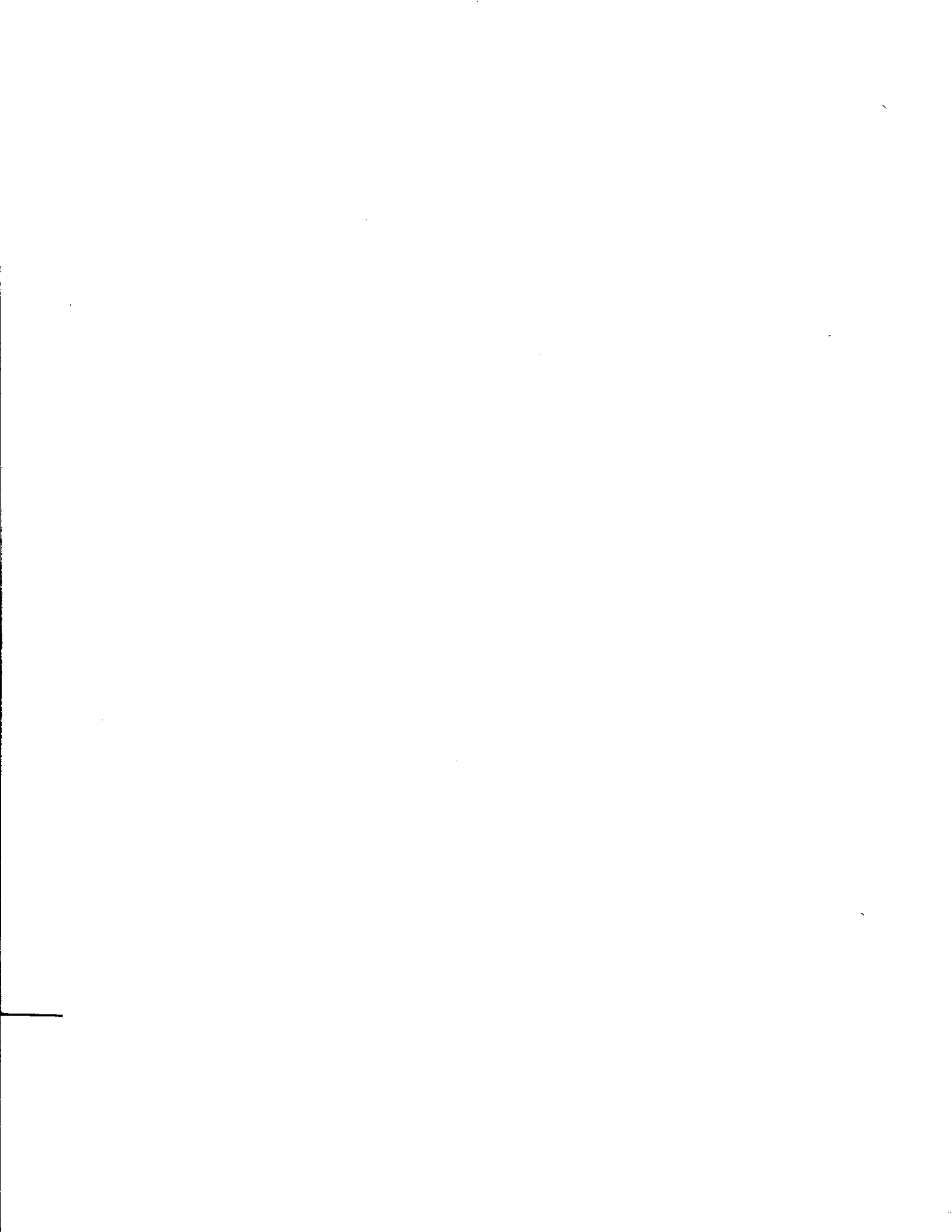


Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ciencias y Humanidades

**Recuperación de almidón del agua de lavado  
de una línea de producción de  
papalina en una fábrica de snacks**

Guatemala  
2003



**Recuperación de almidón del agua de lavado  
de una línea de producción de  
papalina en una fábrica de snacks**

Universidad del Valle de Guatemala  
Facultad de Ciencias y Humanidades

**Recuperación de almidón del agua de lavado  
de una línea de producción de  
papalina en una fábrica de snacks**

BIBLIOTECA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Trabajo de graduación presentado por  
Marie Sol Serrano  
para optar al grado de Licenciado en  
Ingeniería Química

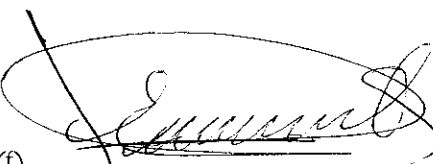
Guatemala  
2003

**Vo. Bo.**

Asesor:

(f)   
\_\_\_\_\_  
José Eduardo Calderón García

Tribunal:

