



Establecimiento de una planta piloto para producción continua de harina refinada de yuca



SB
211
.C3
G373

Informe final. Marzo de 2006

513
211
163
6373



Ministerio de Agricultura y
Fomento Rural



24 MAR. 2006

222453

Establecimiento de una planta piloto para producción continua de harina refinada de yuca

Informe final

Proyecto desarrollado por:

Alberto García

Ingeniero Mecánico. Asistente de
poscosecha de yuca (Clayuca)

Cali, Colombia. E-mail: albertogarcia@mailworks.org

Sonia Gallego

Ingeniera Química. Asistente de
poscosecha de yuca (Clayuca)

Cali, Colombia. E-mail: sgallegocastillo@yahoo.com

Lisímaco Alonso

Ingeniero Agrícola. Coordinador de
sistemas de poscosecha de yuca

(Clayuca) Cali, Colombia. E-mail: L.alonso@cgiar.org

Palmira, marzo de 2006

Contenido

	Página
Resumen	1
Producto 1. Planta piloto continua de refinación diseñada para 100 kilogramos por hora	1
Actividad A. Establecimiento de las condiciones de operación del proceso	1
A.1. <i>Cambios en la planta piloto modular de refinación</i>	2
A.2. <i>Condiciones de operación</i>	3
Actividad B. Criterios de diseño	4
Actividad C. Elaboración de los planos de construcción	5
Producto 2. Planta continua productora de harina refinada de yuca construida y montada	6
Actividad A. Selección de la empresa constructora	6
Actividad B. Construcción y ensamblaje de la planta	6
Actividad C. Adecuación de la infraestructura de la planta de poscosecha de Clayuca	7
Actividad D. Montaje de la planta	7
Producto 3. Pruebas de ajuste y funcionamiento	7
Actividad A. Realización de las pruebas con base en las condiciones de operación seleccionadas previamente	7
Actividad B. Realización de ajustes necesarios en el diseño	8
Actividad C. Realización de pruebas finales de producción de harina	8
Actividad D. Caracterización de las harinas producidas	8
D.1. <i>Granulometría de partículas</i>	8
D.2. <i>Proximal de la harina refinada de yuca</i>	9
D.3. <i>Factores de conversión</i>	9
Producto 4. Costos de operación del proceso	9
Actividad A. Recolección de la información de los costos de inversión	9
Actividad B. Cálculo de costos de operación del proceso y aplicación del modelo de rentabilidad	11
B.1. <i>Costos de operación del proceso de harina refinada de yuca</i>	11
B.2. <i>Rentabilidad</i>	13
B.3. <i>Flujo de caja para la planta de producción de harina refinada de yuca.</i>	14
Actividad C. <i>Análisis de sensibilidad</i>	17
Producto 5. Manuales de instalación, operación y mantenimiento de la planta de harina refinada	17
Actividades A y B. <i>Elaboración de manuales</i>	17
Producto 6. Opciones de secado mixto de trozos de yuca evaluadas	19
Actividad A. Reformas en los secadores disponibles en las instalaciones de Clayuca	19
A.1. <i>Reformas en los cilindros de secado</i>	19
A.2. <i>Reformas en el secador de capa fija</i>	21
A.3. <i>Reformas en el área de secado natural (bandejas inclinadas)</i>	21

	Página
Actividad B. Definición de las opciones de secado mixto para la producción de trozos secos de yuca	22
<i>B.1. Descripción de equipos</i>	22
<i>B.2. Opciones de sistemas de secado</i>	25
Actividad C. Ensayos realizados en las diferentes opciones de secado	29
Producto 7. Elaboración de documento de divulgación	41
Actividad A, B y C. Actividades de divulgación	41
Anexo 1. Planos de construcción de la planta de producción de harina refinada	42
Anexo 2. Pruebas de ajuste y funcionamiento realizadas en la planta piloto modular	46
Anexo 3. Manual de instalación, operación y mantenimiento. Planta piloto para el procesamiento de harina de yuca	48
Anexo 4. Modelo matemático del cilindro rotatorio de secado artificial	74
Anexo 5. Plegables divulgativos:	
Planta piloto para la obtención de harina refinada de yuca	
Técnicas de deshidratación para la producción de yuca seca	77

Establecimiento de una planta piloto para producción continua de harina refinada de yuca

Resumen

Este proyecto se desarrolló con el propósito de implementar una tecnología a nivel piloto que permitiera desarrollar y expandir el procesamiento y el mercado de la harina refinada de yuca, contribuyendo con el mejoramiento económico de las zonas productoras de yuca.

Para este fin se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Montaje de una planta piloto que opere de forma continua con una capacidad de producción de 100 kilogramos por hora de harina refinada.

Objetivos específicos

1. Diseñar la planta piloto continua de refinación.
2. Construir y montar la planta de refinación.
3. Realizar pruebas de funcionamiento y ajuste.
4. Calcular los costos de operación y utilidad.
5. Elaborar manuales de operación y mantenimiento.
6. Evaluar la eficiencia de la planta piloto de secado artificial.
7. Elaborar documentos de divulgación.

Este informe, incluye las actividades que se realizaron para cumplir con los productos esperados.

Producto 1. Planta piloto continua de refinación diseñada para 100 kilogramos por hora

Actividad A

Establecimiento de las condiciones de operación del proceso

El Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (Clayuca) con sede en el CIAT, desarrolló el año 2000 un proyecto que buscaba extraer una harina refinada que tuviese bajos contenidos de fibra, ceniza, proteína y un alto contenido de almidón¹. Esta extracción se realizó a partir de trozos secos de yuca utilizando una mínima cantidad de agua en la fase inicial del lavado de las raíces frescas. La planta piloto modular para el proceso de molienda y tamizado funciona por etapas y fue la base para la obtención de las condiciones de operación aplicables al proceso continuo.

La planta piloto modular consta de un sistema de alimentación sinfín, un molino tamiz cilíndrico de aspas con tres cribas intercambiables, un motor, un ventilador y un par de ciclones para la clasificación y recolección neumática de la harina, como se muestra en la Figura 1.

¹ Barona S, Isaza L. Estudios para el desarrollo de un proceso de extracción de almidón a partir de trozos secos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con mínima utilización de agua. Tesis de pregrado de Ingeniería Agrícola. Universidad del Valle, Colombia. 2003.



Figura 1. Planta piloto modular de refinación de yuca.

Con miras a mejorar el funcionamiento de la planta piloto modular y diseñar un proceso continuo de extracción de harina, se realizaron algunos cambios en el sistema alimentador: se construyó un contraeje para tener un rango de alimentación conveniente y se independizó el sistema del ventilador centrífugo. Estos cambios permitieron desarrollar las pruebas de forma confiable y, a su vez, ayudaron a determinar las condiciones finales para el diseño y la construcción de la planta continua.

A.1. Cambios en la planta piloto modular de refinación

Sistema alimentador

Con el propósito de realizar pruebas de alimentación de la harina a la entrada axial central del ciclón clasificador, se le acopló un contraeje al sistema alimentador para lograr un rango adecuado de alimentación en kilogramos por hora, como se muestra en la Figura 2.

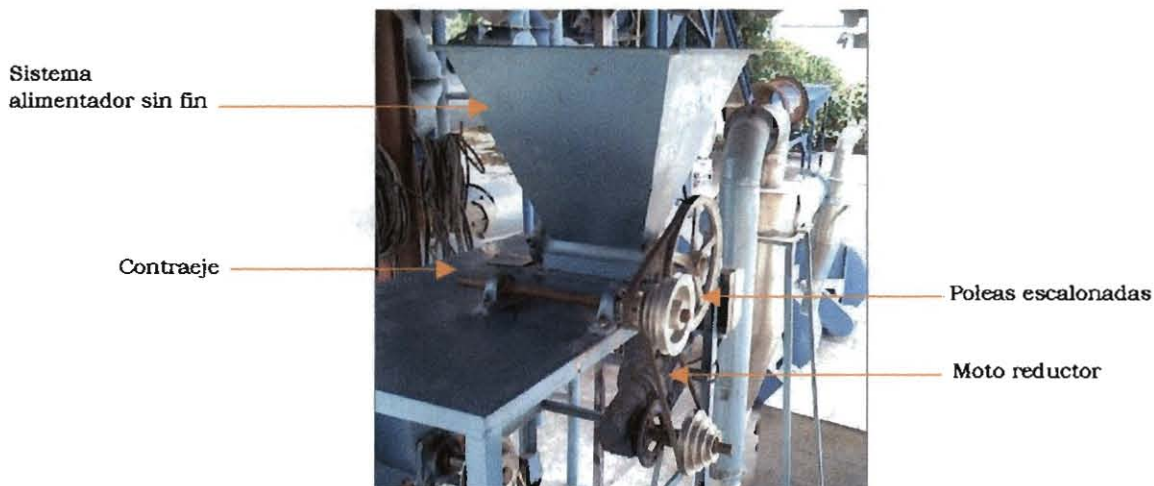


Figura 2. Contraeje del sistema alimentador.

Al contraeje instalado se le acopló una polea escalonada para correas en V con diámetros exteriores de 6, 5, 4 y 3 pulgadas que cumplen la función de variadores de velocidad. El mismo contraeje presenta una polea fija de 2.5 pulgadas de diámetro exterior que cumple la función de transmitir el movimiento a una polea de 12 pulgadas de diámetro exterior instalada en el eje del tornillo alimentador. El moto reductor tiene acoplada en su eje de salida una polea escalonada con las mismas características de la polea alojada en el contraeje.

Sistema de soporte del ventilador

En el diseño original, el ventilador y su motor formaban parte de la estructura de la tamizadora; la estructura del ventilador se soportaba inadecuadamente y la tensión de la correa que movía el ventilador se realizaba por medio del peso del motor, el cual estaba pivotado a la estructura del molino cilíndrico de aspas. Esta disposición de los elementos generaba el permanente desalineamiento del eje del ventilador, impidiendo su buen funcionamiento.

Debido a los inconvenientes antes mencionados y a la necesidad de realizar las pruebas, se independizaron los equipos de clasificación neumática de molienda y tamizado. Para lo anterior se construyó una mesa que sostiene el ventilador y al motor; el resultado se puede apreciar en la Figura 3.

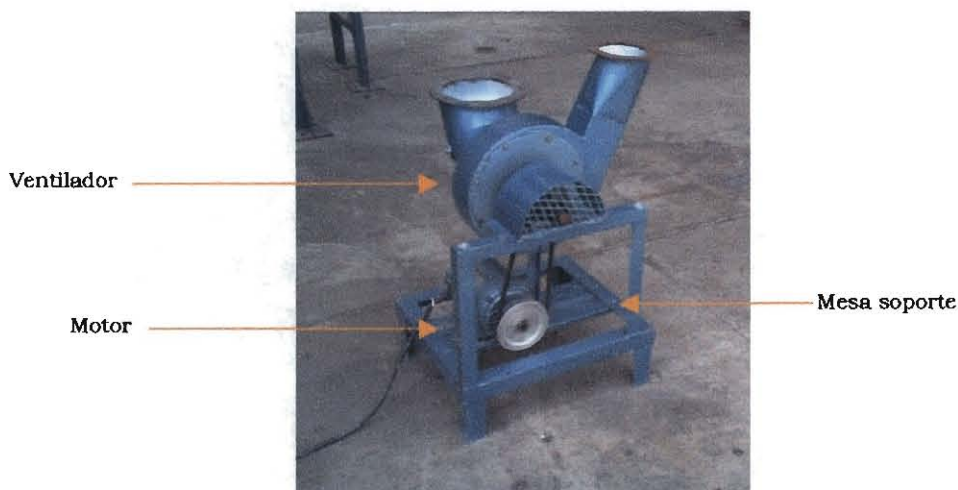


Figura 3. Sistema de soporte del ventilador centrífugo.

Esta nueva disposición del ventilador permite que su eje y carcasa queden sobre una misma estructura y evita el desalineamiento. Además se dispuso de dos rieles que sostienen el motor haciéndolo más estable a la estructura y permitiendo su deslizamiento para proporcionar la tensión necesaria a la correa.

A.2. Condiciones de operación

Sistema alimentador

Dentro de las condiciones de operación, las poleas instaladas en el sistema alimentador permitieron obtener diferentes velocidades de alimentación de harina refinada para las pruebas a realizar. (ver Tabla 1)

Tabla 1. Velocidades de alimentación de harina refinada.

Poleas (Diámetro exterior) (Pulgadas) Motriz - Conducida	Alimentación (kg/h)	Velocidad del eje (RPM)
3 - 3.	45	11
3 - 4.	35	8
3 - 5.	31	6.4
3 - 6	24	5.3
4 - 3.	65	15
4 - 4.	45	11
4 - 5.	40	8.6
4 - 6.	30	7.1
5 - 3.	79	18.7
5 - 4.	58	13.6
5 - 5.	45	11
5 - 6.	41	9
6 - 3.	100	22.6
6 - 4.	70	16.5
6 - 5.	57	13.2
6 - 6.	45	11

Velocidades del sistema neumático

En las pruebas se midieron las velocidades del aire en la entrada al ciclón clasificador con un anemómetro digital que tiene rangos de velocidad entre 50-6,000 pies por minuto. La variación del aire a la entrada del ventilador se controló con una compuerta que se regula para obtener once aberturas diferentes.

Utilizando poleas de 6 pulgadas en el motor y de 3 pulgadas en el eje del ventilador, se obtuvieron las velocidades del aire en pies por metro (ft/m) y su conversión a metros por segundo (m/s), mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2. Velocidades del aire de entrada del ciclón clasificador.

Polea motriz 6", conducida 3"											
Abertura 1		Abertura 2		Abertura 3		Abertura 4		Abertura 5		Abertura 6	
ft/m	m/s	ft/m	m/s	ft/m	m/s	ft/m	m/s	ft/m	m/s	ft/m	m/s
1108.0	5.6	1355.7	6.9	1768.2	9.0	2146.9	10.9	2345.3	11.9	2711.6	13.8
Abertura 7		Abertura 8		Abertura 9		Abertura 10		Abertura 11			
ft/m	m/s	ft/m	m/s	ft/m	m/s	ft/m	m/s	ft/m	m/s		
2990.6	15.2	3314.0	16.8	3548.4	18.0	3691.8	18.8	4114.1	20.9		

Actividad B **Criterios de diseño**

Las modificaciones realizadas al sistema de alimentación y al transporte de la harina por medio neumático, permitieron determinar las mejores condiciones de alimentación versus el transporte de harina. Gracias a los diferentes rangos medidos, se realizaron varias pruebas que determinaron las condiciones para el diseño de la planta piloto continua. Se determinó que para alimentaciones superiores a 70 kilogramos por hora de harina, el proceso de clasificación y recolección dentro de los ciclones se hizo más eficiente. Este criterio nos llevó a pensar en un

diseño que además de cumplir con la alimentación estipulada de 100 kilogramos por hora, se pensara en instalar ciclones en paralelo para permitir una mayor alimentación a la prevista.

Para minimizar la cantidad de harina en el ripio final evitando su repase, se aumentaron de longitud los molinos tamizadores y cribas o mallas en cuarenta centímetros, con el propósito de darle más permanencia a los trozos secos y a la harina dentro del molino, y así obtener un ripio libre de harina y, por consiguiente, una mayor eficiencia de extracción.

Se rediseñó el sistema de extracción de la criba o malla ubicada dentro del molino, ya que antes se requerían unos veinte minutos aproximadamente para el intercambio de la malla. Con el diseño actual, esta actividad se efectuó solamente en cuatro minutos, cuando requiere limpieza.

En la Figura 4 se aprecia el esquema que se concibió para la construcción final de la planta piloto continua.

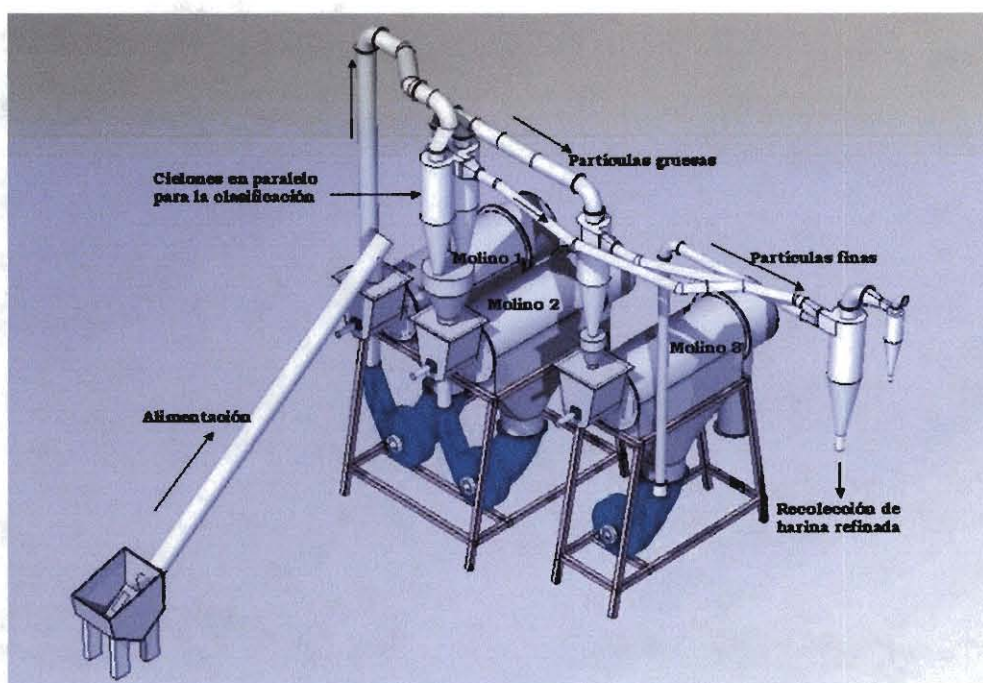


Figura 4. Esquema de diseño propuesto para la planta continua de refinación.

Actividad C

Elaboración de los planos de construcción

Para esta actividad, se tuvieron en cuenta los aspectos a mejorar de la planta piloto modular presentados en la actividad B (criterios de diseño)

En el Anexo 1 se presentan los planos de construcción pertenecientes a los diferentes elementos que conforman la planta.

Producto 2. Planta continua productora de harina refinada de yuca construida y montada

Actividad A

Selección de la empresa constructora

Para la selección, se tuvo en cuenta la experiencia en la construcción de equipos agroindustriales y las buenas ideas que pudieran aportar las diferentes empresas consultadas. La empresa seleccionada fue Metálicas Metropolitana ubicada en la calle 70 No 1A10-22 Cali, Valle del Cauca.

A continuación se relacionan los elementos contruidos para el montaje de la planta continua de refinación.

- Tres molinos tamizadores cilíndricos, de 120 centímetros de largo por 45 centímetros de diámetro, donde se incluyen: paletas, eje, tornillo alimentador y el cuerpo del molino.
- Tres ventiladores centrífugos para elevar la harina a los ciclones.
- Cinco ciclones separadores de 120 centímetros de alto por 30 centímetros de diámetro con acoples.
- Veinte metros (aproximados) de tubería de 5 pulgadas de diámetro, con sus accesorios.
- Un elevador tipo sinfin de 5 pulgadas de diámetro por 86 pulgadas de largo, con tolva dosificadora para ser alimentada con trozos secos en el primer molino.
- Un soporte para alojar dos molinos, construido en tubo de acero gris de 4 pulgadas por 2 pulgadas.
- Un soporte para alojar un molino, construido en tubo de acero gris de 4 pulgadas por 2 pulgadas.
- Tres cilindros en malla de acero inoxidable, de 120 centímetros por 29.5 centímetros de diámetro.
- Instalaciones eléctricas con un control de mando y variador de frecuencia.

Actividad B

Construcción y ensamblaje de la planta

En el mes de noviembre de 2004 se empezó la construcción de la planta en la ciudad de Cali. Inicialmente, se construyeron las bases que sirven de soporte para los demás elementos del montaje, se elaboraron pequeños ensamblajes a medida que se construían las diferentes piezas.

A finales del mes de enero de 2005 se realizó un ensamblaje de prueba en el taller donde se realizaba su construcción (ver Figura 5), para posteriormente trasladar la planta a las instalaciones de Clayuca.



Figura 5. Ensamblaje de prueba de la planta en la empresa constructora.

En este ensamble de prueba se realizaron algunos ajustes al diseño inicial, se replantearon los espacios entre molinos y los ciclones recolectores de la harina. Este cambio se basó en la movilidad que el operario debe tener en la planta dentro del proceso y del espacio disponible para la instalación final de la planta.

Actividad C

Adecuación de la infraestructura de la planta de poscosecha de Clayuca

Para la instalación de la planta de refinación, se habilitó un espacio contiguo a la planta piloto de secado de yuca que tiene Clayuca en las instalaciones del CIAT.

Actividad D

Montaje de la planta

En el mes de febrero de 2005, se dio inicio al montaje de la planta de refinación en el CIAT. (ver Figura 6)

Se ensamblaron todos los elementos pertenecientes al sistema. En esta actividad se presentaron algunos imprevistos que se solucionaron a medida que se llevaba a cabo el montaje final. Se realizaron las instalaciones eléctricas correspondientes a la capacidad energética requerida por la planta. Posteriormente, se realizaron pruebas de ajuste para encontrar las mejores condiciones de operación.



Figura 6. Montaje de la planta continua de refinación en las instalaciones del CIAT.

Producto 3. Pruebas de ajuste y funcionamiento

Actividad A

Realización de las pruebas con base en las condiciones de operación seleccionadas previamente

En estas pruebas se evaluó la alimentación de 100-200 kilogramos por hora de trozos secos y se determinaron las velocidades del aire que permiten buenos resultados para predecir el comportamiento de la clasificación de partículas en los ciclones.

Pruebas preliminares de la velocidad del aire

Para encontrar las condiciones de operación más convenientes, se realizaron pruebas con una alimentación de 100 kilogramos por hora y las velocidades del aire medidas a la entrada del ciclón clasificador, pudiéndose determinar los rangos de velocidad a manejar para las pruebas

finales de 5.6, 10.9, 15.2, 18 y 21 metros por segundo y una caída de presión respectivamente de 0.5, 1.8, 3.5, 4.9, 6.6 pulgadas de agua dentro del ciclón, que permitieron tener datos a analizar en la determinación de las condiciones de operación del proceso (ver Anexo 2)

En estos análisis se encontró, que el proceso se hace eficiente en términos de clasificación y recolección de las harinas cuando se trabajan con velocidades del aire mayores a 11 metros por segundo; no obstante, se pensó en realizar nuevas pruebas con alimentaciones mayores a 100 kilogramos de harina por hora, con el propósito de encontrar una mayor capacidad de producción.

Actividad B

Realización de ajustes necesarios en el diseño

Con miras a un aumento en la eficiencia de la planta de refinación, se optó por la instalación de un variador de frecuencia en el sistema alimentador. La instalación de este controlador de alimentación permitió tener rangos más altos de alimentación de trozos secos en kilogramos por hora, con el objetivo de aumentar la producción de harina refinada del equipo y bajar los costos del proceso.

Actividad C

Realización de pruebas finales de producción de harina

Se realizaron pruebas con alimentaciones de 150, 200, 250 y 300 kilogramos por hora de trozos secos. Se lograron buenos resultados en cuanto a clasificación de partículas en los ciclones, granulometría, producción de harina y costos de producción, manejando alimentaciones de 300 kilogramos por hora de trozos secos para una producción de 230 kilogramos por hora de harina refinada.

Actividad D

Caracterización de las harinas producidas

D.1. Granulometría de partículas

Para los ensayos realizados con 300 kilogramos por hora de trozos secos, se efectuaron pruebas de granulometría con la ayuda de un tamizador vibratorio Ro-Tap (ver Figura 7)

Este conjunto de pruebas permitió encontrar rangos de tamaño de partículas para conocer qué tan finas son las harinas.



