizada de la bridas del tambor.		10000	10000
Pintada con anticorrosivo.	1/4 de pintura mas el valor del thiner.	7300	7300
Pintada de los platos de las gratas.	1/8 de aeroflex, 1/8 de cromato de zinc una botella de thiner acrílico.	27000	27000
Pintada total de la maquina.	Pintura en general	30000	30000
Construcción y montaje total de la maquina.	Incluye mecanización y soldadura.	1300000	1300000
	Valor total mano de obra.		**$ 1´501.300**

Tabla 17. Costo Total del proyecto

Costo de materiales	3´281.454
Costo de elementos de maquinas	1´619.498
Costos de mano de obra	1´501.300
Costo intelectual	2´000.000
Gastos varios	250.000
TOTAL	**$ 8´652.252**

12. PRUEBAS REALIZADAS Y RESULTADOS

Finalizada la construcción y ensamble de la máquina se procedió a realizar una serie de pruebas para comprobar la eficiencia de la maquina por etapas.

12.1 PRIMERA PRUEBA.

Para esta primera etapa se compró una cantidad de yuca y se procedió a lavar y pelar con el fin de comprobar estimaciones de diseño inicialmente planteadas. (Ver figura 32).

Figura 32. Maquina en funcionamiento.

Una vez realizados los experimentos, se tabularon los resultados para determinar la cantidad de yuca lavada y pelada.

En esta primera etapa se concluyó que la cantidad de agua para el lavado-pelado no tiene que ser de manera continua, pues los pequeños caudales reflejaban mayor rendimiento y calidad del pelado. En la tabla 18 se muestran los resultados:

Tabla 18. Resultados de la primera etapa (lavado-pelado)

LAVADO	PELADO		RESPUESTA		
t (min.)	Peso (Kg.)	t (min.)	BUENO	REGULAR	DEFICIENTE
5	37.5	5			x
5		5		x	
0		10		x	
5	30	5		x	
-		5		x	
5	25	5	x		
2		5	x		

El resultado fue muy bueno, cuando las raíces de yuca se partieron y no se introdujeron al tambor raíces tan grandes, además también tuvimos una influencia marcada cuando se disminuyo el suministro de agua. Las raíces de gran tamaño se atascan con el eje impidiendo su giro y también el de las raíces cercanas a este. En la siguiente figura 33 se pueden observar los resultados. En conclusión con el diseño de la maquina se lavan y pelan 150 Kg /hora (12 arrobas /hora).

Figura 33. Raíces de yuca lavadas y peladas

12.2. SEGUNDA PRUEBA.

Continuando con el proceso de extracción de almidón en esta segunda etapa se determinó el rendimiento de la maquina y el porcentaje de almidón que de esta se obtiene.

En esta prueba el rallado mecánico lo realizo en 3 minutos rallando 9 kilos de raíces de yuca (ver figura 34) y continuando con el proceso, pasando por el tamizado y secado el porcentaje de almidón (35%) fue superior que el obtenido mediante el método artesanal (23%) del cual ya se ha realizado una amplia investigación por parte de estudiantes de la escuela de química, en donde mediante pruebas seleccionaron el tamaño óptimo del rallo, con tres variedades de raíces de yuca: amarga, armenia y chile.

Figura 34. Proceso de rallado.

Para la determinación del porcentaje de almidón se tomaron 3 raíces de yuca, se pelaron a mano y se partieron cada una longitudinalmente, quedando entonces 6 partes. De cada raíz yuca quedaron entonces 2 pedazos 1A y 1B; el mismo procedimiento se realizo entonces con las otras dos raíces: 2A, 2B, 3A y 3B. El proceso consiste en comparar el rendimiento de almidón obtenido mediante una prueba artesanal, del cual ya hay un estudio y es base de comparación con el rallado hecho por la maquina. Iniciando con el método artesanal una vez rallada las tres partes 1A, 2A, 3A se tomaron cantidades exactas de yuca y se mezcló con agua en una proporción de 10:1

(Ver figura 35).

Figura 35. Tamizado

Tamizadas las 3 muestras, se inicia el proceso de precipitación en donde se utilizaron para todos recipientes de iguales dimensiones eliminando variables en cada uno de ellos. (Ver figura 36).