(f)   
\_\_\_\_\_  
José Eduardo Calderón García

(f)   
\_\_\_\_\_  
Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f)   
\_\_\_\_\_  
Francisco Antonio Contreras Reyes

Fecha de Aprobación:  
Guatemala Mayo 14 del 2,003

## Índice

|   |     |
|---|-----|
| LISTA DE TABLAS                                       | II  |
| LISTADO DE FIGURAS                                    | III |
| RESUMEN   | V   |
| I. INTRODUCCIÓN                                       | 1   |
| II. ANTECEDENTES                                      | 2   |
| A. Procesamiento de la papa                           | 2   |
| B. Elaboración de papalina                            | 4   |
| C. Almidón  | 6   |
| D. Separación del almidón                             | 13  |
| III. JUSTIFICACIÓN                                    | 16  |
| IV. OBJETIVOS   | 17  |
| A. Generales  | 17  |
| B. Específicos  | 17  |
| V. PROBLEMA A RESOLVER                                | 18  |
| VI. METODOLOGÍA                                       | 19  |
| A. Investigación técnica                              | 19  |
| B. Obtención de muestras en las distintas condiciones | 19  |
| C. Análisis de las muestras obtenidas                 | 19  |
| D. Definición de la situación actual                  | 19  |
| E. Diseño de equipo                                   | 19  |
| F. Estudio económico del proyecto                     | 19  |
| G. Programación                                       | 20  |
| H. Definición de situación actual                     | 21  |
| I. Proceso de recuperación de almidón                 | 25  |
| J. Purificación del almidón                           | 25  |
| K. Secado   | 40  |
| L. Tamizado y molido                                  | 44  |
| M. Empaque  | 45  |
| N. Aditivos, antisépticos y preservantes              | 45  |
| O. Explosiones de polvo                               | 47  |
| P. Banda transportadora                               | 51  |
| VII. RESULTADOS                                       | 52  |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| VIII. | DISCUSIÓN   | 55 |
| IX.   | CONCLUSIONES.   | 62 |
| X.    | RECOMENDACIONES   | 63 |
| XI.   | BIBLIOGRAFÍA  | 64 |
| XII.  | ANEXOS  | 65 |
|       | A. Comparación de métodos de purificación   | 65 |
|       | B. Diagramas de bloques de selección para el secador  | 67 |
|       | C. Diagrama de flujo del proceso para los balances de masa y energía                          | 71 |
|       | D. Distribución de la planta antes y después de añadir la línea de<br>recuperación de almidón | 76 |
|       | E. Costo  | 78 |
|       | F. Flujos de Caja   | 81 |
|       | G. Resultados del análisis económico  | 84 |
|       | H. Tiempo de recuperación de la inversión   | 85 |
|       | I. Datos obtenidos de la línea de fábricas de productos alimenticios Rene                     | 88 |
|       | J. Cálculo de muestra   | 92 |
|       | K. Precios del almidón en el mercado  | 94 |
|       | L. Propiedades del almidón  | 95 |
|       | M. El almidón en los mercados Mundiales   | 97 |

## Lista de Tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Comparación métodos de purificación  | 65 |
| Tabla 2. Costos para una línea de producción de 500 kg de almidón por hora.   | 78 |
| Tabla 3 Costos de maquinaria actuales para procesar los 46 kg / h de almidón que desecha la fábrica de productos alimenticios Rene. | 79 |
| Tabla 4. Costos variables anuales en Quetzales  | 79 |
| Tabla 5. Costos fijos anuales en Quetzales  | 80 |
| Tabla 6. Gastos de venta anuales en Quetzales   | 80 |
| Tabla 7. Ingresos por ventas anuales en Quetzales   | 80 |
| Tabla 8. Flujo de caja sin préstamo   | 81 |
| Tabla 9. Flujo de caja tomando un préstamo a 10 años de la mitad de la inversión con un interés de 18%                              | 82 |
| Tabla 10. Flujo de caja tomando un préstamo a 10 años de el total de la inversión con un interés de 18%                             | 83 |
| Tabla 11. Resultados del análisis económico sin préstamo  | 84 |
| Tabla 12. Resultados del análisis económico con un préstamo a 10 años de la mitad de la inversión con 18% de interés.               | 84 |
| Tabla 13. Resultados del análisis económico con un préstamo a 10 años de el total de la inversión inicial con 18% de interés.       | 84 |
| Tabla 14. Datos originales  | 88 |
| Tabla 15. Datos originales  | 90 |
| Tabla 16. Densidad de los distintos componentes del agua de lavado  | 95 |
| Tabla 17. Composición del almidón de papa   | 95 |
| Tabla 18. Distribución de tamaños típica del almidón terminados   | 96 |
| Tabla 19. Densidad y calor específico   | 96 |