Figura 7. Tamizador Ro-Tap.

Las pruebas de granulometría arrojaron como resultado que la harina refinada tiene un porcentaje alto de partículas impalpables. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Granulometría de partículas de la harina refinada.

Granulometría de la harina	
Micras	%
Mayor de 150	2
Entre 106 y 150	3
Entre 44 y 106	5
Menores de 44	90

D.2. Proximal de la harina refinada de yuca

Un análisis proximal realizado para una muestra de harina refinada fue el siguiente:

Humedad	8.3%
Carbohidratos	86.7%
Proteína	1.7%
Fibra cruda	1.3%
Cenizas	1.2%
Extracto etéreo	0.8%

Estos análisis realizados indican que a pesar de que los contenidos de proteína, fibra cruda y ceniza son bajos, aún presentan valores por encima del 1%. Los contenidos de estos materiales en el almidón dulce puro están por debajo de 1%.

D.3. Factores de conversión

En el proceso de extracción de la harina refinada, se obtiene un subproducto denominada ripio que se compone de porciones de cáscara, cascarilla, fibra y ceniza que se separan de la harina. Para obtener 1 kilogramo de harina refinada se requiere 1.4 kilogramos de trozos secos de yuca con una humedad del 12%. En términos de yuca fresca, se requieren 3.5 kilogramos de raíces de yuca para obtener el mismo kilogramo de harina refinada.

1.4 - 1 Trozos secos - Harina refinada

Producto 4. Costos de operación del proceso

Actividad A

Recolección de la información de los costos de inversión

En las Tablas 4, 5 y 6 se muestran los costos de inversión de los equipos, el sistema eléctrico y los motores eléctricos que conforman la planta piloto de refinación.

Tabla 4. Costos de inversión de los componentes de la planta piloto de refinación. Cali, noviembre 2004.

Ítem	Descripción de elementos	Valor unitario (\$col)	Valor total (\$col)
1	- Tres molinos tamizadores cilíndricos para harina de yuca, de 120 cm de largo x 45 cm de diámetro, donde se incluyen: paletas, eje, tornillo alimentador y el cuerpo del molino, incluyendo la tolva de descarga.	2,500,000	7,500,000
2	- Tres ventiladores centrífugos para elevar la harina a los ciclones.	1,000,000	3,000,000
3	- Cinco ciclones separadores de 120 cm de alto x 30 cm de diámetro con acoples.	500,000	2,500,000
4	- Veinte metros (aproximados) de tubería de 5 in de diámetro, con sus accesorios.	2,500,000	2,500,000
5	- Un elevador tipo sinfín de 5 in x 86 in con tolva y dosificador para alimentar trozos secos al primer molino.	2,000,000	2,000,000
6	- Un soporte para alojar dos molinos, construido en tubo de acero gris de 4 in x 2 in.	500,000	500,000
7	- Un soporte para alojar un molino, construido en tubo de acero gris de 4 in x 2 in.	500,000	500,000
8	- Tres cilindros en malla de acero inoxidable para tamizar la harina, de 120 cm x 29.5 cm de diámetro.	500,000	1,500,000
9	- Tres juegos de aspas en acero inoxidable.	1,000,000	1,000,000
Valor total de equipos			\$21,000,000

Tabla 5. Costos de inversión del sistema eléctrico de la planta piloto de refinación. Cali, noviembre 2004.

Ítem	Descripción de elementos	Valor unitario (\$col)	Valor total (\$col)
1	- Un toma de sobreponer más clavija de 3 x 100 A industrial.	312,000	312,000
2	- Un toma de sobreponer más clavija de 3 x 63 A industrial.	162,500	162,500
3	- Un breaker THQL 3 x 50 A	15,900	15,900
4	- Doce metros de cable encauchetado 4 x 6 AWG.	15,000	180,000
5	- Doce metros de cable encauchetado 4 x 8 AWG.	10,000	120,000
6	- Una prensa estopa Wusley de 1 in.	1,700	1,700
7	- Una prensa estopa Wusley de ¾ in.	1,100	1,100
8	- Un breaker THQC o montaje en riel de 3 x 50 A	12,000	12,000
9	- Un cofre metálico rebra ref. COF60.	123,200	123,200
10	- Un cofre metálico rebra ref. COF40.	74,700	74,700
11	- Dos rieles omega x 1 metro.	5,390	10,780
12	- Seis contactores marca Wusley Ref. LO1D3210 A 220V.	24,900	149,400
13	- Tres contactores marca Wusley Ref. C11D0910 A 220V.	10,800	32,400
14	- Tres relés bimetalico marca Wusley Ref. LR2D13 12-18A.	18,400	55,200
15	- Tres relés bimetalico marca Wusley Ref. LR2D13 9-13A.	18,400	55,200
16	- Un relé bimetalico marca Wusley Ref. LR2D13 4-6A	18,400	18,400
17	- Dos relés bimetalico marca Wusley ref. LR2D13 16-25A	18,400	36,800
18	- Dos breaker para control de 4A	21,000	42,000
19	- Dos breaker para control de 2A	21,000	42,000
20	- Cincuenta metros de cable # 16 AWG para vehículo	190	9,500
21	- Veinticuatro tornillos galvanizados de 3/16 in x ¾ in	62	1,488
22	- Doce tornillos galvanizados de 3/16 in x 1 in	36	432
23	- Seis tornillos galvanizados de 3/16 in x 2 in	46	276
24	- Veinticuatro correas de nylon de 10 cm	10	240
Valor total de equipos			\$1,457,216

Tabla 6. Costos de inversión de los motores eléctricos de la planta piloto de refinación. Cali, noviembre 2004.

Ítem	Descripción de elementos	Valor unitario (\$col)	Valor Total (\$col)
1	- Tres motores trifásicos de 4 HP a 1800 RPM	452,985	1,358,955
2	- Tres motores trifásicos de 5 HP a 1800 RPM	509,616	1,528,848
3	- Tres válvulas esclusas	1,100,000	3,300,000
4	- Un moto reductor de 0.5 HP	900,000	900,000
5	- Dos motoreductores de 0.2 HP	600,000	1,200,000
6	- Un variador de frecuencia	700,000	700,000
Valor total de equipos			\$8,987,803

Actividad B

Cálculo de costos de operación del proceso y aplicación del modelo de rentabilidad.

B.1. Costos de operación del proceso de harina refinada de yuca.

Para la estimación de los costos se tomaron como base 44,571 kilogramos de harina refinada producidos durante un mes de operación, empleándose alimentaciones alrededor de 300 kilogramos por hora de trozos secos. En la Tabla 7 se registran los costos de operación.

Materia prima (trozos secos) = 62,400 kg

Harina refinada producida = 44,571 kg

Relación trozos secos - harina refinada: 1.4 - 1

Tabla 7. Costos de operación del proceso de harina refinada en la planta piloto. Cali, noviembre 2005.

I. Capacidad básica			
Producción diaria	1.710	t	
Producción anual de la planta ⁽¹⁾	533.52	t	
Capacidad diaria de planta ⁽²⁾	2.57	t	
Capacidad anual de planta ⁽³⁾	800	t	
Utilización de la capacidad instalada ⁽⁴⁾	67%		
II. Información de costos/t harina			
Unidad de producción:	1	t harina	
Concepto	Unidad	Costo unitario (\$Col)	# unidad/t harina
Insumos			
Materia prima (trozos secos) ⁽⁵⁾	t	0	1.4
Energía	(Kwh)	182	103
Empaques polipropileno	Unidad	400	25
Bolsas plásticas	Unidad	560	50
Mano de obra			
Operario 1	Hora-Hombre	1,834	0.11
Operario 2	Hora-Hombre	1,834	0.11
Subtotal horas mano de obra			0.214
Costos variables/t de harina		Costo/t (\$Col)	Peso de los costos
Insumos			
Yuca seca		0	0.00%
Energía		18,664	17.50%
Empaques polipropileno		10,000	9.37%
Bolsas plásticas		28,000	26.25%
Subtotal insumos		56,664	53.12%
Mano de obra			
Operario 1		196	0.18%
Operario 2		196	0.18%
Subtotal mano de obra		392	0.37%
Total costos variables		57,056	53.49%
Costos fijos/t de harina		Costo/t (\$Col)	Pesos de los costos
Administración ⁽⁶⁾			
Gerente		26,811	25.13%
Vigilante		11,998	11.25%
Servicios públicos administrativo ⁽⁷⁾		4,498	4.22%
Otros gastos administrativos ⁽⁸⁾		2,165	2.03%
Subtotal administración		45,472	
Mantenimiento ⁽⁹⁾		4,139	3.88%
Total costos fijos		49,611	46.51%
Total costo de operación/t harina		106,667	100%

Notas aclaratorias

⁽¹⁾ Producción actual de la planta trabajando 8 horas diarias de producción continua.

⁽²⁾ Se supone que la planta puede trabajar un total de 12 horas diarias.

⁽³⁾ Es la producción anual suponiendo la capacidad anterior. (ver nota 2)

⁽⁴⁾ Indica el porcentaje de utilización de la capacidad instalada.

⁽⁵⁾ Precio de la yuca seca puesta en planta.

⁽⁶⁾ Corresponde al salario básico más 49% de carga prestacional de los empleados administrativos. El vigilante tiene un salario básico de \$358,000

⁽⁷⁾ Se suponen \$200,000 de energía, agua y teléfono.

⁽⁸⁾ Papelería e imprevistos (energía y acueducto) del área administrativa. 5% del total de la administración.

⁽⁹⁾ Corresponde al mantenimiento de los equipos de la planta de harina refinada.

En conclusión, el costo total de operación para obtener una tonelada de harina refinada de yuca sería de \$106,667. En estos costos no se tuvo en cuenta el valor de la materia prima o trozos secos.

Para el análisis del modelo de rentabilidad, se tuvo en cuenta como supuesto un precio de la materia prima (trozos secos de yuca) de \$400 por kilogramo. El costo total de producción de una tonelada de harina refinada de yuca sería entonces \$666,667.

En resumen el costo total de producción de una tonelada de harina refinada de yuca se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Resumen de costos de producción de harina refinada. Cali, noviembre 2005.

Item	Valor	Porcentaje
Costo variable materia prima ⁽¹⁾	\$560,000	84%
Costos variables (insumos, mano de obra)	\$57,056	9%
Costos fijos	\$49,611	7%
Costo total producción/t harina	\$666,667	100%
⁽¹⁾ Costo de 1.4 toneladas de trozos secos para producir 1 tonelada de harina refinada.		

B.2. Rentabilidad

Para realizar el análisis de flujo de caja en los que incurrirá la planta en los diez años presupuestados de operación y determinar la tasa financiera de retorno se requiere calcular las ventas y los costos de producción anuales de la planta. En la Tabla 9 se registran los rubros, costos variables y costos fijos anuales, precio de ventas y ventas anuales. Aparte de la venta de la propia harina, producto principal de la planta, también se consigna la venta del subproducto denominado ripio.

Tabla 9. Costo anuales y ventas de la harina producida en la planta de refinación. Cali, noviembre 2005.

Base de cálculo⁽¹⁾:	534	t/harina	
Producción subproducto (ripio)	213.6	t de ripio/año	
Concepto	Unidad	Costo unitario(\$Col)	# unidades/año
Insumos			
Materia prima (trozos secos)	t	400,000	747
Energía	(Kwh)	182	54,712
Empaques polipropileno	Unidad	400	13,338
Bolsas plásticas	Unidad	560	26,676
Mano de obra			
Operario 1	Hora-Hombre	1,834	57
Operario 2	Hora-Hombre	1,834	57
Subtotal horas mano de obra			114
Costos variables anuales		Costo/ t (\$Col)	Peso de los costos
Insumos			
Materia prima (yuca seca)		298,771,200	83.65%
Energía		9,957,671	2.79%
Empaques polipropileno		5,335,200	1.49%
Bolsas plásticas		14,938,560	4.18%
Subtotal insumos		329,002,631	92.11%
Mano de obra			
Operario 1		104,582	0.03%
Operario 2		104,582	0.03%
Subtotal mano de obra		209,164	0.06%
Total costos variables/año		329,211,795	92.17%
Costos Fijos Anuales		Costo/ t (\$Col)	Peso de los costos
Gastos administrativos			
Gerente		14,304,000	4.00%
Vigilante		6,401,040	1.79%
Servicios públicos administrativo		2,400,000	0.67%
Otros gastos administrativos		1,155,252	0.32%
Subtotal administración		24,260,292	
Mantenimiento		1,155,252	0.32%
Otros gastos administrativos		2,541,554	0.71%
Total costos fijos/año		27,957,098	7.83%
Total costo de producción/año		357,168,893	100%
Ventas anuales		(\$COL)	
Precio de venta/t subproductos (ripio)		150,000	
Precio de venta/t harina refinada ⁽²⁾		800,000	
Total ventas subproductos		32,011,200	
Total ventas harinas ⁽³⁾		426,816,000	
Total ventas		458,827,200	

Notas aclaratorias

⁽¹⁾ Producción anual de harina refinada de yuca.

⁽²⁾ Equivale al 80% del precio de la harina de trigo. Harina de trigo en promedio a \$1000/kg

⁽³⁾ No incluye el costo de ventas (se encuentra en la matriz de flujo de caja)

B.3. Flujo de caja para la planta de producción de harina refinada de yuca.

En la Tabla 10, se registra el flujo de caja para un período de operación de la planta de diez años. Se manejó un costo de inversión inicial en la planta de \$55,200,000 (noviembre 2005) a un 40% de su capacidad instalada al primer año y se incrementaron a un 60 % el segundo año.

Como se puede apreciar en el flujo de caja, la Tasa Financiera de Retorno (TFR) fue del 27%, con un valor presente neto de \$167,821,486; lo anterior bajo los supuestos aplicados (escenario base). La planta productora de harina refinada de yuca es financieramente viable, dado que por cada \$100 invertidos en la planta, nos genera \$27 adicionales según el flujo de beneficios esperados en los 10 años de operación.

Tabla 10. Matriz de flujo de caja para la planta de producción de harina refinada. Cali, noviembre 2005.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	TOTAL
Tasa de inflación ⁽¹⁾											
Inversión inicial (\$Col)	55,200,000										
Utilización de la capacidad		40%	60%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	67%	
Ingresos (\$Col)											
Ventas ⁽²⁾		275,296,320	412,944,480	458,827,200	458,827,200	458,827,200	458,827,200	458,827,200	458,827,200	458,827,200	3,900,031,200
Costo de ventas ⁽³⁾		13,764,816	20,647,224	22,941,360	22,941,360	22,941,360	22,941,360	22,941,360	22,941,360	22,941,360	195,001,560
Impuesto de ventas (10%)		27,529,632	41,294,448	45,882,720	45,882,720	45,882,720	45,882,720	45,882,720	45,882,720	45,882,720	390,003,120
Ventas netas ⁽⁴⁾		234,001,872	351,002,808	390,003,120	390,003,120	390,003,120	390,003,120	390,003,120	390,003,120	390,003,120	3,315,026,520
Capital de trabajo (año 2004)	18,790,348				0						
Capital de trabajo (año 2005-2013)	10,754,798	0	8,230,295	2,743,432	0	0	0	0	0	0	
Capital de trabajo total ⁽⁵⁾	29,545,146	275,296,320	412,944,480	458,827,200	458,827,200	458,827,200	458,827,200	458,827,200	458,827,200	458,827,200	3,900,031,200
Egresos (\$Col)											
Costos variables		197,527,077	296,290,615	329,211,795	329,211,795	329,211,795	329,211,795	329,211,795	329,211,795	329,211,795	2,798,300,254
Costos fijos		27,957,098	27,957,098	27,957,098	27,957,098	27,957,098	27,957,098	27,957,098	27,957,098	27,957,098	251,613,886
Total (fijos + variables)		225,484,175	324,247,714	357,168,893	357,168,893	357,168,893	357,168,893	357,168,893	357,168,893	357,168,893	3,049,914,140
Flujo neto de caja (\$Col)	(84,745,146)	8,517,697	26,755,094	32,834,227	32,834,227	32,834,227	32,834,227	32,834,227	32,834,227	32,834,227	180,367,234
Indicadores financieros											
Tasa Financiera de Retorno (TFR)	27%		TFR Mínimo	1%							
Valor presente neto (VPN) \$Col	167,821,486		VPN Mínimo	>0							

Notas aclaratorias

* La depreciación es considerada una figura contable, por lo tanto no se incluye el flujo de caja.

⁽¹⁾ Este modelo es deflactado, por lo tanto no tiene en cuenta la inflación.

⁽²⁾ Se supone un crecimiento de ventas del 60 y 90%

⁽³⁾ Representa gastos en representación y promoción. Equivale al 0.5% del valor total de las ventas.

⁽⁴⁾ Ventas brutas menos el costo de ventas.

⁽⁵⁾ Equivale a un mes de gastos y costos. Esta relacionado con el crecimiento presupuestado de costos variables.

** El capital de trabajo total equivale al inicial y a la variación del mismo por el aumento de los costos variables llevados al año presente.

*** El capital de trabajo se convierte en ingreso al final del proyecto.

Actividad C

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad fue realizado para determinar las variaciones de la Tasa Financiera de Retorno (TFR) y el valor Presente Neto (VPN) respecto de las variables consideradas críticas en el proceso (uso de la capacidad instalada, días de trabajo de la planta, precio de la materia prima y precio de venta de la harina). (ver Tabla 11)

Tabla 11. Análisis de sensibilidad de las variables económicas de la planta piloto de refinación. Cali, noviembre 2005.

Variables	TFR	VPN
Escenario base	27%	167,821,486
Sin venta de subproducto (ripio)		
Producción del 80% de lo inicialmente estimado ⁽¹⁾	15%	74,894,517
Producción del 60% de lo inicialmente estimado ⁽²⁾	-4%	(18,169,597)
Trabajando la planta solo 20 días al mes	12%	60,281,572
Si el precio de la materia prima se incrementa en un 5%	9%	45,384,680
Si el precio de la harina de yuca cae en un 5%	6%	27,653,266
Notas aclaratorias		
⁽¹⁾ Equivale al 80% respecto al escenario base (1,710 t/día)		
⁽²⁾ Equivale al 60% respecto al escenario base (1,710 t/día)		

Con base en el análisis de sensibilidad, la viabilidad financiera del proyecto está determinada por la venta del subproducto (ripio), ya que la sola producción y venta de harina refinada de yuca representaría un TFR de -12%.

Por otra parte, variables como el costo de la materia prima (trozos de yuca seca) y el precio de venta de la harina refinada de yuca, son determinantes para la viabilidad financiera del proyecto, al ser ésta altamente sensible ante variaciones en estos precios.

En segundo plano, se pueden considerar el uso de la capacidad instalada y los días realmente trabajados, ya que su alta incidencia en la viabilidad financiera está determinado por el alto peso que los costos fijos tienen dentro del escenario analizado.

Producto 5. Manuales de instalación, operación y mantenimiento de la planta de harina refinada

Actividades A y B

Elaboración de manuales

El documento elaborado es una guía para la buena operabilidad de la planta de refinación. Presenta instrucciones para conocer el funcionamiento, operación y mantenimiento de los diferentes elementos que componen la planta. Es importante tener en cuenta todas las recomendaciones del manual y evitar un mal manejo de los equipos.

En el Anexo 3 se muestran los manuales de instalación, operación y mantenimiento de la planta de harina refinada.

Producto 6. Planta piloto de secado artificial de Clayuca evaluada

Inicialmente la evaluación se realizaría a la planta piloto de secado artificial de Clayuca que en el año 2004 fue modificada por la empresa Maquinarias Tremdco, empresa filial de Inversiones Armare y responsable de las plantas agroindustriales de yuca instaladas en los departamentos de Córdoba (Valencia), Putumayo (Orito y Villa Garzón) y Cesar (Tamalameque).

Se quería, en ese entonces, evaluar este tipo de sistema de secado que había propuesto Maquinarias Tremdco utilizando como herramienta básica una modelación matemática que predijera el comportamiento y las características del proceso de secado de yuca bajo ciertas condiciones de operación.

Después de finalizado el montaje por parte de Tremdco del nuevo módulo de secado a la planta piloto continua de Clayuca, se realizaron algunas reformas que serían útiles para iniciar la valoración técnica del módulo de secado y, posteriormente, realizar los ensayos experimentales de secado que servirían para ajustar el modelo matemático que Clayuca implementó y utilizó en el pasado, con éxito en el sistema de secado de yuca de Industrias Protón² (ver Anexo 4)

Paralelamente, Clayuca fue elegida para realizar una consultoría de evaluación del componente agroindustrial de la planta de secado de yuca en el municipio de Valencia, departamento de Córdoba. Esta planta deshidratadora, como se mencionó antes, tenía el mismo sistema de secado de yuca instalado por Maquinarias Tremdco en la planta piloto de Clayuca, por lo que dada la premura por dicha consultoría, se decidió realizar primero el plan de trabajo propuesto con anterioridad en el primer módulo de la planta de secado del municipio de Valencia, Córdoba. En ese momento se pensó que los resultados servirían de base para acelerar la evaluación de la planta piloto de Clayuca.

Los resultados obtenidos en la valoración de la planta de Valencia, Córdoba, determinaron la inviabilidad de este sistema, por el diseño mismo de sus elementos mecánicos y porque se comprobó que en estos sistemas no es posible secar trozos de yuca con contenidos de humedad superiores a 45%³. Debido a lo anterior se decidió suspender las actividades de evaluación de la planta piloto artificial de Clayuca tal como se había consignado en el producto 6 de la propuesta inicial del presente proyecto.

En consecuencia, Clayuca propuso reemplazar el objetivo específico 6 de la propuesta inicial por el siguiente:

Objetivo específico 6

Evaluar las opciones de secado mixto de trozos de yuca con base en los sistemas natural (bandejas inclinadas) y artificial (capa fija y planta piloto continua) pertenecientes a Clayuca.

Por lo tanto el producto 6 derivado del objetivo anterior quedó establecido de la siguiente forma:

² Gallego S, Tobar L. Evaluación técnica de la primera etapa de secado en la planta piloto de secado artificial de yuca, Clayuca-Protón. Tesis de pregrado de Ingeniería Química. Universidad del Valle, Colombia. 2003.

³ Alonso L, Gallego S, Moya N. Informe de valoración técnica de la planta de secado de yuca del municipio de Valencia, Córdoba. Informe final de consultoría Clayuca-Fupad. Colombia. 2005.

Producto 6. Opciones de secado mixto de trozos de yuca evaluadas

Actividades a realizar para desarrollar este producto:

- A. Reformas en los secadores disponibles en las instalaciones de Clayuca.
- B. Definición de las opciones de secado mixto para la producción de trozos secos de yuca.
- C. Realización de ensayos en las diferentes opciones de secado.
- D. Realización del informe de evaluación de las opciones de secado.

Con este estudio se definieron los parámetros más relevantes para el secado mixto de yuca y se elaboraron los costos de producción de trozos secos para cada opción.

Actividad A

Reformas en los secadores disponibles en las instalaciones de Clayuca

A.1. Reformas en los cilindros de secado

Estas reformas comprendieron la modificación de los cilindros rotatorios y el direccionamiento del aire dentro de los cilindros.

Inicialmente, la malla perforada de los dos cilindros fue cambiada por lámina lisa para que funcionaran como secadores rotatorios convencionales, además se aislaron térmicamente con fibra de vidrio para evitar grandes pérdidas de calor (ver Figura 8).



Figura 8. Cilindros con lámina lisa y aislamiento térmico.

El flujo de aire que ingresaba perpendicularmente a los cilindros por los agujeros fue modificado para que entrara directamente al interior de los cilindros por un extremo. Esto garantiza que los trozos de yuca tengan un contacto directo con el aire de secado que circula por dentro de los cilindros de un extremo al otro, desplazándose en contracorriente con el producto.