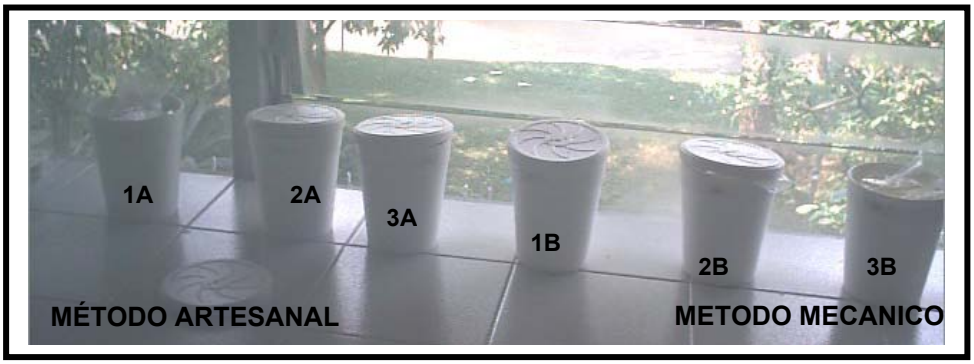


Figura 36. Precipitación.

Una vez iniciado este proceso con cada uno de los métodos se iba observando el tiempo de precipitación. (Ver figura 37.)

Figura 37. Observación de la precipitación.

Terminado este proceso se continúa con la extracción del agua de cada una de las 6 muestras y se inicia la etapa del secado al sol. Seguidamente estas son recogidas y pesadas en donde se determina su rendimiento tal como se muestra en la figura 38.

Figura 38. Determinación del rendimiento.

Realizados los cálculos se puede observan como aumenta el rendimiento del almidón por métodos mecánicos en comparación con los métodos artesanales, Los resultados se muestran en la siguiente tabla en donde se puede ver una diferencia en cuanto al rendimiento de almidón y además los tiempos de precipitación también disminuyen.

Tabla 19. Datos de resultados.

	METODO ARTESANAL			METODO MECANICO		
	1A	2A	3A	1B	2B	3B
PESO INICIAL. **(Gramos)**	80.081	80.060	80.014	77.645	77.595	77.512
CANTIDAD DE AGUA. **(ml)**	800	800	800	770.5	770.5	770.5
1er PESO DE ALMIDON	21.828	18.618	18.718	25.894	26.192	26.49
1er PORCENTAJE DE ALMIDON	27.25%	23.25%	23.39%	33.34%	33.75%	34.17%
2do PESO DE ALMIDON	21.223	17.845	17.842	24.806	25.634	25.298
2do PORCENTAJE DE ALMIDON	26.5%	22.28%	22.29%	31.94%	33.03%	32.63%
TIEMPO DE PRECIPITACION PRECIPITACION **(Horas)**	4 1/2	4 1/2	4 1/2	2	2	2

CONCLUSIONES

- Se diseño y construyó una maquina capaz de cumplir con los objetivos trazados de procesar 12 arrobas por hora, de una manera sencilla y practica.

- La máquina se diseñó compacta con el fin de abarcar y satisfacer las necesidades de pequeños agricultores de yuca, tanto culturales como laborales y así impulsar este cultivo para su posterior procesamiento y obtención del almidón de yuca.

- La etapa de pelado mas óptima se realiza cargando el tambor por ciclos, cada 10 minutos con 2 arrobas de yuca fresca partidas y suministrando agua de una manera discontinua.

- Las pérdidas de materia prima y por ende de almidón ocurren en el proceso de lavado-pelado de las raíces de yuca, y dependen de 2 factores: la variedad y el estado en que se encuentren, y varían entre 2% y 3% del peso de las raíces frescas.

- El proceso de lavado nos elimina totalmente la tierra y las impurezas adheridas a la cascarilla de las raíces de yuca, así como sirve para la fácil evacuación en la bandeja de recolección.

- En el proceso de obtención de almidón de yuca no se desperdicia, todo se utiliza, el almidón como producto terminado, el afrecho y la cascarilla como fuente de concentrados y alimentación animal.

- El rendimiento promedio en condiciones normales de funcionamiento se estimo en un 35% de almidón obtenido de un total de yuca, es decir de 100 kilos de yuca fresca se obtiene 35 kilos de almidón.

- El proceso de pelado nos proporciona la cáscara o cascarilla que se desprende por fricción entre las raíces de yuca y contra la lámina del tambor y que fácilmente se puede recoger para su posterior utilización.

- El sistema de rallado permite obtener porcentajes de almidón superiores al método artesanal y además proporciona una mayor rapidez de precipitación en el proceso posterior de colado.