En la planta piloto también fueron necesarias algunas adecuaciones y construcciones de equipos para la optimización del proceso de secado en los cilindros rotatorios.

Se construyó un tornillo alimentador para los trozos presecos y molidos a la banda transportadora que lleva material al primer cilindro (ver Figura 9). La boca de descarga del ciclón recolector de finos de la última etapa de secado en la planta piloto fue modificada para una mejor operación del equipo (ver Figura 10).



Figura 9. Alimentador de tornillo para los trozos presecos.



Figura 10. Ciclón recolector de la última etapa de secado, planta piloto Clayuca.

Para el lavado de las raíces se adecuó un tanque de 1.8 metros cúbicos de capacidad para el almacenamiento de la solución de hipoclorito de sodio utilizada en la desinfección las raíces (ver Figura 11).



Figura 11. Tanque de almacenamiento de solución desinfectante de hipoclorito de sodio para el lavado de las raíces.

A.2. Reformas en el secador de capa fija

En una evaluación realizada por el CIAT en los años 90's al secador de capa fija con circulación artificial de aire caliente, se obtuvieron buenos resultados para diversas fuentes de calor, tales como diesel, gas propano, carbón mineral y un colector solar.

Ahora, con la intención de usar nuevamente este secador de capa fija fueron necesarias algunas reformas en las dos cámaras de 6 metros cuadrados que componen el secador (cambio de láminas para el techo y nuevo tablado en madera para el piso falso de las cámaras). También fueron habilitados el ventilador axial y el quemador de ACPM (ver Figura 12).



Figura 12. Ventilador axial y quemador de ACPM del secador de capa fija.

Otras dos cámaras de secado más pequeñas (2 metros cuadrados cada una) fueron acondicionadas para la realización de ensayos con poca carga de material con el fin de realizar curvas de secado y cuantificar el efecto de emplear altas temperaturas en el aire de secado (ver Figura 13). También se adquirió un quemador de gas propano, para determinar consumos de combustible y costos de procesamiento y, tal vez, disminuir costos de producción de los trozos de yuca seca.



Figura 13. Cámaras pequeñas de secado para el secado en capa fija.

A.3. Reformas en el área de secado natural (bandejas inclinadas)

El área de secado natural en bandejas se amplió con la intención de manejar una mayor capacidad de secado. La fabricación de nuevas bandejas y la reparación de otras que se encontraban en mal estado fueron las adecuaciones realizadas (ver Figura 14).



Figura 14. Área de secado natural en bandejas, instalaciones de Clayuca.

Actividad B

Definición de las opciones de secado mixto para la producción de trozos secos de yuca

B.1. Descripción de equipos

En estos momentos Clayuca cuenta con tres equipos de secado que están disponibles en las instalaciones del CIAT: bandejas inclinadas, un secador de capa fija o tandas y una planta piloto continua artificial.

Sistema natural de bandejas inclinadas

El método más económico y mundialmente más usado en las últimas décadas para el secado de trozos de yuca es el secado natural sobre pisos de cemento. El secado sobre bandejas inclinadas evita el contacto con el piso y acelera la deshidratación por la acción adicional de la circulación de aire a través de los trozos. Se ha escogido entonces el secado en bandejas inclinadas como una forma para realizar el presecado.

Las bandejas están construidas con un marco de madera cuya base está formada por una malla; las dimensiones de las bandejas son 1.85 metros de largo por 0.9 metros de ancho. Se colocan en un ángulo entre 25 y 30 grados sobre dos hileras de postes y barandas de bambú (ver Figura 15).



Figura 15. Secado natural en bandejas inclinadas, instalaciones de Clayuca.

Secador artificial en capa fija o por tandas

A pesar de las mejoras hechas en las técnicas de secado natural y de las ventajas que ofrece sobre el secado artificial (en términos de costos de inversión y operación), es un método que no se puede emplear en regiones donde las condiciones ambientales sean desfavorables. Por estas razones el uso de secadores por tandas con aire caliente en circulación directa a través de una capa o lecho fijo, es una buena alternativa para condiciones climáticas de alta humedad y lluvias.

El secado artificial en capa fija consiste básicamente en el paso de un flujo uniforme de aire caliente a través de una capa de producto de 100 a 300 milímetros de espesor. El secador es un compartimiento de construcción simple de ladrillo, con piso falso de lámina perforada sobre el que descansa el producto. Un ventilador hace circular el aire por la cámara de 6 metros cuadrados, mientras que un quemador calienta al aire indirectamente. Para que el secado sea uniforme es preciso voltear el producto en forma permanente (ver Figura 16).



Figura 16. Secador de capa fija, instalaciones de Clayuca.

Secador piloto de flujo continuo

La primera parte de la planta piloto de Clayuca consta básicamente de una estructura de soporte en la que están montados dos cilindros rotatorios fabricados en lámina de acero inoxidable y equipados con aspas de elevación en su interior, un tornillo sin fin recolector de finos, un sistema de suministro de aire caliente compuesto por un ventilador centrífugo conectado a un intercambiador de calor de vapor y un sistema de extracción de aire compuesto por dos ventiladores centrífugos. Los cilindros están aislados con fibra de vidrio para minimizar las pérdidas de calor (ver Figura 17).



Figura 17. Primer módulo de secado, planta piloto de Clayuca.

La segunda parte del secado se realiza en dos cilindros de carcasa estática. La carcasa es un cilindro metálico ordinario revestido con fibra de vidrio en cuyo interior gira un conjunto de eje y paletas que tienen la función de mezclar y llevar el producto de un extremo al otro (ver Figura 18). El aire de secado se suministra desde un ventilador que tiene acoplado un intercambiador de calor de vapor.



Figura 18. Segundo módulo de secado, planta piloto de Clayuca.

B.2. Opciones de sistemas de secado

Las diferentes opciones que se consideraron evaluar inicialmente para la producción de los trozos secos de yuca, se diferencian básicamente por la combinación de los secadores que se tienen disponibles para tal fin.

Las combinaciones de los equipos que se han considerado para manejar el estudio sobre secado son las siguientes:

1. Secado mixto artificial: los trozos frescos se presecan inicialmente en el secador de capa fija y luego son finalmente deshidratados en la planta piloto continua.
2. Secado artificial por tandas: los trozos se secan completamente en el secador de capa fija o tandas.
3. Secado mixto semicontinuo: los trozos inicialmente se secan en bandejas inclinadas y finalmente se termina la deshidratación en la planta piloto continua.
4. Secado mixto por tandas: los trozos se secan inicialmente de forma natural en bandejas y luego de forma artificial por tandas en el secador de capa fija.

Las operaciones requeridas para la producción de los trozos secos de yuca en los ensayos están esquemáticamente presentadas para cada una de las opciones de secado que se describieron anteriormente.

Opción 1.

Secado mixto artificial

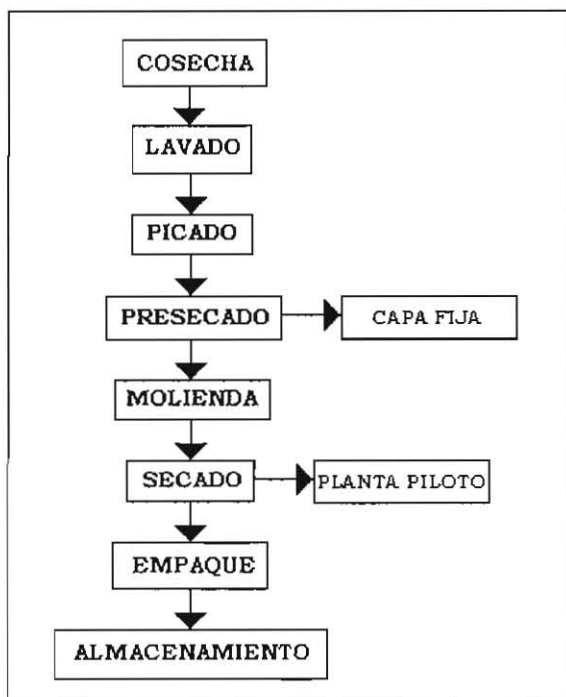


Figura 19. Esquema del proceso de secado, opción 1.

Las operaciones del proceso: cosecha, lavado, picado, empaque y almacenamiento son iguales para todas las opciones de secado.

Lavado: La cosecha en general acarrea consigo gran cantidad de tierra adherida a las raíces que reduce el valor nutritivo del producto seco, por su alto contenido de cenizas, especialmente de sílice. En tales circunstancias se hace necesario lavar las raíces antes de ser

picadas. Esta operación la realiza una lavadora que consiste en un cilindro cuyas paredes son de lámina galvanizada con agujeros ovalados o rectangulares. Tiene una compuerta de carga a lo largo del cilindro y una tolva de descarga a un extremo de este (ver Figura 20).



Figura 20. Lavadora de raíces de yuca.

Picado: Con el fin de acelerar la tasa de secamiento, y así obtener un producto de buena calidad, las raíces se deben cortar en trozos de tamaño uniforme para aumentar el área de la superficie expuesta al aire de secado. De los varios modelos de disco trozador a utilizar en la picadora se eligió el disco tipo Colombia (ver Figura 21), por producir un trozo en forma de barra rectangular de aproximadamente 0.5 centímetros cuadrados de área seccional y 3 centímetros de largo.



Figura 21. Picadora de yuca con disco tipo Colombia.

Presecado: El presecado se realiza en el secador de capa fija hasta que los trozos hayan perdido un 25-30% de humedad, es decir pasan de 65-70% a 40% de humedad.

Molienda: La molienda se realiza teniendo en cuenta que el tamaño de los trozos influye considerablemente en el tiempo de secado: cuanto más fino sea el trozo, más corto el tiempo para liberar el agua retenida en sus tejidos. Esta operación se realiza en un molino de martillos móviles con un diámetro de 30 centímetros; el producto pasa por una criba de 12 milímetros (ver Figura 22).

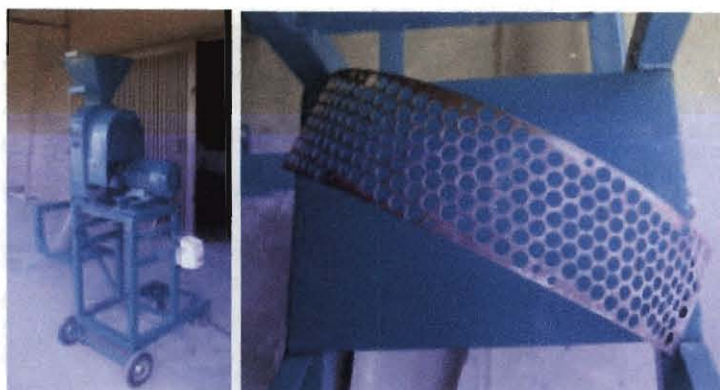


Figura 22. Molino de martillos y criba.

Secado: El secado de los trozos se realiza en los secadores rotatorios de la planta piloto hasta que estos lleguen a una humedad segura.

Empaque y almacenamiento: Una vez secos los trozos, se empacan en costales de polietileno para luego ser almacenados (ver Figura 23).

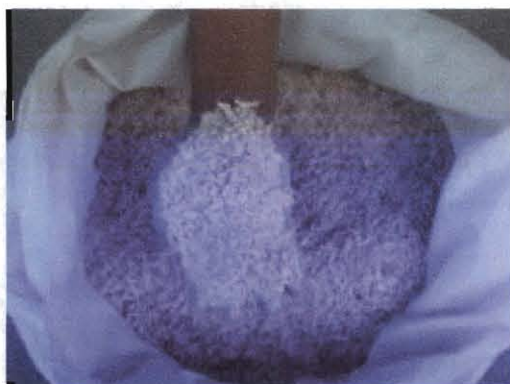


Figura 23. Trozos de yuca secos.

Opción 2.

Secado artificial por tandas

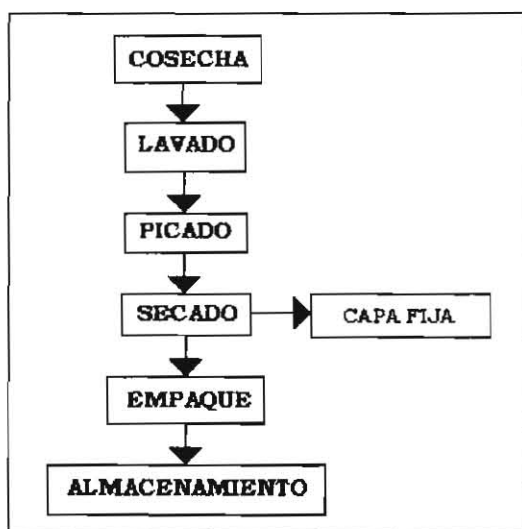


Figura 24. Esquema del proceso de secado, opción 2.

En esta opción no se realiza el presecado, pues todo el proceso de secado se lleva a cabo en el secador de capa fija.

Opción 3.

Secado mixto semicontinuo

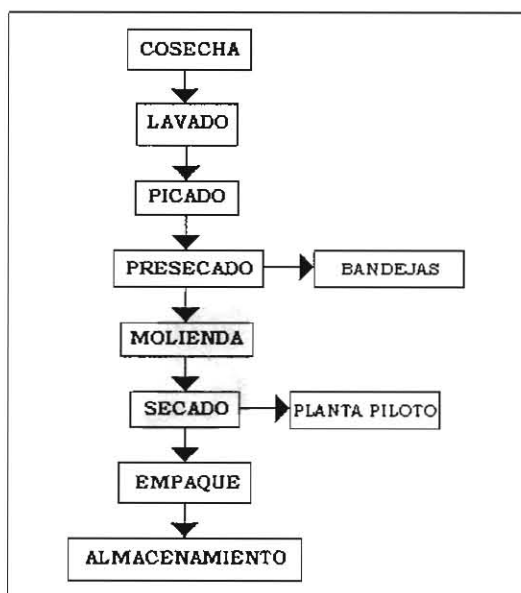


Figura 25. Esquema del proceso de secado, opción 3.

Presecado: El presecado se realiza de forma natural en bandejas inclinadas hasta que los trozos lleguen a un 40% de humedad.

Molienda: La molienda se realiza como en la opción 1 en el molino de martillos de la Figura 22.

Secado: De nuevo en los secadores rotatorios de la planta piloto se efectúa el secado final de los trozos.

Opción 4.

Secado mixto por tandas

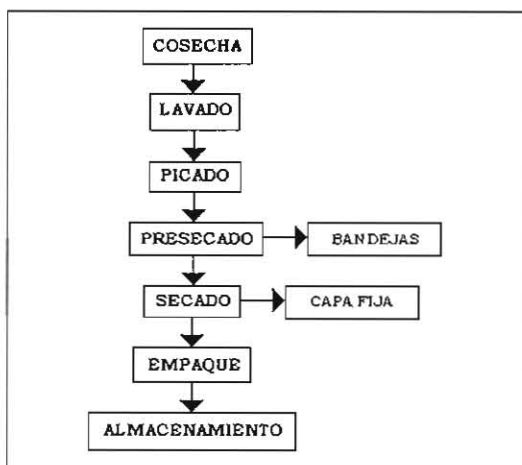


Figura 26. Esquema del proceso de secado, opción 4.

Presecado: Los trozos frescos se presecan en bandejas inclinadas hasta una humedad del 40% aproximadamente.

Secado: El secado final se realiza artificialmente en el secador de capa fija hasta que los trozos lleguen a una humedad segura para el almacenamiento.

Actividad C

Ensayos realizados en las diferentes opciones de secado

Con los ensayos se encontraron los valores de las principales variables que intervienen en el secado con el fin de evaluar la factibilidad técnica y económica de la operación. El secado es la operación más importante en el proceso de producción de los trozos secos por la demanda de tiempo y combustible, sobre todo para la yuca por su alto contenido de humedad inicial.

Con los ensayos realizados se ajustó el funcionamiento de los equipos, se establecieron las curvas de secado para diferentes densidades de carga y se definieron las variables que gobernaron el comportamiento de los tres diferentes tipos de secado que se utilizaron en el secado mixto. Además proporcionaron la información suficiente para determinar los rangos de operación y encontrar las condiciones de operación para la obtención de un producto seco y de buena calidad.

Las variables más importantes en cada equipo o sistema de secado, son:

- **Secado natural (bandejas inclinadas)**
 - Densidad
 - Volteo
 - Tamaño del trozo
- **Secado capa fija**
 - Densidad
 - Temperatura del aire
 - Flujo de aire
 - Volteo
 - Tamaño del trozo
- **Secado continuo en secadores rotatorios**
 - Carga por hora
 - Temperatura del aire
 - Flujo de aire
 - Revoluciones por minuto de los cilindros
 - Humedad inicial del trozo
 - Tamaño del trozo

Opción 1.

Secado mixto artificial (secador de capa fija + planta piloto continua)

En todos los ensayos se emplearon las mismas condiciones de operación en el secador de capa fija de 6 metros cuadrados para el presecado. Se aplicaron 230 metros cúbicos por minutos de aire caliente a 65°C por tonelada de yuca fresca (carga total de 600 kilogramos en el secador). La humedad inicial de estos trozos fluctuó entre 65-70% y la humedad al cabo de 4 horas de presecado estuvo entre 35-40%.

En todos los ensayos, los trozos semisecos (35-40%) previamente molidos alimentaron después la planta piloto de secado continuo a razón de 100 kilogramos por hora aplicándoles un flujo de aire de 500 pies cúbicos por minuto a una temperatura promedio de 100°C. En la operación de

molienda se presentaba un descenso aproximado en la humedad de los trozos de 3-5%. El tiempo de retención de los trozos en el secador de flujo continuo fue aproximadamente 60 minutos, al cabo del cual se obtuvieron trozos entre 10-12%.

Una curva promedio en la que se presentan las etapas de secado (de 3 ensayos realizados) bajo esta opción se muestra en la Figura 27.

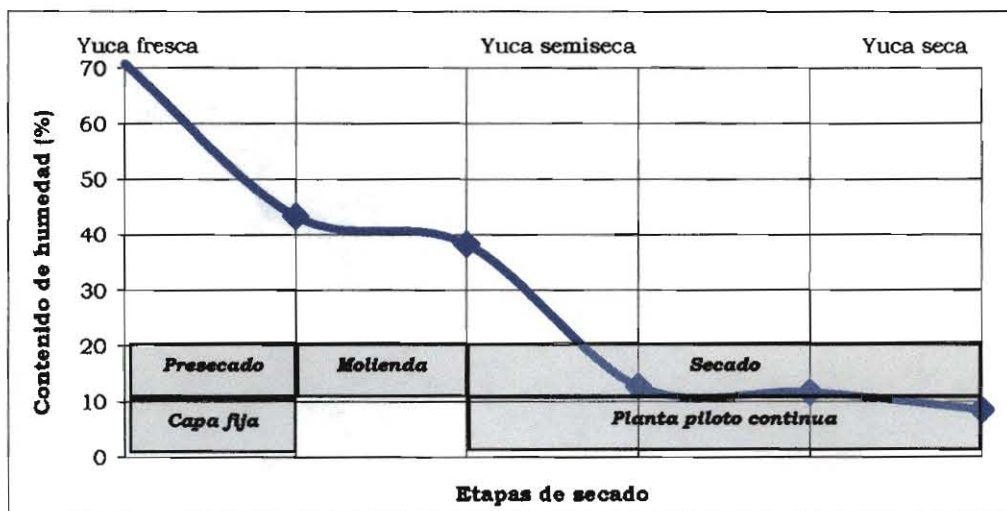


Figura 27. Etapas de secado para la opción 1.

En la Tabla 12 se muestra la relación de costos totales de producción de trozos secos de yuca para esta opción 1 (secado mixto artificial)

Tabla 11. Costos totales de producción de trozos secos de yuca para la opción 1 (secado mixto artificial) Cali, 2005.

Producto principal:

Trozos de yuca seca

I. Información básica

Yuca fresca por día ⁽¹⁾	1.2	t
Producción de yuca seca por día ⁽²⁾	0.5	t
Producción de yuca seca por semana ⁽³⁾	1.9	t
Producción de yuca seca al mes ⁽⁴⁾	7.6	t
Producción de yuca seca al año ⁽⁵⁾	91.6	t
Factores de conversión		
Factor de conversión Yuca fresca/Yuca semiseca	1.57	
Factor de conversión Yuca semiseca/Yuca seca	1.60	
Factor de conversión Yuca fresca/Yuca seca	2.51	

II. Información de costos totales /t yuca seca ⁽⁶⁾

Unidad de producción:		l	t yuca seca	
Concepto	Unidad	Costo unidad (\$Col)	# unidades/ t yuca seca	
Insumos				
Materia prima (Yuca fresca) ⁽⁷⁾	t	80,000	2.5	
Combustible (ACPM) ⁽⁸⁾	Galón	3,863	60.4	
Energía de proceso	kWh	204	320	
Empaques	Unidad	660	25	
Mano de obra ⁽⁹⁾	Hora-Hombre	3,125	27.4	
Costos variables /t de yuca seca		Costo/t YS (\$Col)	Peso de los costos	
Insumos				
Yuca fresca		201,143	29.5%	
Combustible		233,325	34.2%	
Energía		65,280	9.6%	
Empaques		16,500	2.4%	
Mano de obra		85,625	12.6%	
Total Costos Variables		601,873		
Costos fijos /t de yuca seca		Costo/t YS (\$Col)	Peso de los costos	
Depreciación y mantenimiento ⁽¹⁰⁾		80,000	11.7%	
Total costo de producción/t trozos secos		681,873	100.0%	

Notas aclaratorias

⁽¹⁾ Cantidad de yuca fresca a secar inicialmente en dos cámaras de secado de 6 m² cada una con una densidad de carga de 100 kg /m² y luego en la planta piloto de Clayuca de 150 kilogramos por hora.

⁽²⁾ Equivale a la producción de una jornada promedio de 10 horas por día.

⁽³⁾ Equivale a la producción de 4 días por semana.

⁽⁴⁾ Equivale a la producción de 4 semanas por mes.

⁽⁵⁾ Equivale a la producción de 12 meses por año.

⁽⁶⁾ Los costos de producción se obtienen para las condiciones del CIAT.

⁽⁷⁾ Precio de yuca fresca puesta en planta.

⁽⁸⁾ Combustible que actualmente utiliza la planta.

⁽⁹⁾ Se supone el jornal de trabajo de 8 horas diarias a \$25,000.

⁽¹⁰⁾ Depreciación: 10 años. Mantenimiento: 4% anual. Inversión Inicial: \$135'000,000.

El costo total de producción de una tonelada de trozos secos de yuca en esta opción sería de \$681,873 si se utiliza ACPM como combustible y yuca fresca a \$80,000 la tonelada.

Como los costos dependen en gran manera del combustible utilizado para el secado, también se realizó el cálculo de los costos con dos combustibles alternativos como el gas natural y el carbón mineral, considerados como los más económicos dentro de las diferentes opciones de combustibles fósiles en el país.

Así, si se utilizara gas natural en lugar del ACPM se podría reducir los costos a \$634,673 la tonelada de trozos secos de yuca, lo que significa una reducción del 7%. Entre tanto, si el combustible fuera carbón, la tonelada de trozos secos de yuca se produciría a \$489,078; costo mucho menor comparado con el ACPM y el gas natural. En este caso la reducción con respecto al ACPM sería del 28%, lo que convierte al carbón en el combustible más conveniente para la opción de secado mixto artificial (secador de capa fija + planta piloto).

Opción 2.