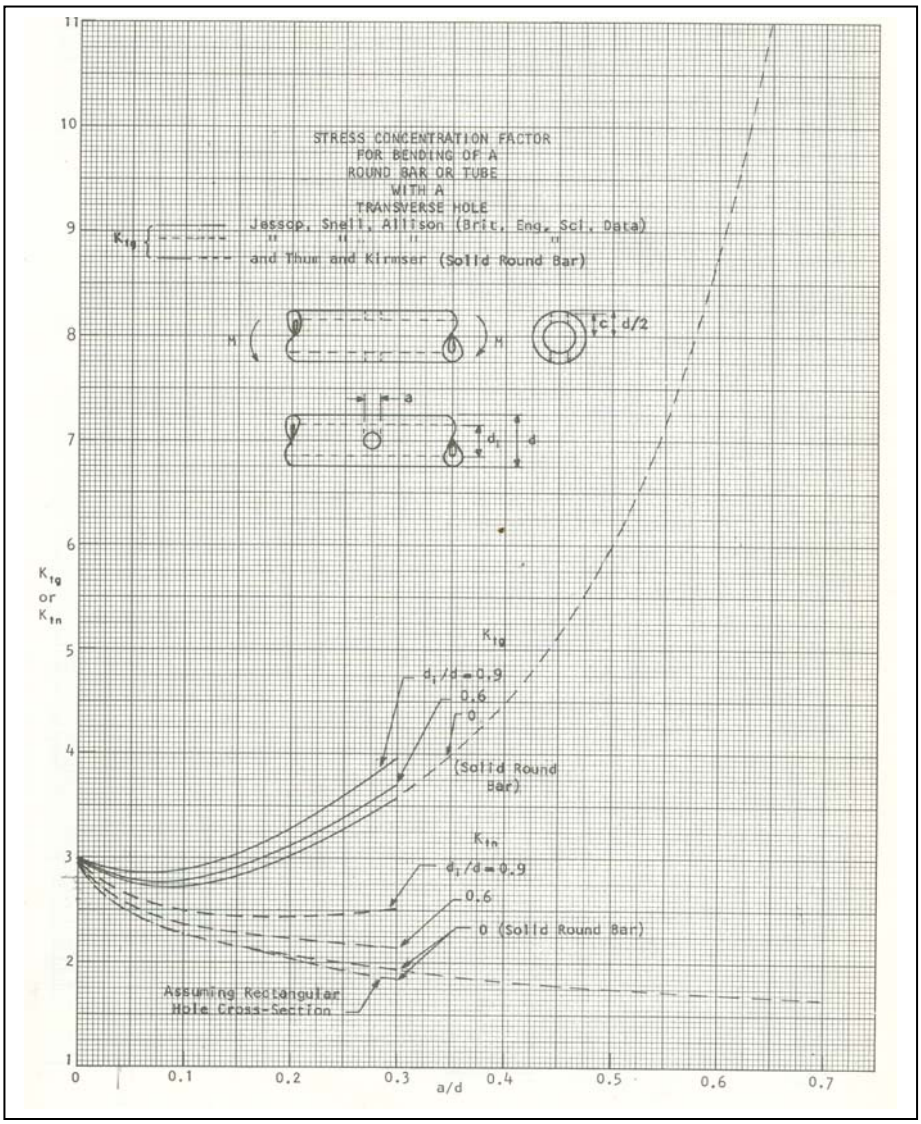
- Se diseño y construyo un mecanismo de empuje que permite aumentar la velocidad y producción en la etapa de rallado, obteniendo rendimientos de 180 kilos por hora.

- Según el plan de mantenimiento es necesario hacer limpieza diaria después de terminada la jornada de trabajo ya que los residuos allí dejados pueden desmejorar la calidad del producto terminado.