Secado artificial por tandas (secador de capa fija)

En esta opción el secado se realizó completamente en el secador de capa fija. Se manejaron cargas entre 600 y 1200 kilogramos de trozos frescos en una o en las dos cámaras de secado de 6 metros cuadrados cada una. Se aplicaron caudales de aire entre 115 y 230 metros cúbicos por minuto por tonelada de yuca fresca a una temperatura que osciló entre 60-70°C. La humedad inicial de los trozos de yuca estuvo en un rango de 58-70 %. Bajo estas condiciones, los resultados de los 13 ensayos realizados en esta opción se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Condiciones y resultados de los ensayos realizados bajo la opción de secado artificial por tandas en el secador de capa fija.

# ensayo	Carga inicial (kg)	Humedad inicial (%)	FC *	Caudal (m ³ /min t PF **)	Tiempo secado (h)	Consumo ACPM (Gal/t PS ***)
1	650	62	2.3	212	7	60
2	600	65	2.5	230	10	100
3	600	68	2.8	230	8	88
4	600	66	2.6	230	7	72
5	900	65	2.5	153	14	94
6	900	65	2.5	153	14	94
7	750	63	2.4	184	8	61
8	750	62	2.3	184	11	81
9	1200	70	2.9	115	18	105
10	600	62	2.3	230	7	65
11	600	60	2.2	230	8	70
12	1200	62	2.3	115	13	60
13	750	58	2.1	184	8	53

Temperatura promedio ambiente = 25°C
 Temperatura promedio aire secado = 65°C
 Humedad final = 12%
 Poder calorífico ACPM = 138,000 BTU/Gal

* FC = Factor de conversión
 ** PF = Producto fresco
 *** PS = Producto seco

Una curva promedio de secado para esta opción se muestra en la Figura 28. En ella se muestra la curva de un ensayo de secado de 750 kilogramos de yuca en una de las cámaras que componen el secador (Ensayo 13).

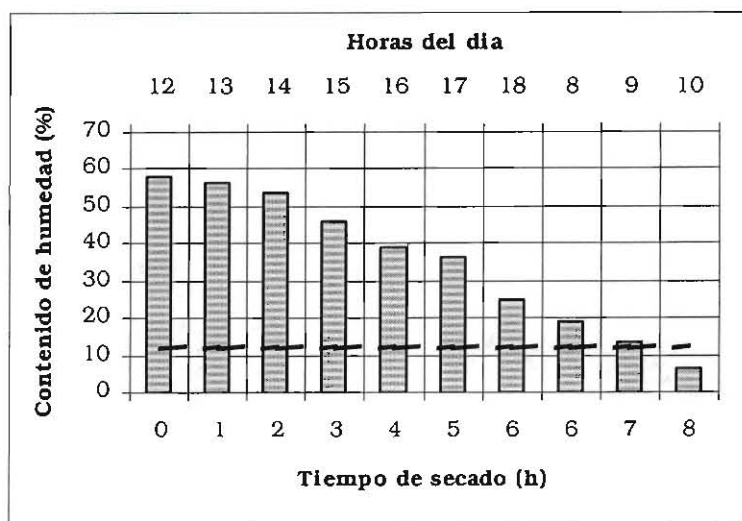


Figura 28. Curva de secado promedio para la opción 2.

De acuerdo con la Tabla anterior, los consumos promedio de combustible para los diferentes caudales utilizados en el secador de capa fija, se muestran en la Tabla 14. También se presentan los consumos calculados de gas natural y carbón para los diferentes caudales.

Tabla 14. Consumos promedio de combustibles para la opción de secado artificial por tandas en el secador de capa fija.

Caudal (m ³ /min t YF)	Tiempo neto (h)	Humedad inicial (%)	Consumo combustible		
			ACPM (Gal/t YS)	Gas natural (m ³ /t YS)	Carbón (kg/t YS)
230	8	64.2	78	306	526
184	9	61	65	253	435
153	14	65	94	366	628
115	15.5	66	80	313	537

Con base en los datos anteriores (ver Tabla 14) se estimaron los costos de producción de trozos secos de yuca obtenidos bajo esta opción. En la Tabla 15 se muestran los costos totales de producción de trozos secos bajo la modalidad de secado artificial por tandas en el secador de capa fija, utilizando como combustible ACPM. (Para un caudal de 115 m³/min t YF)

Tabla 15. Costos totales de producción de trozos secos de yuca para la opción 2. (Secado artificial por tandas con ACPM) Cali, 2005.

Producto principal:

Trozos de yuca seca

I. Información básica

Yuca fresca por tanda ⁽¹⁾	1.2	t
Producción de yuca seca por tanda ⁽²⁾	0.5	t
Producción de yuca seca por semana ⁽³⁾	1.0	t
Producción de yuca seca al mes ⁽⁴⁾	3.8	t
Producción de yuca seca al año ⁽⁵⁾	45.8	t

Factores de conversión

Factor de conversión Yuca fresca/Yuca semiseca	1.57
Factor de conversión Yuca semiseca/Yuca seca	1.60
Factor de conversión Yuca fresca/Yuca seca	2.51

II. Información de costos/ t yuca seca ⁽⁶⁾

Unidad de producción	l	t yuca seca	
Concepto	Unidad	Costo unidad (\$Col)	# unidades/ t yuca seca
Insumos			
Materia prima (Yuca fresca) ⁽⁷⁾	t	80,000	2.5
Combustible (ACPM) ⁽⁸⁾	Galón	3,863	80
Energía de proceso	kWh	204	218.4
Empaques	Unidad	660	25
Mano de obra ⁽⁹⁾	Hora-Hombre	3,125	12.6
Costos variables /t de yuca seca		Costo/t YS (\$Col)	Peso de los costos
Insumos			
Yuca fresca		201,143	30.7%
Combustible		309,040	47.1%
Energía		44,554	6.8%
Empaques		16,500	2.5%
Mano de obra		39,375	6.0%
Total Costos Variables		610,611	
Costos fijos /t de yuca seca		Costo/t YS (\$Col)	Peso de los costos
Depreciación y mantenimiento ⁽¹⁰⁾		45,000	6.9%
Total costo de producción/t trozos secos		655,611	100.0%

Notas aclaratorias

⁽¹⁾ Cantidad de yuca fresca a secar en dos cámaras de secado de 6 m² cada una con una densidad de carga de 100 kg/m².

⁽²⁾ Equivale a la producción de una tanda de 20 horas.

⁽³⁾ Equivale a la producción de 2 tandas por semana.

⁽⁴⁾ Equivale a la producción de 4 semanas por mes.

⁽⁵⁾ Equivale a la producción de 12 meses por año.

⁽⁶⁾ Los costos de producción se obtienen para las condiciones del CIAT.

⁽⁷⁾ Precio de yuca fresca puesta en planta.

⁽⁸⁾ Combustible que actualmente utiliza la planta.

⁽⁹⁾ Se supone un jornal de trabajo de 8 horas diarias a \$25,000.

⁽¹⁰⁾ Depreciación: 10 años. Mantenimiento: 4% anual. Inversión inicial: \$35'000,000.

El costo total de producción de una tonelada de trozos secos de yuca, bajo esta opción utilizando como combustible ACPM, sería de \$655,611. Por otro lado, si se utilizara gas natural como combustible se produciría la tonelada a \$593,215, lo que indica una reducción del 10%. Entre tanto, si se empleara carbón los costos de producción serían de \$400,271 la tonelada de trozos de yuca, es decir una reducción del 39%.

Para este caso se aplicaba el mismo caudal de aire caliente durante todo el tiempo de secado, pero si consideramos una reducción de caudal del 50% en el último tercio del tiempo de secado, el consumo de combustible se reduciría en un 13%, lo que disminuiría los costos de producción con ACPM a \$616,981 con gas natural a \$561,695 y con carbón a \$393,371 la tonelada de trozos de yuca seca.

En conclusión, con esta opción de secado (secador de capa fija) utilizando como combustible carbón y aplicando menos caudal al final del secado, se podría obtener la tonelada de trozos secos de yuca con un bajo costo de producción.

Opción 3

Secado mixto semicontinuo (secado en bandejas inclinadas + planta piloto continua)

Inicialmente, se realizaron 4 ensayos en bandejas inclinadas con el fin de determinar las curvas de secado para diferentes densidades de carga, las cuales oscilaron entre 10 y 18 kilogramos por metro cuadrado. Los ensayos se iniciaron en la mañana con el montaje y el pesaje inicial de las bandejas y de las cargas; cada dos horas se tomaba el peso de cada bandeja y al final de la jornada las bandejas se tapaban para evitar rehumedecimiento por alta humedad relativa en la noche o por lluvias eventuales. Aunque las bandejas permanecían cubiertas durante la noche, se experimentaron pérdidas de humedad entre un 3-5%. Al día siguiente se destapaban y se reiniciaba de nuevo el secado hasta llegar al 12% de humedad.

La Figura 29 muestra las curvas de secado en bandejas inclinadas para trozos de yuca en un ensayo en el que las condiciones climáticas fueron las adecuadas para el secado natural. (Temperatura mínima = 20°C Temperatura máxima = 32°C Humedad relativa promedio = 50%) Al respecto, conviene subrayar que las opciones de secado donde está involucrado el secado natural sólo pueden realizarse en épocas secas. En épocas de lluvia el secado tendría que efectuarse exclusivamente en los secadores artificiales.

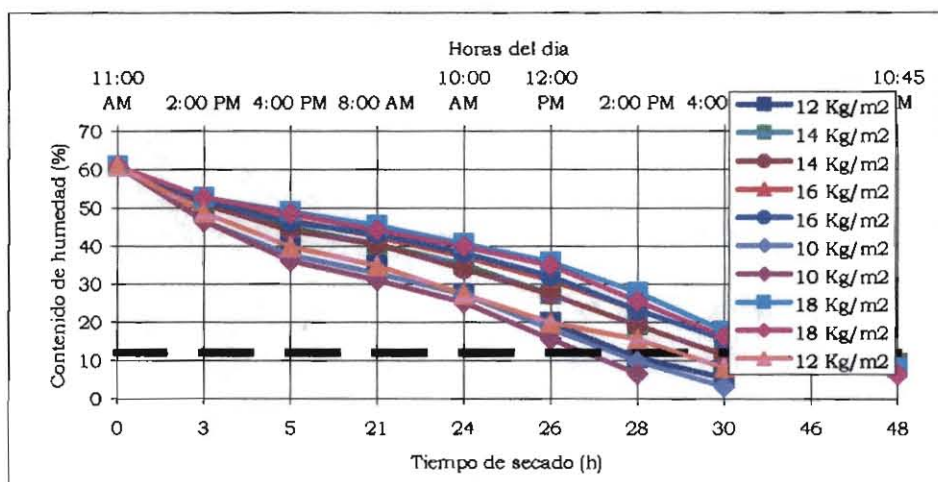


Figura 29. Curvas de secado para un ensayo representativo de secado natural en bandejas inclinadas.

En la Figura se observa que, dependiendo de la densidad de carga, el tiempo de secado total (incluyendo la noche) osciló entre 28-48 horas; es decir, 1 ó 2 días de secado. Con estas curvas se definió también la densidad de carga óptima para realizar el presecado de los trozos (40% de humedad) en aproximadamente un día de operación, tiempo establecido para el esquema de proceso en esta opción de secado mixto semicontinuo.

Posteriormente, se efectuaron 3 ensayos de secado mixto semicontinuo en los cuales se realizó, primero el presecado natural en 20 ó 30 bandejas con una densidad de carga de 12 kilogramos por metro cuadrado (20 kilogramos por bandeja). Al día siguiente se realizó la molienda de este producto semiseco, en el que se presentó una pequeña reducción de humedad del 3-5%. Posteriormente, los trozos semisecos y molidos alimentaron la planta piloto de secado continuo a razón de 100 kilogramos por hora aplicándole un flujo de aire de 500 pies cúbicos por minuto a una temperatura promedio de 100°C. Los trozos secos (12% de humedad) se recolectaron después de aproximadamente 60 minutos de retención en los 4 cilindros de la planta continua.

Una curva promedio de los 3 ensayos en la que se presentan las etapas de secado bajo esta opción se muestra en la Figura 30.

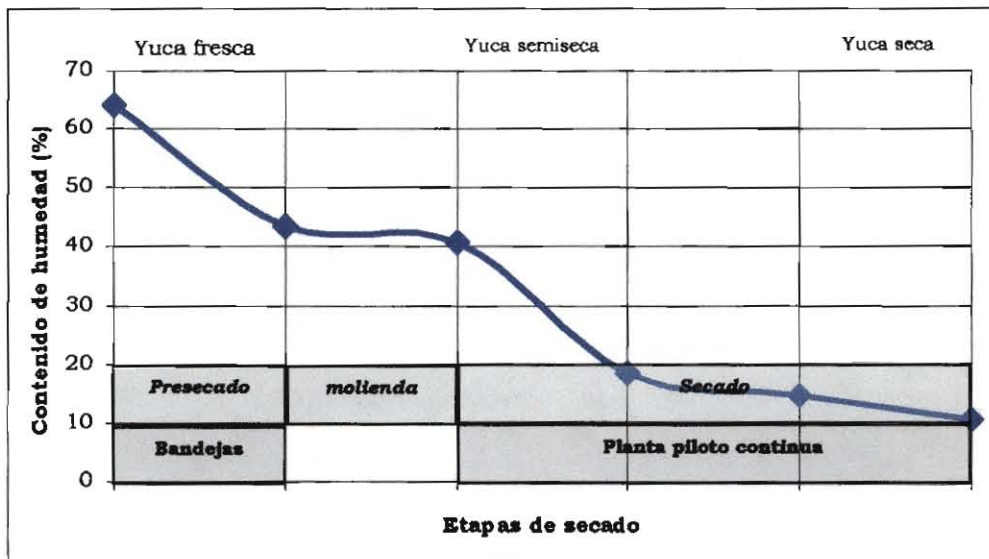


Figura 30. Etapas de secado para la opción 3 (secado mixto semicontinuo).

Los costos totales de producción de trozos de yuca seca calculados en esta opción de secado mixto semicontinuo (secado en bandejas inclinadas + planta piloto continua) se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Costos totales de producción de trozos secos de yuca para la opción 3. (Secado mixto semicontinuo) Cali, 2005.

Producto principal:

Trozos de yuca seca

I. Información básica

Yuca fresca por día ⁽¹⁾	2.0	t
Producción de yuca seca por día ⁽²⁾	0.8	t
Producción de yuca seca por semana ⁽³⁾	3.2	t
Producción de yuca seca al mes ⁽⁴⁾	12.7	t
Producción de yuca seca al año ⁽⁵⁾	152.7	t

Factores de conversión

Factor de conversión yuca fresca/yuca semiseca	1.57
Factor de conversión yuca semiseca/yuca seca	1.60
Factor de conversión yuca fresca/yuca seca	2.51

II. Información de costos /t yuca seca⁽⁶⁾

Unidad de producción	l	t yuca seca	
Concepto	Unidad	Costo unidad (\$Col)	# unidades/ t yuca seca
Insumos			
Materia prima (yuca fresca) ⁽⁷⁾	t	80,000	2.5
Combustible (ACPM) ⁽⁸⁾	Galón	3,863	18
Energía de proceso	kWh	204	191.2
Empaques	Unidad	660	25
Mano de obra ⁽⁹⁾	Hora-Hombre	3,125	25
Costos variables/t de yuca seca		Costo/t YS (\$Col)	Peso de los costos
Insumos			
Yuca fresca		201,143	41.5%
Combustible		69,539	14.4%
Energía		39,005	8.1%
Empaques		16,500	3.4%
Mano de obra		78,125	16.1%
Total costos variables		404,307	
Costos fijos /t de yuca seca		Costo/t YS (\$Col)	Peso de los costos
Depreciación y mantenimiento ⁽¹⁰⁾		80,000	16.5%
Total costo de producción/t trozos secos		484,307	100.0%

Notas aclaratorias

⁽¹⁾ Cantidad de yuca fresca a secar inicialmente en 100 bandejas de 1.7 m² cada una con una densidad de carga de 12 kg/m² y luego en la planta piloto de Clayuca de 150 kilogramos por hora.

⁽²⁾ Equivale a la producción de una jornada promedio de 12 horas por día.

⁽³⁾ Equivale a la producción de 4 días por semana.

⁽⁴⁾ Equivale a la producción de 4 semanas por mes.

⁽⁵⁾ Equivale a la producción de 12 meses por año.

⁽⁶⁾ Los costos de producción se obtienen para las condiciones del CIAT.

⁽⁷⁾ Precio de yuca fresca puesta en planta.

⁽⁸⁾ Combustible que actualmente utiliza la planta.

⁽⁹⁾ Se supone un jornal de trabajo de 8 horas diarias a \$25,000.

⁽¹⁰⁾ Depreciación: 10 años. Mantenimiento: 4% anual. Inversión inicial: \$130'000,000.

De acuerdo con la Tabla anterior el costo total de producción de una tonelada de trozos secos de yuca en la opción de secado mixto semicontinuo sería de \$484,307 cuando se utiliza ACPM como combustible en la planta piloto de secado continuo. Si se utilizara gas natural el costo se reduciría a \$469,933 por tonelada de trozos secos y, a su vez, si fuera carbón el combustible la tonelada de trozos de yuca seca se obtendría a \$426,873, lo que significa una reducción del 12%.

En este caso también es más conveniente utilizar carbón como combustible para obtener un mayor margen de ganancia en el producto.

Opción 4

Secado mixto por tandas (secado en bandejas inclinadas + secador de capa fija)

En esta opción no se han efectuado ensayos, pero de acuerdo con las observaciones hechas en cada secado por separado se estiman las condiciones en las cuales se realizaría el proceso.

El presecado se realizaría igual que en la opción anterior bajo la modalidad de secado natural en bandejas inclinadas, utilizando una densidad de carga de 12 kilogramos por metro cuadrado. Con esta densidad el tiempo de presecado sería de 24 horas, al cabo de las cuales el producto con 40% de humedad se llevaría finalmente a las dos cámaras de secado de 6 metros cuadrados cada una, para manejar cargas entre 600 y 1200 kilogramos de trozos semisecos. Se aplicaría un caudal de aire de 70 metros cúbicos por minuto por tonelada de yuca semiseca a una temperatura entre 60-70°C. Se estima que con un tiempo de secado final en el secador de capa fija de 8 horas, el producto llegaría a la humedad del 12% deseada.

Los costos totales de producción de trozos secos en esta opción de secado mixto por tandas, también se establecen de acuerdo con lo valorado en las anteriores opciones de secado. Estos costos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Costos totales de producción de trozos secos de yuca para la opción 4. (Secado mixto por tandas) Cali, 2005.

Producto principal:

Trozos de yuca seca

I. Información básica

Yuca fresca por día ⁽¹⁾	2.0	t
Producción de yuca seca por día ⁽²⁾	0.8	t
Producción de yuca seca por semana ⁽³⁾	3.2	t
Producción de yuca seca al mes ⁽⁴⁾	12.7	t
Producción de yuca seca al año ⁽⁵⁾	152.7	t
Factores de conversión		
Factor de conversión Yuca fresca/Yuca semiseca	1.57	
Factor de conversión Yuca semiseca/Yuca seca	1.60	
Factor de conversión Yuca fresca/Yuca seca	2.51	

II. Información de costos/t yuca seca ⁽⁶⁾

Unidad de producción	l	t yuca seca	
Concepto	Unidad	Costo unidad (\$Col)	# unidades/ t yuca seca
Insumos			
Materia prima (yuca fresca) ⁽⁷⁾	t	80,000	2.5
Combustible (ACPM) ⁽⁸⁾	Galón	3,863	16
Energía de proceso	kWh	204	64.9
Empaques	Unidad	660	25
Mano de obra ⁽⁹⁾	Hora-Hombre	3,125	16.9
Costos variables/t de yuca seca		Costo/t YS (\$Col)	Peso de los costos
Insumos			
Yuca fresca		201,143	52.2%
Combustible		61,808	16.0%
Energía		13,240	3.4%
Empaques		16,500	4.3%
Mano de obra		52,813	13.7%
Total Costos Variables		345,503	
Costos fijos/t de yuca seca		Costo/t YS (\$Col)	Peso de los costos
Depreciación y mantenimiento ⁽¹⁰⁾		40,000	10.4%
Total costo de producción/t trozos secos		385,503	100.0%

Notas aclaratorias

⁽¹⁾ Cantidad de yuca fresca a secar inicialmente en 100 bandejas de 1.7 m² cada una con una densidad de carga de 12 kg/m² y luego en dos cámaras de secado de 6 m² con una densidad de carga de 100 kg/m².

⁽²⁾ Equivale a la producción de una jornada de 11 horas por día.

⁽³⁾ Equivale a la producción de 4 días por semana.

⁽⁴⁾ Equivale a la producción de 4 semanas por mes.

⁽⁵⁾ Equivale a la producción de 12 meses por año.

⁽⁶⁾ Los costos de producción se obtienen para las condiciones del CIAT.

⁽⁷⁾ Precio de yuca fresca puesta en planta.

⁽⁸⁾ Combustible que actualmente utiliza la planta.

⁽⁹⁾ Se supone un jornal de trabajo de 8 horas diarias a \$25,000.

⁽¹⁰⁾ Depreciación: 10 años. Mantenimiento: 4% anual. Inversión inicial: \$65'000,000.

El costo total de producción de una tonelada de trozos secos de yuca obtenidos bajo esta opción de secado sería de \$385,503. Estos costos se calcularon utilizando ACPM como combustible en el secador de capa fija. Si se utilizara gas natural los costos de producción serían de \$373,339 para una reducción por tonelada de trozos secos de 3%. Por otro lado utilizando carbón mineral como otra alternativa, el costo por tonelada de trozos secos de yuca sería de \$334,395 lo que indica una reducción con respecto al ACPM del 13%.

En conclusión, en esta opción de secado mixto por tandas si se utiliza carbón como combustible en el secador de capa fija, se generaría un producto con el menor costo de producción posible.

Finalmente, en la Tabla 18 se resumen todos los costos totales de producción para las 4 opciones de secado. Estos costos fueron estimados suponiendo que se utilizaría carbón como combustible, porque es la fuente más económica en el país.

Tabla 18. Resumen de costos totales de producción de trozos secos de yuca para todas las opciones (combustible: Carbón) Cali, 2005.

<i>Época de lluvia</i>			<i>Época seca</i>		
Costo de producción (\$Col/t YS)			Costo de producción (\$Col/t YS)		
Opciones de secado	1	489,078	Opciones de secado	3	426,873
	2	393,371		4	334,395

Como se observa en la Tabla anterior, el menor costo de producción lo presentó la opción 4 de secado mixto por tandas (secado natural en bandejas inclinadas + secador de capa fija), seguido de la opción 2 secado artificial por tandas (secador de capa fija). En el tercer lugar se localizó la opción 3 de secado mixto semicontinuo (secado en bandejas inclinadas + secador de flujo continuo) y finalmente la opción 1 de secado mixto artificial (secador de capa fija + secador de flujo continuo).

En las opciones donde intervino la planta piloto continua los costos de producción de trozos secos fueron mucho más altos que las opciones que manejaron secado en capa fija, debido a que en el secador de flujo continuo se emplean mayores volúmenes de aire que conllevan a bajas eficiencias en el proceso.

Por último, cabe señalar que Clayuca actualmente, y con recursos propios, se encuentra desarrollando las actividades para culminar una evaluación más extensa de los secadores y determinar la factibilidad económica del secado en la planta piloto continua adaptando el modelo matemático de Clayuca a la parte final del secado.

Producto 7. Elaboración de documento de divulgación

Actividad A, B y C

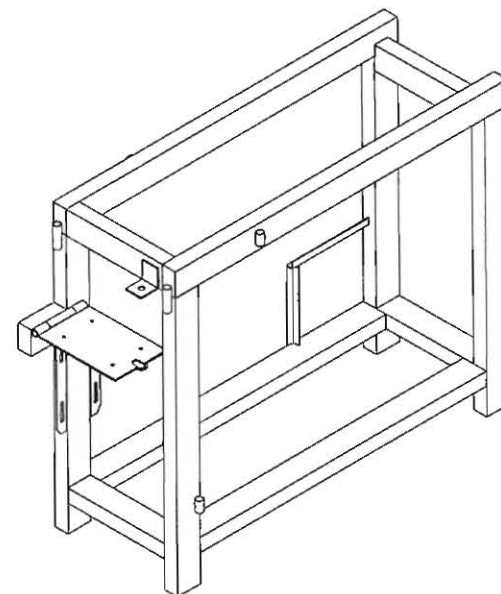
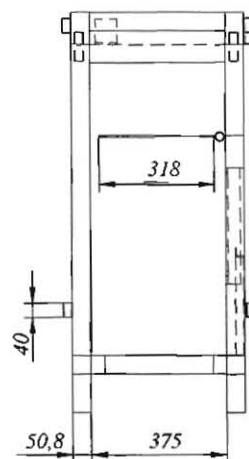
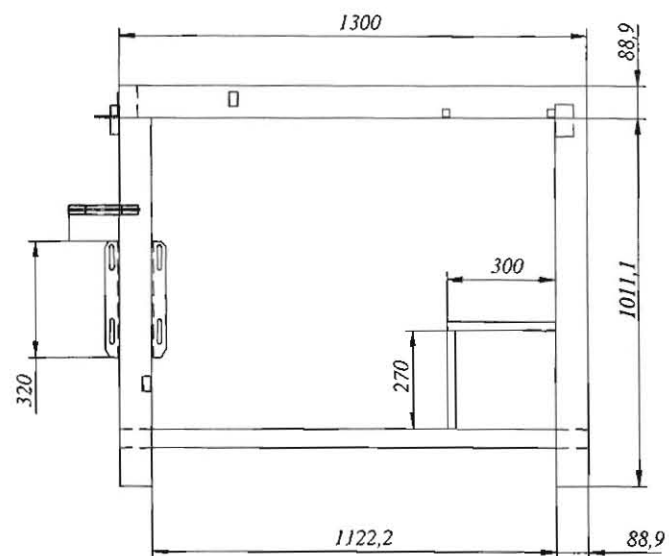
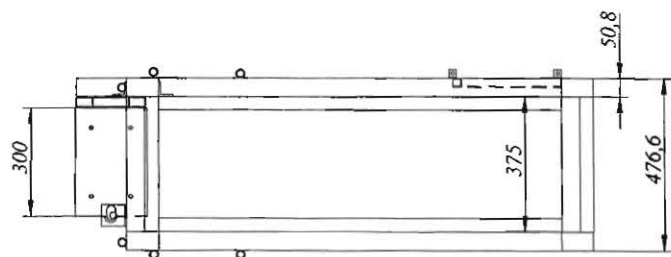
Actividades de divulgación

Las actividades que se han desarrollado para la divulgación de este proyecto son:

1. Taller sobre Tecnologías Modernas de Apoyo a los Proyectos Agroindustriales de Yuca. CIAT, octubre 11 al 15 de 2004.
2. Capacitación sobre usos industriales del cultivo de yuca, almidones nativos y modificados, harinas, croquetas de yuca, uso de la yuca en la alimentación animal. Ing. Nelson Valdez, Productos Autóctonos Dominicanos (PADOM). CIAT, noviembre 8 al 10 de 2004.
3. Reunión anual de coordinadores, polos de desarrollo y grupo de yuca. CIAT, enero 19 al 21 de 2005.
4. Curso Internacional sobre Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento y Utilización de Yuca. CIAT, mayo 31 – 11 de junio de 2004
5. Curso Internacional sobre Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento y Utilización de Yuca. CIAT, abril 18 – 27 de 2005
6. Feria Tecnológica de Yuca. CIAT, mayo 4 – 6 de 2005
7. Reunión Anual de Socios de Clayuca en Colombia. CIAT, mayo 4 y 5 de 2005
8. Reunión Anual de Países Socios de Clayuca. CIAT, mayo 5 y 6 de 2005
9. Realización de plegables y folletos divulgativos (Anexo 5)

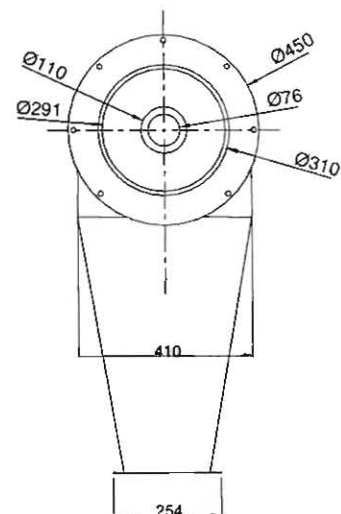
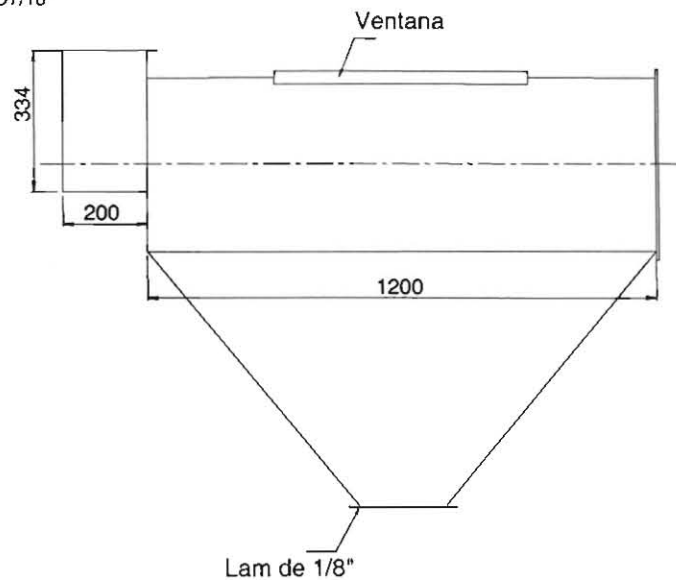
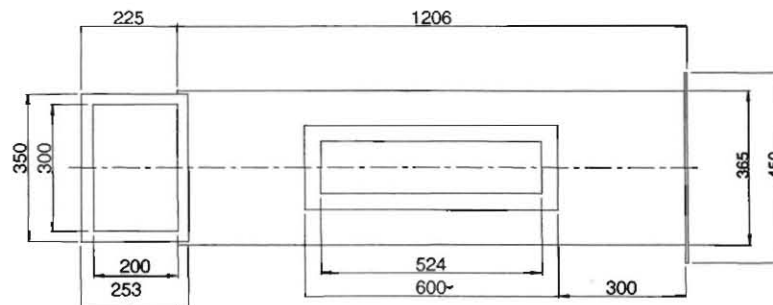
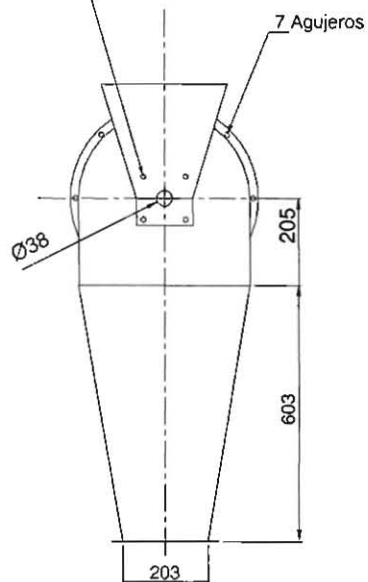
Anexo 1

Planos de construcción de la planta de producción de harina refinada



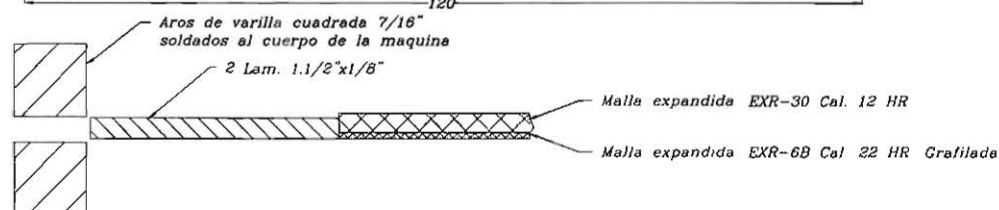
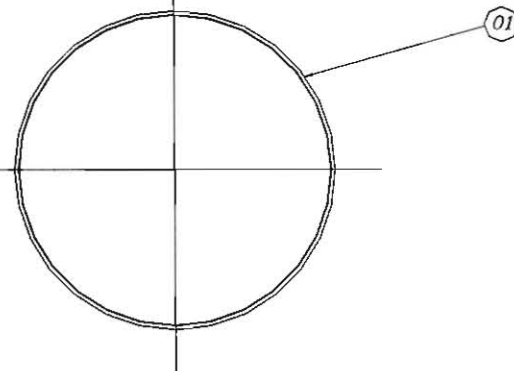
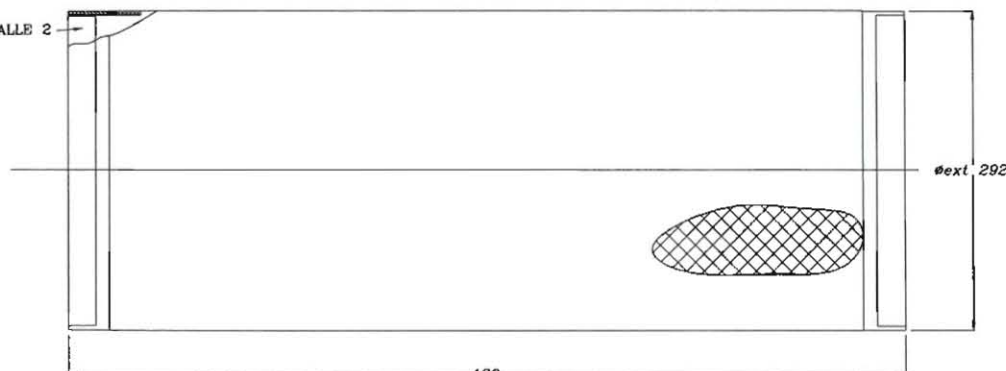
PIEZA	DENOMINACION		CANT.	MATERIAL	OBSERV.
Dibujo	CLAYUCA		CLAYUCA		
Fecha	Marzo 2005				
Reviso					
Medidas mm	Contenido				
	SOPORTE MOLINO				

Agujeros
Según
Chumacera

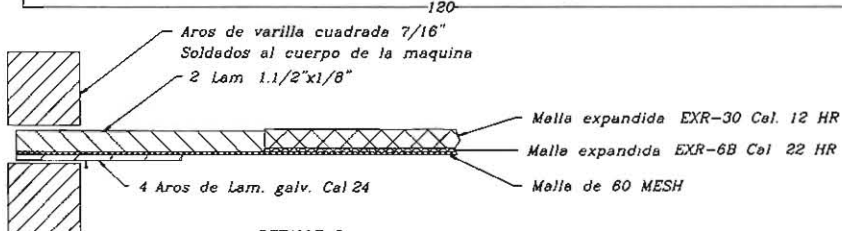
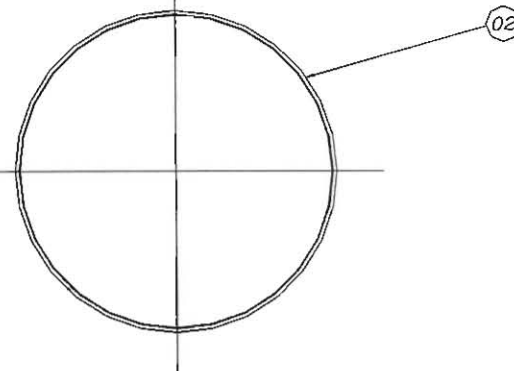
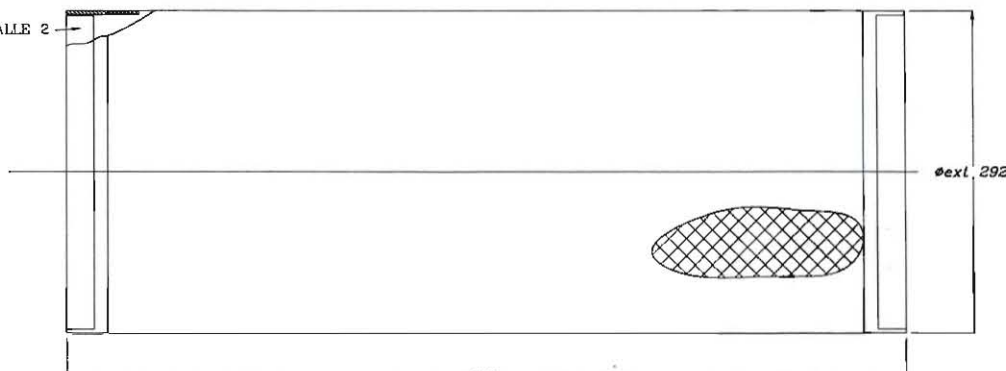


Dibujo	CLAYUCA	CLAYUCA
Fecha	Marzo de 2005	
Reviso		
Modifica en matrizes	Contenido	CILINDRO TAMIZADOR

DETALLE 2

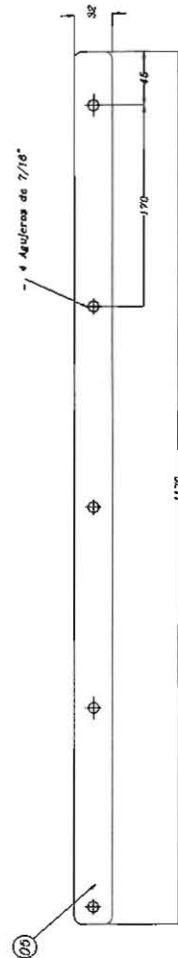
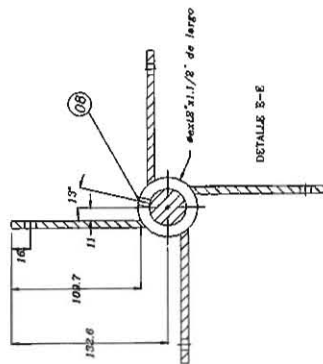
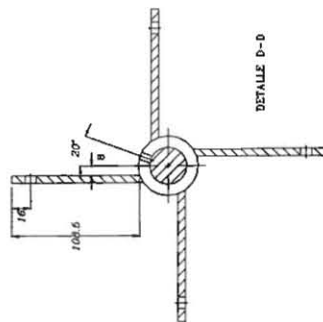
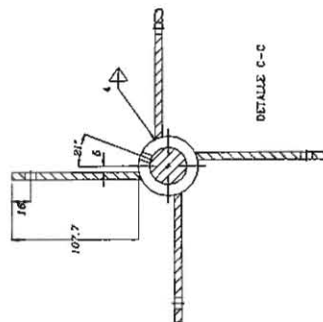
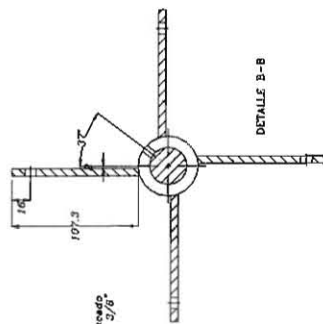
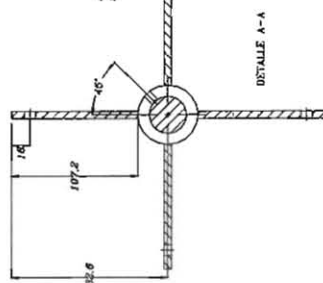
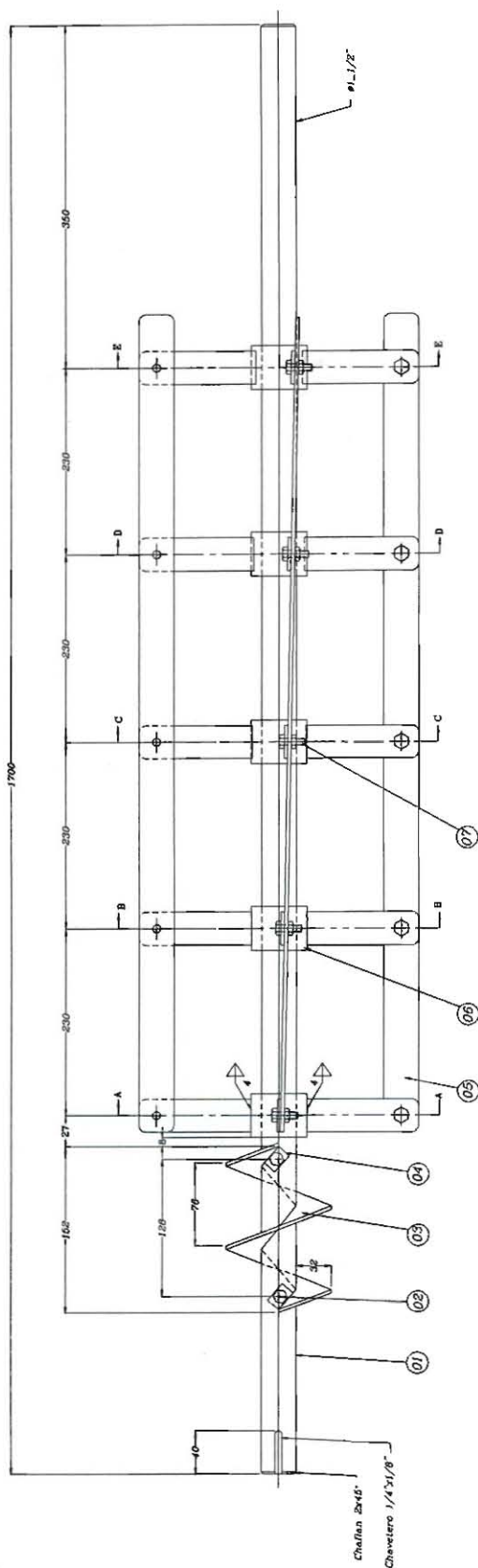


DETALLE 2



DETALLE 2

Dibujo	CLAYUCA		CLAYUCA
Fecha	Marzo de 2005		
Revisio			
Medidas en milímetros	Contenido	Criba - Malla	

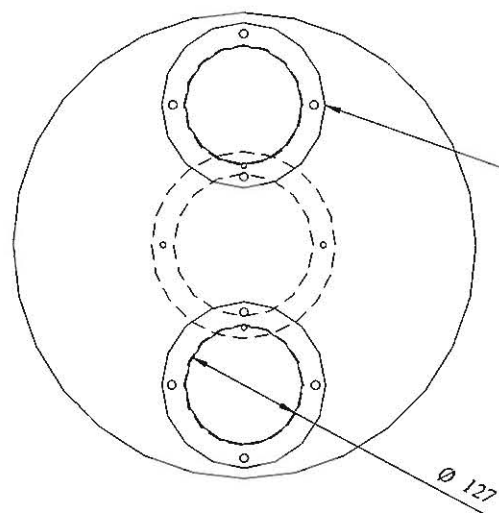


NOTA 1: La lámina No. 04 debe ser curvada sobre el eje como medida de seguridad.

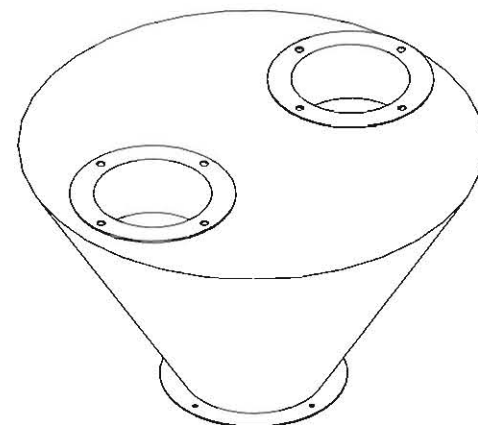
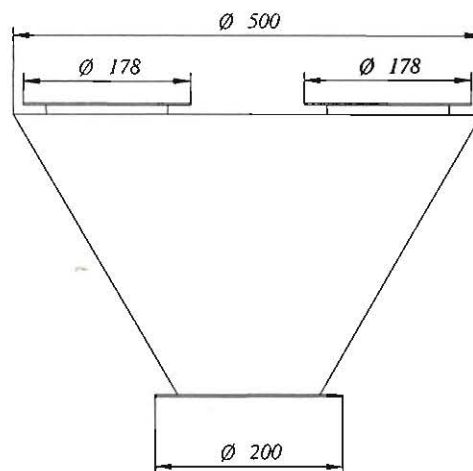
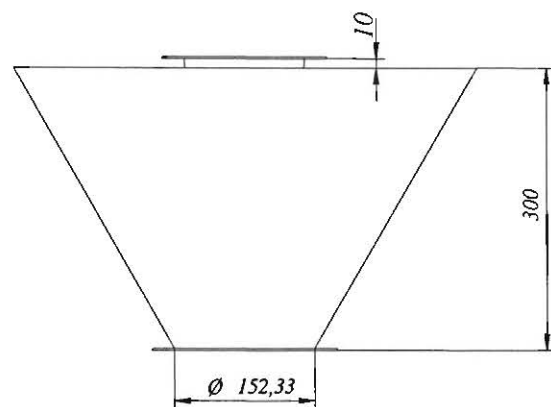
PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	OBSERV
01	Tornillo	Acero	# 1/4"
02	Eje Mecánico	Acero	# 1/4"
03	Helice	Acero	# 1/4"
04	Lamina	Acero	# 1/4"
05	Buje posicionador de Alas	Acero	# 1/4"
06	Tornillo	Acero	# 1/4"
07	Tornillo	Acero	# 1/4"
08	Tornillo	Acero	# 1/4"
09	Tornillo	Acero	# 1/4"
10	Tornillo	Acero	# 1/4"
11	Tornillo	Acero	# 1/4"
12	Tornillo	Acero	# 1/4"
13	Tornillo	Acero	# 1/4"
14	Tornillo	Acero	# 1/4"
15	Tornillo	Acero	# 1/4"
16	Tornillo	Acero	# 1/4"
17	Tornillo	Acero	# 1/4"
18	Tornillo	Acero	# 1/4"
19	Tornillo	Acero	# 1/4"
20	Tornillo	Acero	# 1/4"
21	Tornillo	Acero	# 1/4"
22	Tornillo	Acero	# 1/4"
23	Tornillo	Acero	# 1/4"
24	Tornillo	Acero	# 1/4"
25	Tornillo	Acero	# 1/4"
26	Tornillo	Acero	# 1/4"
27	Tornillo	Acero	# 1/4"
28	Tornillo	Acero	# 1/4"
29	Tornillo	Acero	# 1/4"
30	Tornillo	Acero	# 1/4"
31	Tornillo	Acero	# 1/4"
32	Tornillo	Acero	# 1/4"
33	Tornillo	Acero	# 1/4"
34	Tornillo	Acero	# 1/4"
35	Tornillo	Acero	# 1/4"
36	Tornillo	Acero	# 1/4"
37	Tornillo	Acero	# 1/4"
38	Tornillo	Acero	# 1/4"
39	Tornillo	Acero	# 1/4"
40	Tornillo	Acero	# 1/4"
41	Tornillo	Acero	# 1/4"
42	Tornillo	Acero	# 1/4"
43	Tornillo	Acero	# 1/4"
44	Tornillo	Acero	# 1/4"
45	Tornillo	Acero	# 1/4"
46	Tornillo	Acero	# 1/4"
47	Tornillo	Acero	# 1/4"
48	Tornillo	Acero	# 1/4"
49	Tornillo	Acero	# 1/4"
50	Tornillo	Acero	# 1/4"
51	Tornillo	Acero	# 1/4"
52	Tornillo	Acero	# 1/4"
53	Tornillo	Acero	# 1/4"
54	Tornillo	Acero	# 1/4"
55	Tornillo	Acero	# 1/4"
56	Tornillo	Acero	# 1/4"
57	Tornillo	Acero	# 1/4"
58	Tornillo	Acero	# 1/4"
59	Tornillo	Acero	# 1/4"
60	Tornillo	Acero	# 1/4"
61	Tornillo	Acero	# 1/4"
62	Tornillo	Acero	# 1/4"
63	Tornillo	Acero	# 1/4"
64	Tornillo	Acero	# 1/4"
65	Tornillo	Acero	# 1/4"
66	Tornillo	Acero	# 1/4"
67	Tornillo	Acero	# 1/4"
68	Tornillo	Acero	# 1/4"
69	Tornillo	Acero	# 1/4"
70	Tornillo	Acero	# 1/4"
71	Tornillo	Acero	# 1/4"
72	Tornillo	Acero	# 1/4"
73	Tornillo	Acero	# 1/4"
74	Tornillo	Acero	# 1/4"
75	Tornillo	Acero	# 1/4"
76	Tornillo	Acero	# 1/4"
77	Tornillo	Acero	# 1/4"
78	Tornillo	Acero	# 1/4"
79	Tornillo	Acero	# 1/4"
80	Tornillo	Acero	# 1/4"
81	Tornillo	Acero	# 1/4"
82	Tornillo	Acero	# 1/4"
83	Tornillo	Acero	# 1/4"
84	Tornillo	Acero	# 1/4"
85	Tornillo	Acero	# 1/4"
86	Tornillo	Acero	# 1/4"
87	Tornillo	Acero	# 1/4"
88	Tornillo	Acero	# 1/4"
89	Tornillo	Acero	# 1/4"
90	Tornillo	Acero	# 1/4"
91	Tornillo	Acero	# 1/4"
92	Tornillo	Acero	# 1/4"
93	Tornillo	Acero	# 1/4"
94	Tornillo	Acero	# 1/4"
95	Tornillo	Acero	# 1/4"
96	Tornillo	Acero	# 1/4"
97	Tornillo	Acero	# 1/4"
98	Tornillo	Acero	# 1/4"
99	Tornillo	Acero	# 1/4"
100	Tornillo	Acero	# 1/4"