ANEXOS

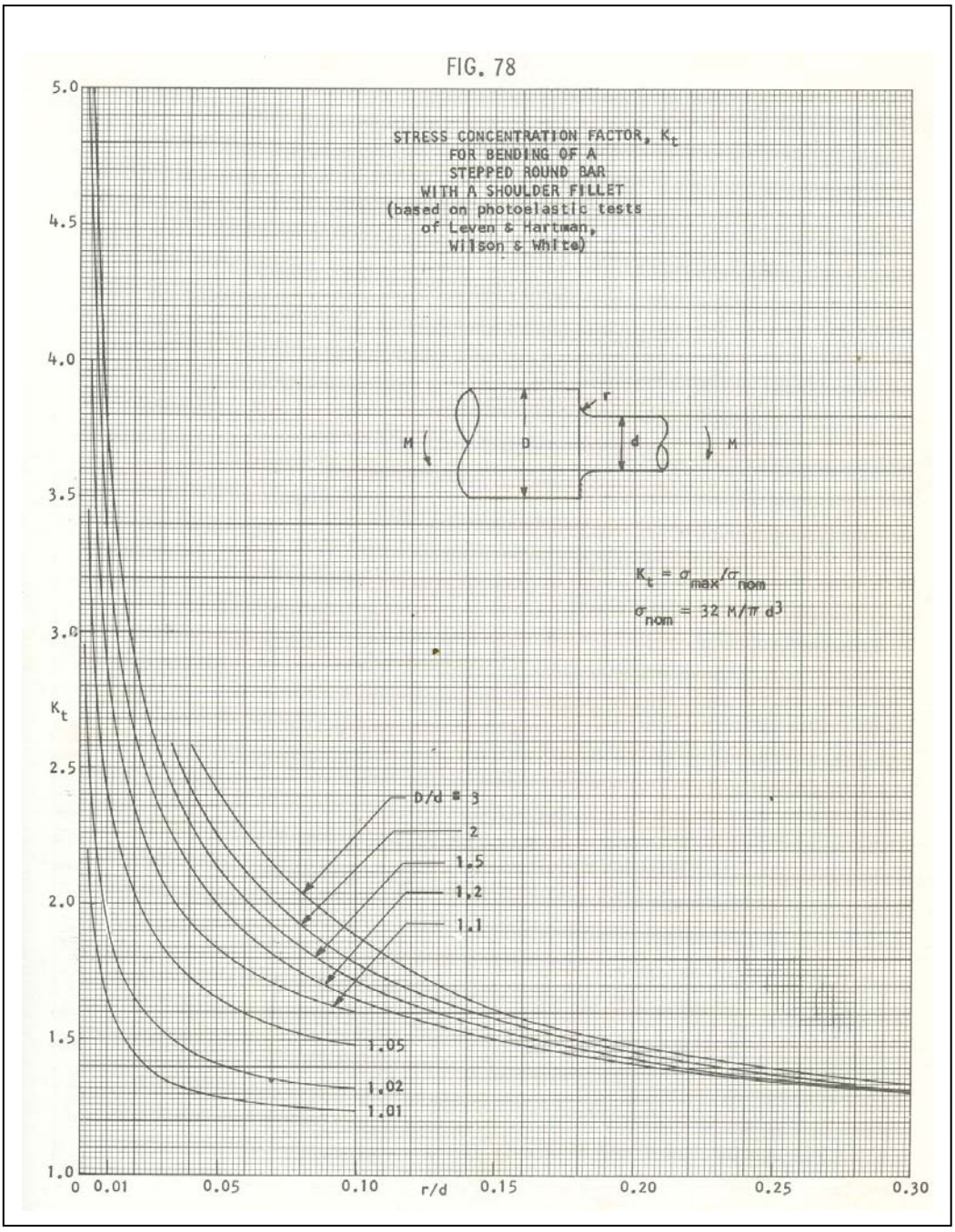
ANEXO 1.