CLAYUCA

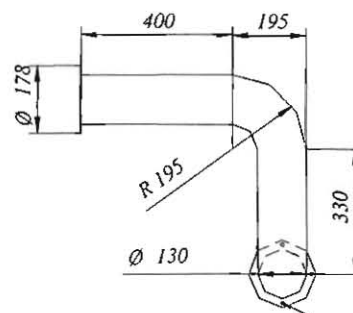
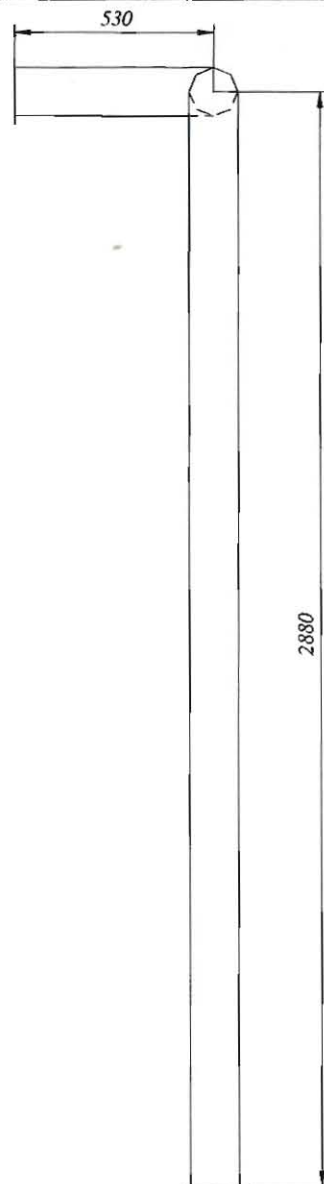
EJE CON ASPAS



4 AGUJEROS DE 3/8 PULG DE DIAMETRO

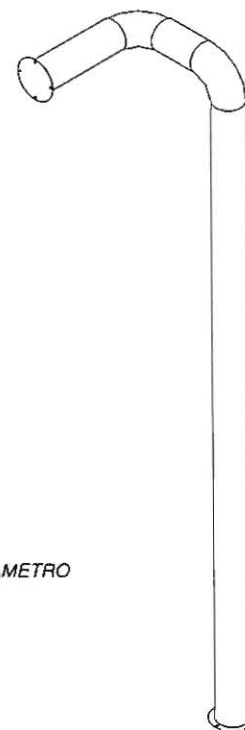


PIEZA	DENOMINACION		CANT.	MATERIAL	OBSERV
Dibujo	CLAYUCA		CLAYUCA		
Fecha	Marzo 2005				
Reviso					
Medidas mm	Contenido COND				

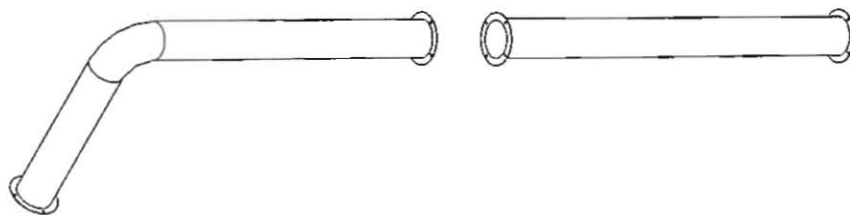
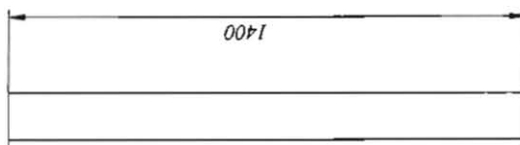
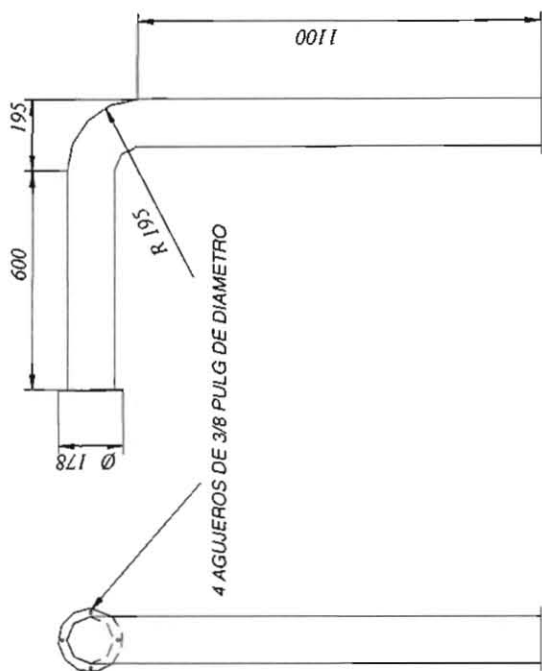


4 AGUJEROS DE 3/8 PULG DE DIAMETRO

TUBERIA DE 5 PULG DIAMETRO

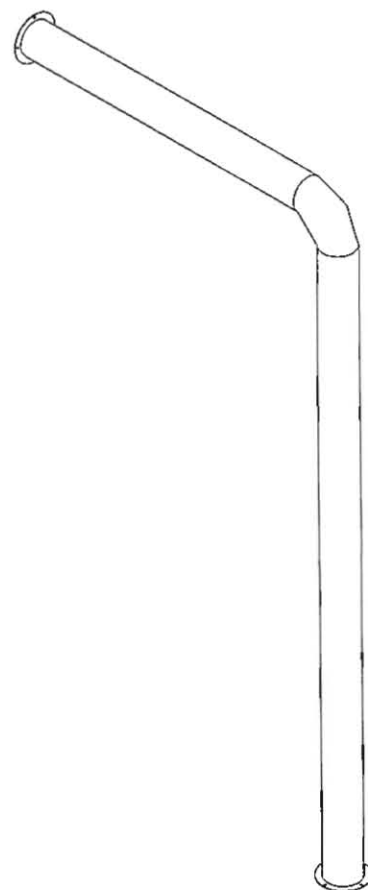
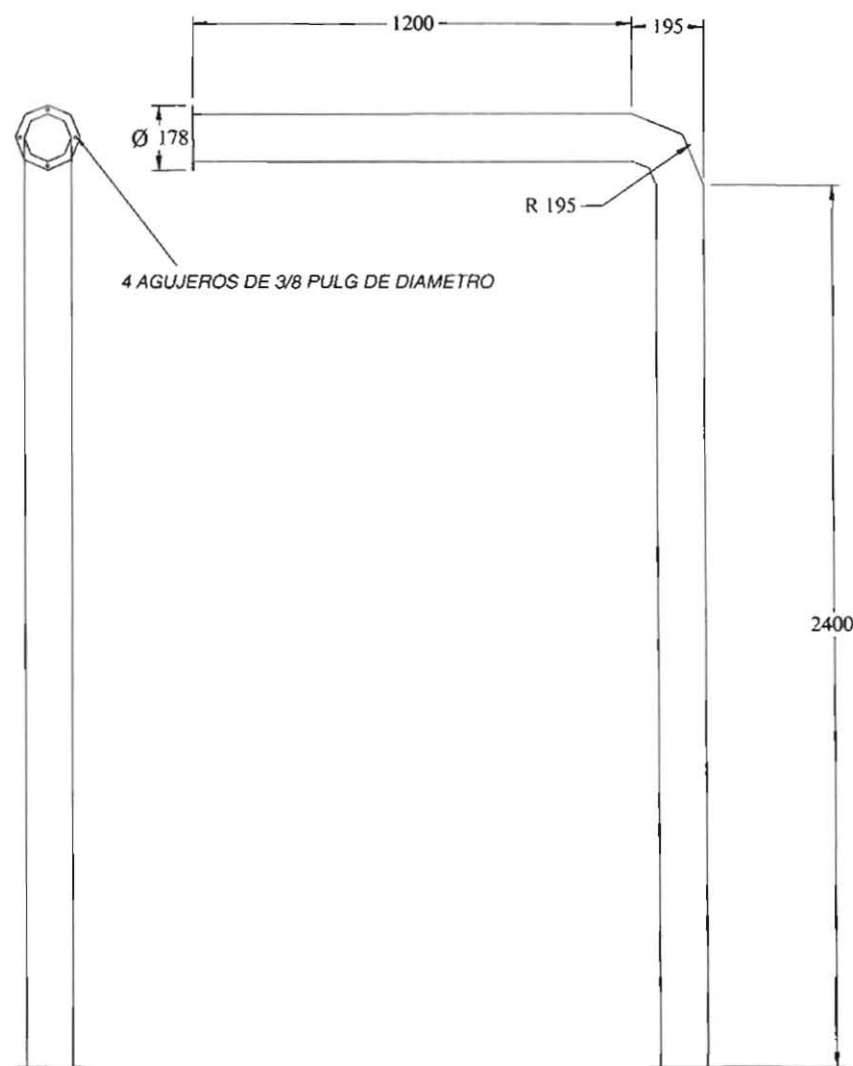


PIEZA	DENOMINACION		CANT	MATERIAL	OBSERV
Dibujo	CLAYUCA		CLAYUCA		
Fecha	Marzo 2005				
Reviso					
	Contenido				
	TUBERIA				



TUBERIA DE 5 PULG DIAMETRO

PIEZA	DENOMINACION	CANT	MATERIAL	OBSERV
Dibajo	CLAYUCA			
Ficha	Marzo 2005			
Reviso				
Medidas mm	Contenido			
	TUBERIA			



PIEZA	DENOMINACION		CANT	MATERIAL	OBSERV
Dibujo	CLAYUCA		CLAYUCA		
Fecha	Marzo 2005				
Reviso					
Medidas mm	Contenido TUBERIA				

Anexo 2

Pruebas de ajuste y funcionamiento realizadas en la planta piloto modular

Alimentación axial central de harina al ciclón de 100 kg/h.

Prueba N°	1
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	5.6
% de harina colectada en el clasificador	71
% de harina colectada en el colector	29

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	2	1
Entre 106 y 150	3	1
Entre 44 y 106	18	21
Menores de 44	77	77

Prueba N°	2
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	6.9
% de harina colectada en el clasificador	63.6
% de harina colectada en el colector	36.4

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	2	1
Entre 106 y 150	3	2
Entre 44 y 106	13	27
Menores de 44	82	70

Prueba N°	3
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	9
% de harina colectada en el clasificador	63.5
% de harina colectada en el colector	36.5

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	3	0
Entre 106 y 150	3	0
Entre 44 y 106	16	27
Menores de 44	78	73

Prueba N°	4
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	10.9
% de harina colectada en el clasificador	59.6
% de harina colectada en el colector	40.4

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	3	0
Entre 106 y 150	3	1
Entre 44 y 106	20	23
Menores de 44	74	76

Prueba N°	5
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	11.9
% de harina colectada en el clasificador	63.7
% de harina colectada en el colector	37.3

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	2	0
Entre 106 y 150	3	1
Entre 44 y 106	22	20
Menores de 44	73	74

Prueba N°	6
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	13.8
% de harina colectada en el clasificador	59.4
% de harina colectada en el colector	40.6

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	2	0
Entre 106 y 150	3	0
Entre 44 y 106	12	29
Menores de 44	83	71

Prueba N°	7
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	15.2
% de harina colectada en el clasificador	60.4
% de harina colectada en el colector	39.6

Prueba N°	8
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	16.8
% de harina colectada en el clasificador	54
% de harina colectada en el colector	46

Prueba N°	9
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	18
% de harina colectada en el clasificador	58
% de harina colectada en el colector	42

Prueba N°	10
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	18.8
% de harina colectada en el clasificador	58
% de harina colectada en el colector	42

Prueba N°	11
Cantidad inicial kg	25
Alimentación kg/h	100
Vel. del aire a la entrada del clasificador m/s	21
% de harina colectada en el clasificador	57.7
% de harina colectada en el colector	42.3

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	3	1
Entre 106 y 150	3	1
Entre 44 y 106	19	18
Menores de 44	75	80

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	2	1
Entre 106 y 150	1	1
Entre 44 y 106	20	20
Menores de 44	77	78

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	2	1
Entre 106 y 150	2	2
Entre 44 y 106	19	19
Menores de 44	77	78

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	2	1
Entre 106 y 150	2	2
Entre 44 y 106	17	25
Menores de 44	79	72

Granulometría de harina en ciclones (%)		
Micras	Clasificador	Colector
Mayor de 150	2	1
Entre 106 y 150	2	1
Entre 44 y 106	19	20
Menores de 44	77	78

Anexo 3

Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento

Planta piloto para el procesamiento de harina de yuca

**Documento de trabajo
Clayuca**

José Alberto García
Ingeniero Mecánico
Sistemas de Manejo Poscosecha, Clayuca
albertogarcia@mailworks.org

Palmira, Colombia
Copyright ©2005 Clayuca. Todos los derechos reservados

Planta piloto para el procesamiento de harina refinada de yuca



Palmira, Colombia

Copyright ©2005 Clayuca. Todos los derechos reservados

Contenido

Introducción

1. Descripción de la planta

2. Aspectos de construcción

3. Desembalaje y almacenamiento

- 3.1. Desembalaje
- 3.2. Almacenamiento

4. Traslado y ubicación

- 4.1. Traslado
- 4.2. Ubicación

5. Procedimiento de construcción

- 5.1. Estructura
- 5.2. Sistema de transmisión por correas
- 5.3. Eje del molino
- 5.4. Soporte del motor
- 5.5. Salida de ripio
- 5.6. Molino tamiz cilíndrico de aspas
- 5.7. Cribas o tamices cilíndricos
- 5.8. Ventilador centrífugo

6. Componentes de la planta

- 6.1. Principio de funcionamiento del molino tamiz
- 6.2. Principio de funcionamiento del alimentador sinfín
- 6.3. Principio de funcionamiento del ciclón recolector
- 6.4. Principio de funcionamiento del ciclón clasificador

7. Diagrama general del proceso

- 7.1. Proceso de extracción de harina refinada de yuca

8. Puesta en marcha

- 8.1. Procedimientos previos a la primera puesta en marcha
- 8.2. Control de la conexión de los motores

9. Primera puesta en marcha

- 9.1. Incidentes al hacer la primera puesta en servicio
 - 9.1.1. Motor que gira con dificultad y se recalienta
 - 9.1.2. Ruidos inusuales

10. Operación del sistema

- 10.1. Cambio de criba

11. Normas de seguridad

12. Mantenimiento

- 12.1. Mantenimiento de correas en V
- 12.2. Mantenimiento de motor eléctrico
- 12.3. Mantenimiento de la criba
- 12.4. Mantenimiento del alimentador sinfín

Introducción

Las perspectivas de incrementar el consumo de la yuca y sus productos derivados ha logrado despertar gran interés en los sectores público y privado de varios países, impulsando la producción de yuca y la creación de proyectos agroindustriales para la producción de almidón y otros productos de yuca.

El mercado de los trozos secos de yuca está enmarcado, en un alto porcentaje, en la producción de concentrados para consumo animal. No obstante, los mismos trapiches yuqueros pueden convertir este producto en una harina de alta calidad para el consumo humano, llegándose a utilizar como sustituto parcial de harinas de trigo, maíz, arroz y, en determinados porcentajes, en productos que se elaboran con almidón extraídos por vía húmeda.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), ha desarrollado proyectos con el propósito de expandir la producción, el procesamiento y abrir nuevos mercados para los productos basados en harina de yuca, promoviendo el establecimiento de industrias rurales y brindando la oportunidad de ampliar los ingresos de los pequeños productores.

En el año 2000, el Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (Clayuca) retomó de nuevo la idea de producir harina refinada. Se desarrolló un proyecto ⁴ en convenio con la Universidad del Valle y con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), donde se estudiaron varias alternativas de procesamiento con diferentes equipos de molienda. Este estudio se realizó con el fin de obtener una harina refinada con características parecidas al almidón dulce a partir de trozos secos.

Posteriormente, en los años 2004 y 2005, estos trabajos se ampliaron y fue posible terminar el diseño y la construcción de una planta piloto para la extracción de harina refinada de yuca, con múltiples usos.

En este manual se presenta una guía de instrucciones para conocer el funcionamiento, la operación y el mantenimiento de los diferentes elementos que componen el molino tamiz cilíndrico, utilizado en el procesamiento de harina de yuca.

⁴ Barona S, Isaza L. Estudios para el desarrollo de un proceso de extracción de almidón a partir de trozos secos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con mínima utilización de agua. Tesis de pregrado de Ingeniería Agrícola. Universidad del Valle, Colombia. 2003.

1. Descripción de la planta

La planta piloto para producir harina refinada de yuca está compuesta de los siguientes elementos: una tolva con tornillo sinfín para la alimentación de la materia prima, tres molinos-tamiz cilíndricos de aspas, tres cribas (mallas), tres ventiladores y cinco ciclones para la clasificación neumática y recolección de la harina (Figura 1)

La instalación de una planta piloto para obtención de harina refinada de yuca tiene varias ventajas:

- Generación de materiales o materia prima para investigación y desarrollo de nuevos productos para cualquier empresa que desee incursionar en lo relacionado al cultivo de la yuca.
- Capacitación técnica y de funcionamiento.
- Manejo de costos reales de operación y rentabilidad.
- Divulgación de una nueva tecnología para empresas procesadoras de yuca, interesados en producir productos de mayor valor agregado a partir de trozos secos de yuca.

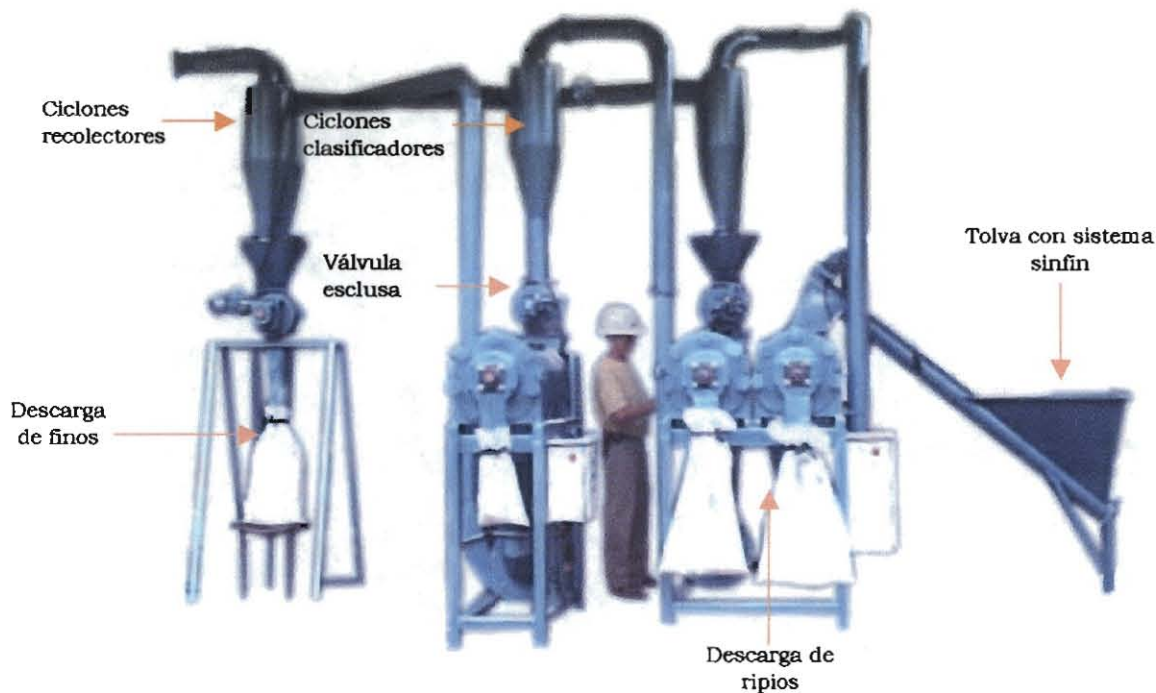


Figura 1. Planta de refinación.

2. Aspectos de construcción

Se han considerado diferentes aspectos que determinan la funcionalidad del proceso de extracción de harina a partir de trozos secos de yuca. Los materiales utilizados para la construcción son de fácil adquisición, se maneja una tecnología sencilla donde los elementos mecánicos y neumáticos involucrados son de fácil manejo y acceso para su desmontaje y mantenimiento, siendo un proceso simple que pueden realizarlo los mismos productores. Es una planta que permite intercambiar cribas para el requerimiento granulométrico deseado, ya sea en la obtención de harina para la elaboración de productos de panificación, donde se utiliza una criba de 3 milímetros y 177 micras, obteniendo porcentajes de 70 a 75% de partículas inferiores a 50 micras y de 20 a 25% inferiores a 177 micras.

Para obtener una mayor refinación de la harina, se requiere la utilización de una criba adicional de 100 micras, donde se obtiene un 90% de partículas inferiores a 50 micras. Esta harina refinada puede utilizarse en la elaboración de otros productos de consumo humano o en la industria.



3. Desembalaje y almacenamiento

Esta sección se refiere al periodo previo a la utilización de la planta en su sitio definitivo.

3.1. Desembalaje

Inspeccione detalladamente el embalaje en la recepción, cerciorándose de que el contenido no haya sufrido daños evidentes. Abrir el guacal con precaución, de manera que no se dañen los elementos de la planta que están en el interior.

3.2. Almacenamiento

El almacenamiento se realiza, preferiblemente, en el guacal original y en un lugar resguardado de la intemperie, donde las diferentes piezas no sufran deterioro. De no realizar el almacenamiento indicado, procurar que factores climáticos no afecten las piezas y, por consiguiente, su buen desempeño.