FACTORES DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS POR FLEXIÓN PARA UNA BARRA CON UN ORIFICIO TRANSVERSAL



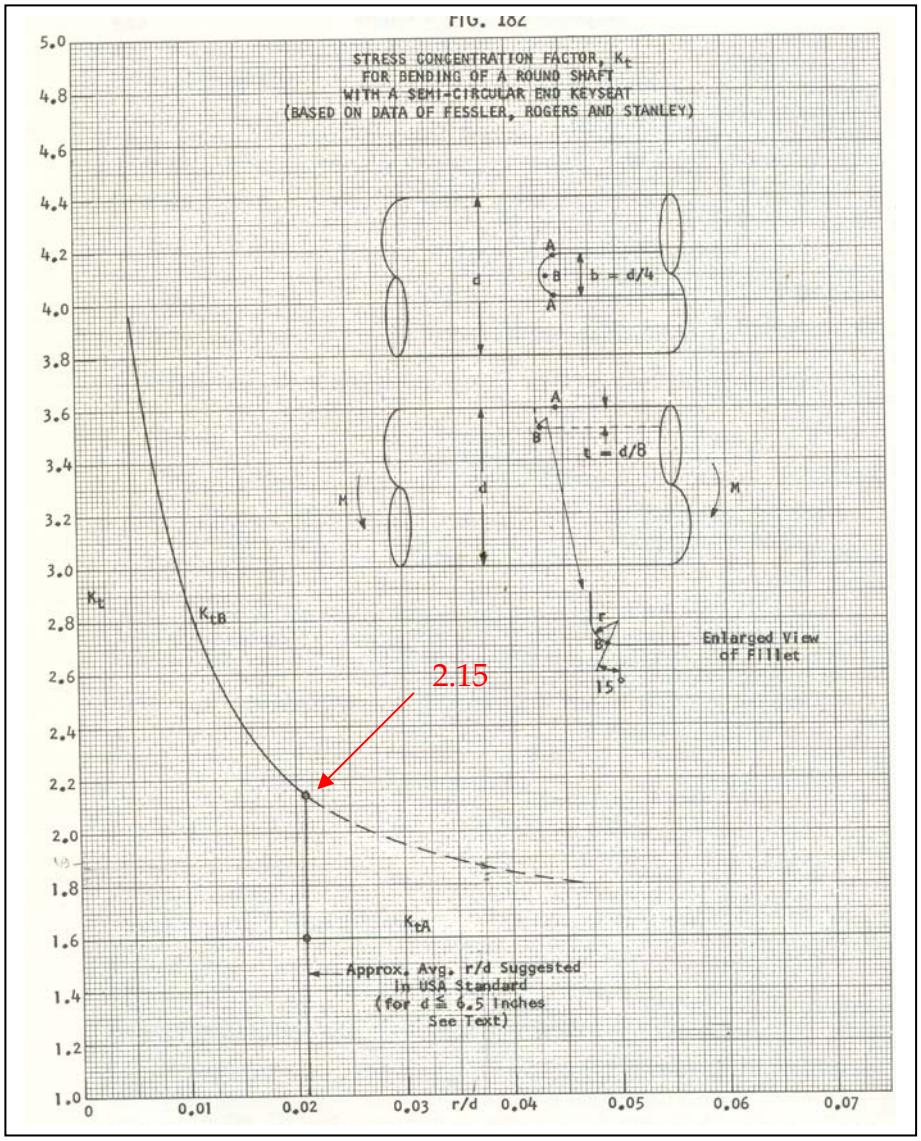
ANEXO 2.

FACTORES DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS K_T PARA UNA BARRA CON HOMBRO.



ANEXO 3.

FACTORES DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS POR FLEXIÓN CON CUÑA.



ANEXO 4

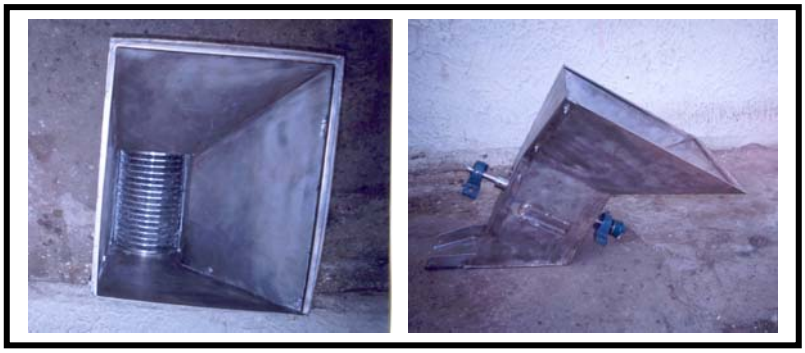
FOTOGRAFÍAS DE FABRICACIÓN

Fotografía 1. Mecanización

Fotografía 2. Construcción estructura

Fotografía 3. Construcción y galvanizado del tambor

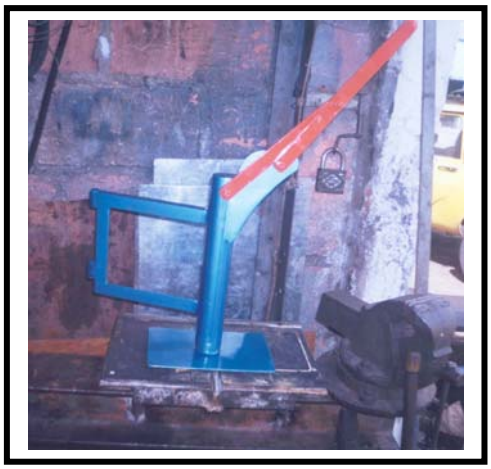
Fotografía 4. Ensamble de la ralladora.



Fotografía 5. Guarda de protección

Fotografía 6. Bandeja de inspección

Fotografía 7. Mecanismo de empuje



ANEXO 5

FOTOGRAFÍAS DE PROCESAMIENTO

Fotografía 8. Pelado de raíces de yuca

Fotografía 9. Descarga del tambor

ANEXO 6.

FOTOGRAFÍAS MAQUINA PARA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE RAÍCES DE YUCA.

Fotografía 10. Ensamble total 1.

Fotografía 11. Ensamble total 2.

Fotografía 12. Ensamble total 3.