Almacenamiento fuera del guacal

- Cubrir los motores con plástico evitando la acumulación de polvo y el ingreso de agua.
- Proteger completamente las cribas contra posibles deformaciones en su estructura y roturas de las mallas, preferiblemente se almacenan en su cubierta de envío.
- Tapar todos los orificios de la planta para evitar que se introduzcan animales u objetos extraños al sistema.
- Cerrar la caja de controles para evitar una inadecuada manipulación.

4. Traslado y ubicación

4.1. Traslado

Se requiere tener las siguientes precauciones:

- Estar seguro del equilibrio de la máquina antes de proceder con su desplazamiento.
- Para el desplazamiento, tener en cuenta, fijar de forma segura los elementos.
- Usar preferiblemente un pequeño montacargas o planchón para el desplazamiento.

4.2. Ubicación

- Fijar la planta en un terreno horizontal, dejando bien apoyadas las estructuras correspondientes al molino y al ciclón, esto evitará posibles vibraciones perjudiciales al sistema.
- Ubicarla cerca de la fuente de energía eléctrica correspondiente.
- Dejar espacio suficiente alrededor del molino para los desplazamientos necesarios del proceso (alimentación, recolección del producto, etc.)
- Los molinos instalados en lugares exteriores deben estar protegidos por un cobertizo, evitando su exposición a las condiciones climáticas.

Reubicación después de la instalación:

- Antes de realizar cualquier desplazamiento se debe desconectar la tubería que une al ventilador con los ciclones.
- Desconectar el sistema eléctrico.
- Cerciorarse que la fuente de energía sea la correspondiente.

5. Procedimiento de construcción

5.1. Estructura

La estructura del molino está construida con tubo estructural rectangular de 3.5 por 2 pulgadas, fabricado en acero (1020 HR) calibre 14, unidos mediante soldadura. En la estructura se instala el cuerpo cilíndrico que conforma el molino y va asegurado por tornillos. El soporte para el motor del ventilador se encuentra en un extremo de la estructura, ubicado de forma vertical y cuenta con un espárrago para dar la tensión necesaria a la correa. De igual manera, cuenta con una platina soporte de hierro laminado en frío (cold Rolled) de 1/4 pulgada de espesor, utilizada para soportar el motor encargado de transmitir movimiento al eje de la tamizadora. Para la tensión de la correa se cuenta con una bisagra sujeta a la estructura.

5.2. Sistema de transmisión por correas

El motor que transmite movimiento al molino tamiz tiene una polea de 5 pulgadas de diámetro y transmite el movimiento mediante una correa en V (tipo B de 48 pulgadas) al eje de la tamizadora que tiene alojada una polea de 6 pulgadas de diámetro. El motor que transmite movimiento al eje del ventilador tiene una polea de 6 pulgadas de diámetro y transmite el movimiento mediante una correa en V (tipo B de 32 pulgadas) al eje del ventilador que tiene alojada una polea de 5 pulgadas de diámetro.

5.3. Eje del molino

Encargado de transmitir energía de golpe a los trozos secos de yuca por medio de aspas. El eje cuenta con un diámetro de 1½ pulgadas por 1700 milímetros de longitud, fabricado en acero SAE 1045 calibrado; posee ranura chavetera en uno de sus extremos donde se le incorpora la polea que transmite el movimiento desde el motor. (ver Figura 2)

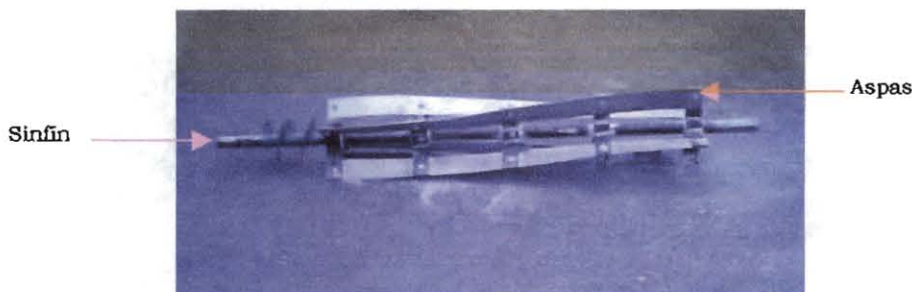


Figura 2. Eje del molino.

Al eje van solidarios cinco bujes por medio de tornillos prisioneros, que sujetan mediante tornillos de seguridad las cuatro aspas elaboradas en acero inoxidable de 1/8 x 2.5 de pulgadas. Las aspas están ubicadas a 90° unas de otras, encargadas de impactar los trozos secos sobre la criba, ejerciendo la fuerza suficiente para separar la cáscara y la cascarilla sin llegar a destruirla en su totalidad; tienen una desviación que permite el desplazamiento longitudinal del material a lo largo del tamiz o criba donde se obtienen la clasificación del material útil residual (ripio).

El eje también cuenta con un sinfín en uno de sus extremos. Su función es introducir los trozos de yuca en el tamiz, donde las aspas los impactan para la extracción de la harina. Esta sostenido por medio de prisioneros. Las características del tornillo son: diámetro del eje 1 pulgada, diámetro exterior 2.7 pulgadas, paso 2 pulgadas.

5.4. Soporte del motor

El soporte del motor consiste en una mesa construida en acero de 1/4 pulgada. Se encuentra pivotada en uno de sus extremos por un buje con pasador, sujeta por un tornillo galvanizado que permite rotación. Este sistema facilita aumentar o disminuir la distancia entre poleas para darle la tensión necesaria a la correa.

Este soporte mantiene el motor en posición para un buen funcionamiento y alineación de la correa.

5.5. Salida de ripio

La función es evacuar los sobrantes (ripio) del proceso de tamizado, regularmente pedazos de cáscara y fibra. Esta salida está construida con tubería de 6 pulgadas de diámetro y unida a la tapa lateral que está pivotada al cuerpo del tamiz por medio de bisagras que permiten un fácil acceso al interior del cuerpo del molino.

5.6. Molino tamiz cilíndrico de aspas

El cuerpo consta de una tolva de entrada, una carcasa y una tolva de descarga, elaboradas en lámina HR, que contiene en el cuerpo cilíndrico una criba con la malla requerida. La tolva de descarga del molino está diseñada rectangularmente con una salida cilíndrica, que permite el acople del ventilador encargado de succionar la harina y llevarla a los ciclones (Figura 3)

El motor que mueve al molino tamiz tiene una potencia de 5 HP y gira a 1740 rpm.

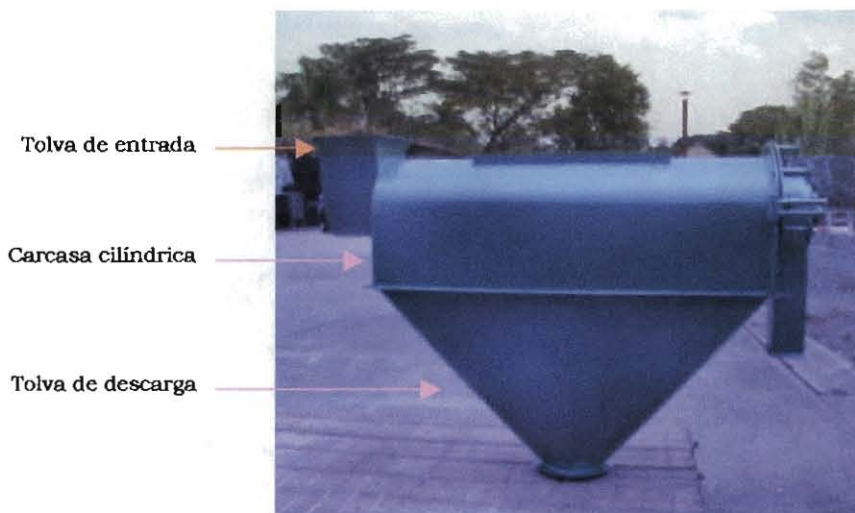


Figura 3. Molino tamiz de aspas.

5.7. Cribas o tamices cilíndricos

Las cribas están construidas con aros de lámina en sus extremos y una malla rómbica expandida de 1/8 de pulgada que forma la estructura de la criba, dando como resultado un cilindro de 295 milímetros de diámetro y 1205 milímetros de longitud, a esta estructura se le acondiciona la malla a ser utilizada y se asegura con pegante (Figura 4)



Figura 4. Cribas.

5.8. Ventilador centrífugo

El transporte neumático de la harina desde la tamizadora cilíndrica hasta los ciclones, se realiza a través de un ventilador centrífugo con aspas rectas de 12 pulgadas de diámetro. A este ventilador se le acopló un motor de 3 HP.

6. Componentes de la planta y funcionamiento

La planta esta compuesta por los siguientes elementos:

- Tres molinos tamices.
- Tres cribas de 3 milímetros, 177 micras (μm) y 100 micras (μm).
- Un sistema alimentador sinfín con moto reductor.
- Tres ventiladores centrífugos de aspas radiales.
- Seis ciclones.
- Tres válvulas esclusas.
- Sistema eléctrico.

6.1. Principio de funcionamiento del molino tamiz

El molino tamiz, pieza fundamental de la planta, consta de una estructura de soporte elaborada en perfil rectangular y un cuerpo cilíndrico. Un eje alojado en el interior del molino, provisto de un sinfín en uno de sus extremos, se encarga de introducir los trozos secos al interior del molino, estos trozos son impactados por cuatro aspas longitudinales instaladas cada 90° que están acopladas al mismo eje, el impacto se realiza sobre una criba con malla de forma cilíndrica que hace parte de molino. El material que pasa por la malla sigue siendo parte del proceso de refinación, el material que no traspasa la malla se recolecta como subproducto del proceso y es llamado ripio (cáscara, cascarilla, fibra etc.)

6.2. Principio de funcionamiento del alimentador sinfín

El alimentador sinfín esta compuesto por una tolva de recibo donde se depositan los trozos secos o harinas para ser procesados en el molino tamizador. Un motoreductor de 0.5 HP transmite el movimiento por medio de una polea de 2.5 pulgadas al tornillo donde se aloja una polea de 4 pulgadas. Se utiliza correa en V (tipo B de 21 pulgadas). Se recomienda utilizar un trozo de yuca libre de tocones.

6.3. Principio de funcionamiento del ciclón recolector

Un ciclón está compuesto básicamente por un cilindro vertical con fondo cónico, dotado de una entrada tangencial, normalmente rectangular, y una descarga del gas limpio circular en su parte superior. Este dispositivo está diseñado para separar partículas de una corriente fluida, con eficiencias altas para partículas mayores a 20 micras.

Se caracterizan por su entrada tangencial, en la que aparecen unas fuerzas centrífugas que hacen que las partículas tiendan a moverse hacia la periferia del equipo alejándose de la entrada del gas, se incrementa la velocidad de sedimentación, haciéndose más efectiva la separación y recogéndose en un colector situado en la base cónica (Figura 5)

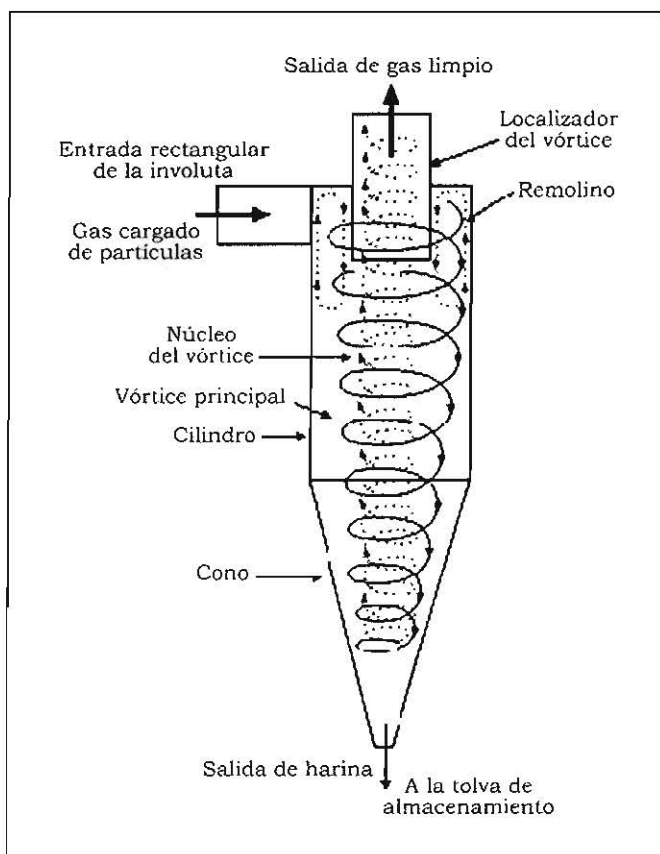


Figura 5. Ciclón recolector.

6.4. Principio de funcionamiento del ciclón clasificador

En la clasificación de partículas se destaca la alimentación inversa (axial central) del ciclón convencional, utilizado en la planta de refinación para separar las partículas finas de las gruesas.

En estudios realizados por Clayuca, se determinó que al ingresar el gas cargado de partículas de forma axial central, se observan tres zonas de movimiento del aire y de las partículas dentro del ciclón.

- La primera zona destacable, marcada con **A**, se da en toda la periferia de la parte cónica del cilindro, donde las partículas de mayor diámetro se decantan de forma paralela a la alimentación axial, perdiendo velocidad y depositándose en el fondo del ciclón.
- En la zona marcada con **B**, se forma una contrapresión, que ayuda a la dispersión de las partículas que ingresan por la parte superior.
- La tercera zona, marcada con **C**, ocurre en la parte cilíndrica del ciclón donde se encuentran el flujo de aire cargado de partículas que ingresa de forma axial central con la contrapresión; formando una gran turbulencia donde las partículas más finas son elevadas y salen del ciclón por el ducto conectado tangencialmente hacia el ciclón recolector (Figura 6)

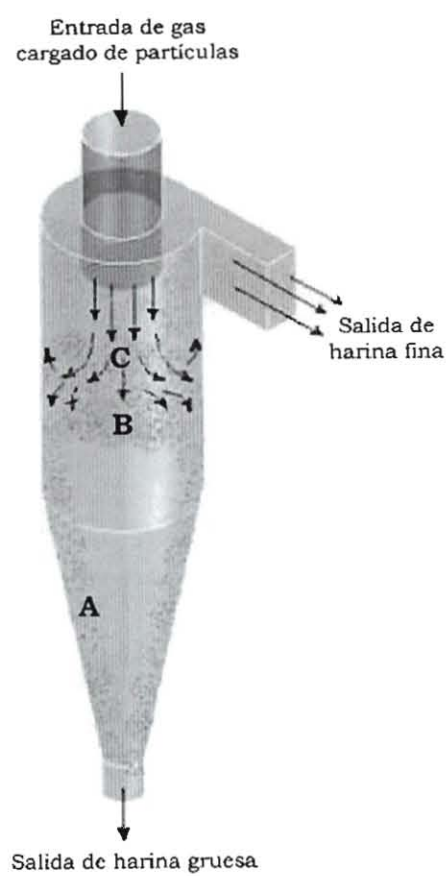


Figura 6. Ciclón clasificador.

7. Diagrama general del proceso

7.1. Proceso de extracción de harina refinada de yuca (Figura 7)

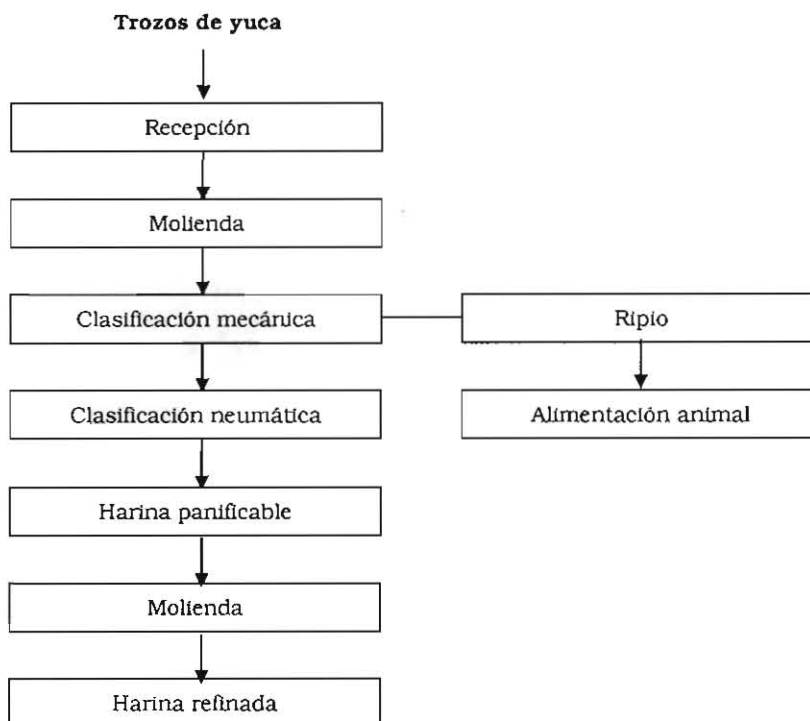


Figura 7. Proceso de extracción de harina refinada de yuca.

El proceso general se compone de las siguientes etapas (Figura 8)

- Molienda de los trozos de yuca seca en el molino-tamiz cilíndrico de aspas con malla de 3 milímetros.
- Tamizado de la harina gruesa en el molino-tamiz cilíndrico de aspas con malla de 177 micras.
- Tamizado de la harina intermedia en el molino-tamiz cilíndrico de aspas con malla de 100 micras.
- Clasificación de la harina en ciclones.

Etapas

Molienda con malla de 3 milímetros (molino 1)

Por medio de un tornillo sinfín, pequeños trozos de yuca seca (materia prima del proceso) alimentan el molino tamiz cilíndrico de aspas provisto de la criba con malla expandida de 3 milímetros. En esta etapa, los trozos se reducen de tamaño y por medio de la malla se rechazan pequeños materiales como la cascarilla, trozos duros de fibra, astillas, materiales que componen el ripio. El material que logra pasar por la malla es succionado por un ventilador 1 de aspas radiales que los transporta a un par de ciclones conectados en paralelo con alimentación inversa (axial central) encargados de la clasificación neumática. En la separación neumática, la harina producida por el molino tamiz es dividida en dos clases: harina fina que pasa a empaque en un ciclón recolector y harina gruesa que se decanta en la válvula esclusa 1 y se convierte automáticamente en la materia prima de la siguiente etapa.

Etapa b

Tamizado con malla de 177 micras (molino 2)

En esta etapa, la harina gruesa proveniente del molino 1 y decantada en los ciclones a la válvula esclusa 1, se convierte en materia prima del molino 2 donde se encuentra alojada la criba de 177 micras. La harina dentro de este molino es reducida de tamaño, generándose un ripio por el material que no pasa la malla. La harina que pasa la malla es succionada por el ventilador 2 y separada en dos nuevas harinas dentro de un ciclón que trabaja con alimentación inversa. La harina gruesa se decanta hacia la válvula esclusa 2 y se convierte en la materia prima del tercer molino; la harina fina queda lista para la etapa de recolección.

Etapa c

Tamizado con malla de 100 micras (molino 3)

Igual que en las etapas anteriores, la harina intermedia proveniente del molino 2 y decantada a la válvula esclusa 2, pasa a refinarse en el molino 3 provisto de una criba de 100 micras. Aquí se genera un nuevo ripio con el material que no pasa la malla. La harina ya refinada es succionada por el ventilador 3 y pasa a la etapa de recolección.

Etapa d

Clasificación de la harina de forma neumática (ciclones)

Esta etapa se realiza en los intermedios de las etapas de molienda, se utilizan ciclones convencionales que normalmente recolectan el producto procesado; en este caso, el ciclón es utilizado como clasificador neumático, ya que cumple con los requerimientos de clasificación de partículas deseado. La alimentación de la corriente de aire cargado de harina en el ciclón se realiza de forma inversa; es decir, por la parte superior (axial central), esto permite que las partículas gruesas (>100 micras) se decanten hacia la válvula esclusa para la nueva etapa de molienda y las partículas finas salgan del ciclón por su parte tangencial, para ser recolectadas posteriormente y evitar una remolienda de las harinas finas.

La granulometría de la harina obtenida es la siguiente: la harina utilizada en panificación, tiene un 70-75% de partículas menores a 50 micras, un 20-25% partículas menores a 177 micras, esta harina es obtenida a partir de las dos primeras etapas de molienda. No obstante, de esta misma planta se puede obtener una harina aún más refinada con 90-95% de las partículas menores a 50 micras, esto se realiza utilizando la tercera etapa de tamizado con la criba con malla de 100 micras.

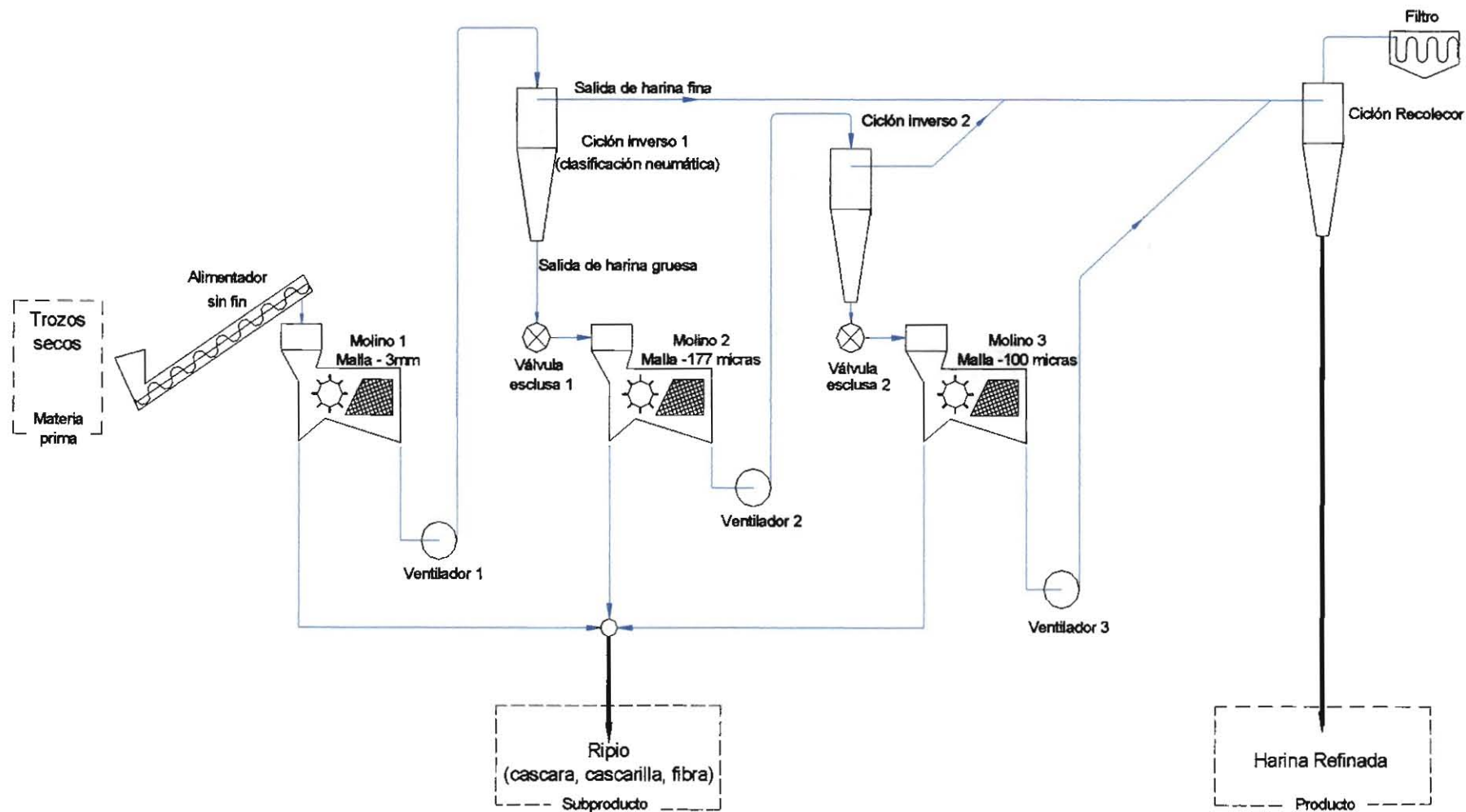


Figura 8. Proceso de extracción de harina refinada.

8. Puesta en marcha

8.1. Procedimientos previos a la primera puesta en marcha

El personal deberá adoptar las precauciones necesarias para el empleo de productos particulados extraídos en el proceso (Partículas volátiles).

- Comprobar la fijación de los motores eléctricos a su correspondiente soporte.
- Verificar la alineación de las bandas instaladas en las poleas y la tensión de éstas.
- Inspeccionar la puesta de empaques (sellos), en el acoplamiento de la tubería, ciclones, compuerta del molino y ventilador.
- Verificar la fijación del ventilador en la descarga del molino tamiz.
- Revisar la abertura de la compuerta perteneciente al sistema neumático.

8.2. Control de la conexión de los motores

Poner en marcha la tamizadora, válvula esclusa y ventilador para verificar el sentido de rotación de los motores. La rotación debe corresponder al indicado por las flechas.

9. Primera puesta en marcha

- Una vez realizadas todas las verificaciones y procedimientos descritos anteriormente, poner en marcha la planta.
- Efectuar una verificación visual y auditiva (comprobar sobre todo que no haya ruidos anormales).
- Cerciorarse de la velocidad del aire en la descarga de la tubería (sin acoplar los ciclones) con la ayuda de un anemómetro.
- Ajustar progresivamente el caudal desde la compuerta, vigilando la velocidad correspondiente al sistema neumático.
- Instalar los ciclones y su correspondiente válvula.
- Alimentar el sistema con trozos secos (12% de humedad) de yuca.
- Verificar la libre descarga de harina por los ciclones y de ripio por la compuerta del molino.

9.1. Incidentes al hacer la primera puesta en servicio

9.1.1. Motor que gira con dificultad y se recalienta

- Fase mal conectada.
- Las características de la alimentación eléctrica no corresponden a las características del motor.
- No es bueno el acoplamiento elegido.
- Acumulación excesiva de harina en el rotor del ventilador.
- Rodamientos en mal estado.

9.1.2. Ruidos inusuales

- Desprendimiento de algún elemento de sujeción en el rotor del ventilador.
- Inclusión de elementos extraños incorporados con los trozos de yuca dentro del sistema (piedras, piezas metálicas, etc.)
- Atascamiento del sistema alimentador por elementos extraños.

10. Operación del sistema

La planta cuenta con una caja de control eléctrico, donde se identifica cada uno de los elementos que componen la planta.

El encendido del equipo está diseñado de forma secuencial, esto quiere decir que se debe seguir el orden de numeración que aparece al lado del interruptor de cada elemento, de lo contrario el sistema no entrará en funcionamiento.

Inicialmente, se enciende el ventilador, luego el molino y por último el alimentador sinfin.

Antes de poner en funcionamiento la planta se debe verificar que no se encuentren elementos extraños en los motores o correas que generan los diferentes movimientos; además de forma manual (sin encender los motores) verificar la libre rotación de los ejes de los tamices y de los ventiladores asegurándose una correcta alineación entre las poleas y la adecuada tensión de las correas, esta operación se realiza preferiblemente con los interruptores en apagado. Todo esto con el fin de evitar daños de los diferentes componentes de la planta antes de ponerla en marcha.

Con las recomendaciones anteriormente mencionadas se debe hacer marchar la maquina en vacío para ensayar los mecanismos de transmisión y el equilibrio dinámico (vibraciones) de los ejes tamizadores y de los ventiladores, ya que estos rotan a altas revoluciones.

Instrucciones

- Encienda los diferentes componentes de la planta según su numeración.
- Verifique el encendido y puesta en marcha de todos los elementos de la planta.
- Verificar la existencia de vacío en la descarga del ripio, dicha verificación es visual y se puede apreciar en el empaque de polipropileno instaladas en el ducto de descarga.

10.1. Cambio de criba

Para realizar el cambio de las cribas, es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Retire los prisioneros de la tapa de descarga del ripio (Figura 9a), extraiga la tapa manipulándola de las manijas (Figura 9b) y ábrala totalmente (Figura 9c), esto facilitará el fácil cambio de la criba.





Figura 9

- Utilice siempre la extensión en tubo para centrar el eje (Figura 10a) y permitir el libre desplazamiento de la criba dentro del molino (Figura 10b). También se puede utilizar el trípode para apoyar y sostener la extensión en tubo.



Figura 10

- Para introducir nuevamente la criba, centre el eje del molino nuevamente con ayuda de la extensión (Figura 11a), introduzca la criba con mucho cuidado (Figura 11b) y desplácela hacia la parte interna del molino (Figura 11c).





Figura 11

- Asegúrese de introducir correctamente la criba en la cavidad correspondiente dentro del molino, tenga el eje centrado (Figura 12a).



Figura 12

- Después de introducir correctamente la criba, centre el eje manualmente de forma que la chumacera de la tapa esté alineada con el eje (Figura 13a); seguidamente, presione la tapa hacia las guías y tornillos presentes en el molino (Figura 13b) y asegure muy bien los prisioneros (Figura 13c).





Figura 13

- Utilizar la criba correspondiente al tamaño de trozo o partícula a procesar; recordando que, inicialmente, se utiliza la criba expandida (3 milímetros), seguidamente la criba de 177 micras y por último la criba de 100 micras.

11. Normas de seguridad

El personal encargado del montaje, uso y mantenimiento de este equipo deberá conocer, asimilar y respetar el contenido de este manual con el fin de:

- Evitar cualquier riesgo para sí mismo o para otras personas con manipulaciones incorrectas del equipo.
- Operar de manera adecuada la planta para garantizar la funcionalidad y durabilidad de los componentes del equipo.
- Cualquier operación que se realice en el equipo deberá efectuarse cuando esté apagado (OFF). Evitar cualquier posibilidad de puesta en marcha del equipo, lo ideal es poner en apagado el interruptor de todo el sistema eléctrico.
- Cortar la alimentación eléctrica en cuanto se detecten anomalías durante el funcionamiento: calentamiento anormal o ruido inusual.
- Utilizar siempre tapabocas al manipular harinas.

12. Mantenimiento

12.1. Mantenimiento de correas en V

- Inicialmente, al instalar correas se deben aflojar todos los tensores disminuyendo la distancia entre centros para facilitar la ubicación en el sistema de poleas. No es adecuado usar palancas para introducir la correa en la ranura de la polea, ya que esto puede maltratar los hilos que conforman la correa.
- Las correas nuevas se estiran, por ello es recomendable aplicar tensión los primeros días de uso.
- Las poleas y correas prestan una transmisión excelente, siempre que se cuide su alineación y su tensión.
- La falta de alineación da lugar a un excesivo desgaste de las correas, en ocasiones desgasta los cojinetes e impone sobrecarga al motor. La alineación debe comprobarse regularmente y después de cada desmonte de la polea.
- No dejar grasa en la correa, debe estar limpia de polvo, aceite, pintura, sin bordes agudos o rebabas.

12.2. Mantenimiento del motor eléctrico (Figura 14)

El sistema cuenta con los siguientes motores:

- Un motor trifásico de 3 HP.
- Un motor trifásico de 5 HP.
- Un moto reductor de 0.5 HP.



Figura 14. Motor eléctrico.

Advertencia de seguridad

Antes de efectuar cualquier trabajo sobre el motor, asegúrese de que esté desconectado y que no es posible su reconexión. Para esta advertencia, el equipo cuenta con un sistema de interruptores para cada motor ubicados en las cajas dispuestas en cada módulo de la planta y adicionalmente con interruptores que aíslan de forma general el sistema, instalados en una caja principal de conexión.

Intervalos de mantenimiento

Es necesario efectuar periódicamente inspecciones para verificar que no haya anomalías que produzcan daños mayores.

Como las condiciones de servicio son tan variadas, los períodos dependen del sitio de instalación. Se recomienda trabajar en ambientes donde la humedad no afecte el buen desempeño del equipo y verificar que los motores no presenten recalentamiento.

Lubricación

Los motores tienen rodamientos rígidos de bolas con dos tapas de protección (tipo 2z) y prelubricados.

Para montar nuevos rodamientos, en caso de ser necesario, debe tenerse en cuenta su tipo y tamaño. Los rodamientos, se pueden montar a presión mediante dispositivos mecánicos o hidráulicos.

Limpieza

En cada inspección debe limpiarse el polvo y la harina que se van acumulando en la superficie externa del motor, esto evitará deterioro del recubrimiento y posible oxidación de la carcasa. Esta limpieza preferiblemente se realiza con aire seco a presión.

12.3. Mantenimiento de la criba

- Después de utilizar cualquiera de las cribas, se debe limpiar cuidadosamente. Se recomienda, preferiblemente, utilizar un compresor de aire para soplear la malla.
- Guardar cuidadosamente las cribas no utilizadas, evitando deformaciones de su estructura cilíndrica y perforaciones en la malla.

12.4. Mantenimiento del alimentador sinfín

- Antes de realizar cualquier operación de limpieza ponga en apagado (OFF) el sistema.
- Soplear con aire a presión el alimentador sinfín, evitando dejar residuos de trozos o harina en su parte interna.

Anexo 4

Modelado matemático del cilindro rotatorio de secado artificial

Clayuca, como parte de sus actividades en tecnología de manejo poscosecha de la yuca, ha realizado diversas investigaciones en pro de desarrollar y evaluar tecnologías más avanzadas de secado con equipos artificiales continuos, que garanticen una oferta adecuada de yuca seca todo el año, a precios competitivos y con una calidad que permita su uso seguro en los diferentes procesos agroindustriales.

En este contexto, hace algunos años se realizó la instalación y la evaluación técnica de una planta piloto diseñada y construida por Industrias Protón (Figura 1). En este estudio se derivó e implementó satisfactoriamente un modelo matemático a un secador rotatorio de carcasa estática y paletas giratorias (Figura 2), que permitió predecir el comportamiento del proceso de secado de yuca en toda la planta piloto.



Figura 1. Planta piloto Clayuca-Protón.



Figura 2. Vista interna secador Protón.

En resumen la evaluación completa de la planta piloto dio como resultado las condiciones a las cuales la planta piloto puede producir trozos de yuca al 12% de humedad. Cabe señalar que esta producción se realizó con una carga de 100 kilogramos de yuca fresca por hora.

Modelo matemático

El modelo matemático del secador de la planta piloto se estableció a partir de las siguientes ecuaciones, que determinan los perfiles de temperaturas y contenido de humedad en ambas fases (sólida y gaseosa) sobre un elemento diferencial, a lo largo del secador con calor directo en estado estacionario:

$$\frac{dX}{dz} = -\frac{N}{z}\tau$$

$$\frac{dY}{dz} = \frac{S_s}{G_s} \frac{N}{z}\tau$$

$$\frac{dT_G}{dz} = \frac{1}{C_h S_s} \left[-U_a A_r (T_G - T_s) - (T_G - T_s) C_a S_s \frac{N}{z} \tau \right]$$

$$\frac{dT_s}{dz} = \frac{1}{C_{sh} S_s} \left[U_a A_r (T_G - T_s) - \lambda_s S_s \frac{N}{z} \tau \right]$$

donde:

- X = Humedad del sólido en base seca, en Kg_{H2O}/Kg_{ss}
- Y = Humedad del aire de secado en base seca, en Kg_{H2O}/Kg_{as}
- T_G = Temperatura del aire de secado (bulbo seco), en °C
- T_s = Temperatura del sólido, en °C
- z = Coordenada axial, en m
- N = Velocidad de secado (Ecuación 5.14), en Kg_{H2O}/Kg_{ss}·s
- τ = Tiempo de paso en el secador (Ecuación 5.5), en s
- S_s = Velocidad másica de secado del sólido, en Kg_{ss}/s
- G_s = Velocidad másica de secado del aire, en Kg_{as}/s
- C_h = Calor específico del aire húmedo, en J/Kg_{ss}·°C
- A_r = Área de sección transversal en el secador, en m²
- C_a = Calor específico del vapor de agua, en J/Kg_{H2O}·°C
- C_{sh} = Calor específico del sólido húmedo, en J/Kg_{ss}·°C
- λ_s = Calor latente de vaporización del agua en el sólido, en J/Kg_{H2O}

Las ecuaciones del modelo matemático planteadas anteriormente fueron resueltas mediante el método de diferencias finitas progresivas, con 20 subdivisiones hechas a lo largo del primer secador. Las variables correspondientes al contenido de humedad y a la temperatura en el aire (Y y T_G respectivamente) se discretizaron hacia delante, partiendo de la posición cero en el secador y las variables correspondientes al contenido de humedad y temperatura en el sólido (X y T_s), hacia atrás partiendo de la posición L igual a 3.48 metros. El algoritmo de solución fue programado en Visual Basic 6.0

Para las variables X y Y se utilizó una tolerancia de 10⁻⁸, lo que significa una aproximación hasta la sexta cifra decimal. En el caso de T_s y T_G, se utilizó una tolerancia de 10⁻⁷, lo cual asegura un valor aproximado hasta tres cifras decimales.

La validación del modelo matemático se hizo con los resultados obtenidos en ensayos realizados en la planta piloto de Clayuca. Los datos de entrada al programa del modelo matemático pertenecen al período de secado, donde todas las condiciones de operación se encuentran estables.

Una vista general de la entrada de los datos y de los resultados arrojados por el programa se muestra a continuación.

Entrada de datos al programa

Calculos para el Secador

SIMULACION DE SECADOR

Datos Generales de los Flujos

Flujo Sólido Húmedo (kg sh/h):

Flujo Aire Húmedo por Área (lb Ah/ h ft²):

Densidad de Sólido Seco (lb ss/ R³):

Calor Latente del Agua en el Sólido (J/kg):

Humedad de Saturación en la Interfase del Sólido Ys (kg de agua/kg ss):

Diámetro Promedio de Partículas (µm):

Datos Generales del Secador

Diámetro del Secador (ft):

Longitud del Secador (m):

Pendiente del Secador (ft/ft):

RPM de Eje y Aspas:

Presión Atmosférica (atm):

Numero de Intervalos:

Tornillo Alimentador

Diámetro del Tornillo (in):

Diámetro del Eje (in):

Espacios entre Aspas (in):

Longitud del Tornillo (ft):

Factor de Material:

Entrada de Aire
 Temperatura (°C):
 Humedad del Aire (kg Agua/kg ss):

Entrada Sólido
 Temperatura (°C):
 Humedad del Sólido (kg Agua/kg ss):

Salida Sólido
 Temperatura (°C):
 Humedad del Sólido (kg Agua/kg ss):

Salida de Aire
 Temperatura (°C):
 Humedad del Aire (kg Agua/kg ss):

Z=0 Z=L

SECADOR

Resultados arrojados por el programa

Resultados Secador

RESULTADOS FINALES

Longitud (m)	Humedad Sólido %	Humedad Sólido Base Seca	Temperatura Sólido °C	Humedad Aire BS	Temperatura Aire °C
0.00	36.74	0.5907	43.46	0.0192	80.00
0.17	37.63	0.6033	42.65	0.0195	78.30
0.35	38.56	0.6275	41.82	0.0198	76.64
0.52	39.52	0.6535	40.98	0.0201	75.02
0.70	40.52	0.6812	40.11	0.0204	73.43
0.87	41.54	0.7107	39.23	0.0207	71.87
1.04	42.60	0.7421	38.34	0.0211	70.35
1.22	43.67	0.7753	37.42	0.0215	68.85
1.39	44.77	0.8105	36.50	0.0219	67.38
1.57	45.87	0.8474	35.55	0.0224	65.93
1.74	46.98	0.8862	34.60	0.0229	64.51
1.91	48.10	0.9268	33.63	0.0234	63.10
2.09	49.21	0.9690	32.66	0.0239	61.72
2.26	50.32	1.0128	31.69	0.0244	60.35
2.44	51.41	1.0581	30.71	0.0250	59.00
2.61	52.49	1.1046	29.73	0.0256	57.67
2.78	53.54	1.1523	28.76	0.0261	56.35
2.96	54.56	1.2008	27.80	0.0268	55.05
3.13	55.56	1.2501	26.85	0.0274	53.76
3.31	56.52	1.2999	25.92	0.0280	52.49
3.48	57.45	1.3500	25.00	0.0286	51.24

Retenidos en el Secador

Retenido ϕ_s : (Debe ser menor a 0.08)

Retenido ϕ_a : (Debe estar entre 10-15)

Resultados Generales

Tiempo de Paso en el Secador (min):

Coefficiente de Transferencia de Calor (BTU/ft² h °F):

Volumen Total (ft³):

Resultados Tornillo Alimentador

Velocidad de Rotación (rpm):

Potencia (kW):

Resultados Ventilador

Flujo Volumétrico de Aire (ft³/h):

Potencia del Motor (kW):

Corriente del Motor (Amp):

Presión de Descarga del Ventilador (Atm):

Anexo 5

Plegables divulgativos:

Planta piloto para la obtención de harina refinada de yuca

Técnicas de deshidratación para la producción de yuca seca

El CIAT y Clayuca han desarrollado proyectos para expandir la producción, el procesamiento y abrir nuevos mercados para los productos con base en harina de yuca, promoviendo el establecimiento de industrias rurales y brindando la oportunidad de ampliar los ingresos de los pequeños productores.

Propiedades reológicas

Amilosa (%)	13
pH	7
Sensibilidad alcalina (ml)	65
Temperatura de gelatinización °C	66
Viscosidad Máxima (UB)	550
Inestabilidad del gel (UB)	180
Facilidad de cocción	15

Aplicaciones de la harina

La yuca se puede utilizar en formulaciones de alimentos tales como pan, pastas, mezclas para tortas, mezclas de harina para colada, sopas y productos extrudidos. También se puede utilizar como espesante de sopas, condimentos, papillas para bebés, dulces y carnes procesadas. El rápido crecimiento urbano en los países de América Latina y del Caribe ha incrementado la demanda de estos alimentos procesados, donde la harina adquiere un mayor valor agregado.



Adhesivos



Croquetas



Panadería



Cámicos



Hojuelas



Sopas



Para mayor información:

Bernardo Ospina

Director Ejecutivo Clayuca

Ing. Agrícola. MSc. Desarrollo Internacional

b.ospina@cgiar.org

Lisímaco Alonso

Sistemas de Manejo Poscosecha Clayuca

Ing. Agrícola

l.alonso@cgiar.org

Alberto García

Sistemas de Manejo Poscosecha Clayuca

Ing. Mecánico

albertogarcia@mailworks.org

Km. 17 recta Cali – Palmira

Tel. + 57(2) 4450157 / 59

<http://www.clayuca.org>

Palmira, Valle – Colombia



Planta piloto para la obtención de harina refinada de yuca

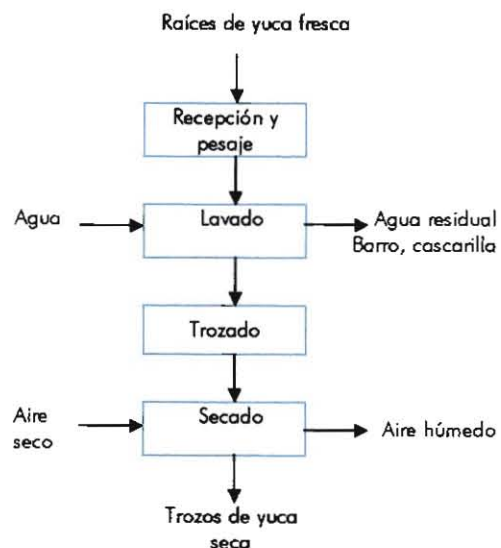


La yuca es uno de los cultivos de mayor importancia en las regiones tropicales.

Aunque normalmente las raíces de yuca constituyen una fuente alimenticia básica en la alimentación humana, tienen un gran potencial para el desarrollo de procesos agroindustriales como la extracción de almidón, la producción de trozos secos para la industria de alimentos balanceados para animales, etc.

Para obtener yuca seca, las raíces deben ser tratadas mediante un proceso que tiene como principal operación el secado.

Diagrama de flujo del proceso



Factor de conversión (kg)

2.5:1 Raíces frescas : Trozos secos

Las operaciones que se requieren para el procesamiento de la yuca son:

Cosecha: Puede ser manual o mecanizada. Las raíces se cosechan con 8-12 meses de edad, dependiendo de la variedad.

Recepción y pesaje: Después de la cosecha, las raíces de yuca son transportadas en empaques o a granel hasta la planta de secado. Allí la yuca se pesa para definir el parámetro rendimiento o factor de conversión de raíces frescas a trozos secos de yuca. Posteriormente, las raíces deben ser procesadas sin demora, pues se deterioran en un lapso de 12 horas en adelante.

Lavado: Las raíces de yuca deben ser lavadas cuando se cosechan en épocas de lluvia y/o terrenos húmedos, pues tienen tierra adherida. El no hacerlo reduciría la calidad del producto seco por su alto contenido de cenizas y sílice. Este lavado se puede realizar en tanques con agua o en tambores giratorios con agua a presión.



Maquina lavadora de yuca

Picado: Para que las raíces de yuca se sequen rápidamente es necesario exponer una mayor superficie de éstas al aire. Esto se logra cortándolas en trozos pequeños y uniformes, utilizando varios modelos de picadoras con discos y cuchillas que giran a gran velocidad.

Secado: Es un proceso que elimina la mayor parte de humedad que contienen las raíces de yuca. El secado reduce la humedad de los trozos de 65% a 12%, humedad en la cual los trozos de yuca pueden ser almacenados durante largos períodos de tiempo, sin que se deterioren.



Maquina picadora de yuca con disco tipo Colombia.

El secado también es importante porque ayuda a volatilizar el ácido cianhídrico presente en la yuca y liberarlo en las corrientes de aire.

Los métodos de secado de yuca más comunes pueden clasificarse, según el nivel de tecnología alcanzado y costo.

► Secado artificial continuo

En secadores de transporte neumático (flujos paralelos entre yuca y aire) o en secadores rotatorios (flujos contracorriente entre yuca y aire).



Secador rotatorio – Planta piloto, Clayuca/CIAT

• Secado artificial por tandas

En secadores de capa fija, donde aire caliente atraviesa una capa de yuca dispuesta en una malla perforada.



Secador de capa fija – Planta piloto, Clayuca/CIAT

► Secado natural

En pisos de cemento o bandejas, donde se aprovecha la energía solar y el aire ambiente.



Secado en bandejas.

La elección del método depende en gran parte de la cantidad de yuca a secar, de la disponibilidad de capital, del costo de la mano de obra y de la disponibilidad de fuentes de energía relativamente baratas.

► Empaque y almacenamiento

El producto en forma de trozos secos con una humedad entre el 10-12% se empaqueta en sacos de polipropileno de aprox. 50 kilos y se almacena en un lugar seco y muy limpio, donde el producto no absorba humedad del medio ni pierda su calidad.



Para mayor información:

Bernardo Ospina
Director Ejecutivo Clayuca
Ing. Agrícola. MSc. Desarrollo Internacional
b.ospina@cgiar.org

Lisímaco Alonso
Sistemas de Manejo Postcosecha Clayuca
Ing. Agrícola
l.alonso@cgiar.org

Sonia Gallego
Sistemas de Manejo Postcosecha
Ing. Química
sgallegocastillo@yahoo.com

Km. 17 recta Cali – Palmira
Tel. +57(2) 4450157 / 59
<http://www.clayuca.org>
Palmira, Valle – Colombia



Técnicas de deshidratación para la producción de yuca seca