## Listado de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Estructura del almidón  | 6  |
| Figura 2. Distintos gránulos de almidón vistos al microscopio   | 9  |
| Figura 3. Línea de producción de papalina productos alimenticios Rene   | 21 |
| Figura 4. Diagrama de rodajeadora   | 21 |
| Figura 5. Lavador   | 22 |
| Figura 6. Caja de finos   | 22 |
| Figura 7. Caja de finos   | 23 |
| Figura 8. Drenaje de Lavado   | 23 |
| Figura 9. Diagrama del Lavador  | 24 |
| Figura 10. Canales de sedimentación   | 26 |
| Figura 11. Partes básicas de un rotor centrífugo de alta velocidad  | 28 |
| Figura 12. Mecanismo de separación centrífuga   | 29 |
| Figura 13. Factores a considerar en el lecho de discos de un rotor centrífugo de alta velocidad   | 29 |
| Figura 14. Principio del separador de boquillas   | 30 |
| Figura 15. Separador de boquillas   | 30 |
| Figura 16. Balance de masa máquina de boquillas   | 31 |
| Figura 17. Balance de masa de máquina de boquillas con recirculación  | 31 |
| Figura 18. Detalle de sistema con recirculación   | 32 |
| Figura 19. Máquina de boquillas con facilidades de lavado   | 32 |
| Figura 20. Principio de traba. El rotor es cerrado hidráulicamente por un líquido de operación de una fuente externa.                       | 33 |
| Figura 21. Descarga parcial (sólo sólidos). Un líquido de operación adicional abre el rotor, la alimentación continúa sin ser interrumpida. | 34 |
| Figura 22. Sección transversal de centrífuga secadora de eje horizontal con cuchillo hidráulico.  | 35 |
| Figura 23. Ciclo de trabajo de centrífuga de secado   | 36 |
| Figura 24. Principio de tamiz de cono rotatorio   | 37 |
| Figura 25. Partes de una centrífuga de placas   | 38 |
| Figura 26. Hidrociclón  | 39 |
| Figura 27. Batería de hidrociclones   | 39 |
| Figura 28. Secador de bandeja   | 41 |
| Figura 29. Secador rotatorio  | 42 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 30. Secador de banda   | 43 |
| Figura 31. Retirado de agua, secado y tamizado. 1. Purificación, 2. transportador, 3. Mezclador, 4. Soplador, 5. Calentador. 6. Tubo del secador neumático. 7. Ciclones. 8. Chimenea. | 43 |
| Figura 32. Tamiz. cuenta con una bandeja inferior inclinada y bolas de plástico para romper los terrones.   | 45 |
| Figura 33. Transportador de tornillo sin fin  | 49 |
| Figura 34. Banda transportadora   | 51 |
| Figura 35. Diagrama de bloques de selección de secador por forma de transferencia de calor  | 67 |
| Figura 36. Diagrama de bloques de selección de secador por tipo de sólido   | 68 |
| Figura 37. Diagrama de bloques de selección de secador por escala   | 69 |
| Figura 38. Diagrama de bloques de selección del secador por especificaciones del producto   | 70 |
| Figura 39. Balance de masa de la línea de recuperación de almidón   | 71 |
| Figura 40. Diagrama de balance de energía de la línea de recuperación de almidón  | 72 |
| Figura 41. Balance de masa y energía de la bomba  | 73 |
| Figura 42. Balance de masa y energía de hidrociclón   | 73 |
| Figura 43. Balance de masa y energía del tornillo sin fin   | 73 |
| Figura 44. Balance de masa y energía de secado  | 74 |
| Figura 45. Diagrama de balance de masa y energía del tamiz  | 75 |
| Figura 46. Diagrama de balance de masa y energía del empaque  | 75 |
| Figura 47. Diagrama de Distribución antes de instalar la línea de recuperación de Almidón   | 76 |
| Figura 48. Diagrama de flujo distribución después de instalar la línea de recuperación de almidón   | 77 |
| Figura 49. Tiempo de recuperación de la inversión sin préstamo  | 85 |
| Figura 50. Tiempo de recuperación de la inversión con un préstamo a 10 años de la mitad de la inversión con una tasa de interés de .18%   | 86 |
| Figura 51. Tiempo de recuperación de la inversión con un préstamo a 10 años de el total de la inversión con una tasa de interés de .18%   | 87 |

## Resumen

En este trabajo se determinó el equipo adecuado para la recuperación de almidón que se desecha en el agua de lavado de la fábrica de productos alimenticios Rene. Este almidón es desechado debido a que no permite una buena fritura. A pesar de que el almidón es un material que se debe eliminar en la producción de papalina, este es un material muy útil en otros procesos industriales. Este puede ser utilizado como adhesivo, como vehículo en la industria farmacéutica, espesante en la industria alimenticia y una inmensa variedad de aplicaciones.

Para poder vender el almidón desechado este debe ser refinado retirando los pedazos de fibras y separándolo del agua. Para este proceso se seleccionó una batería de 5 hidrociclones, los cuales dan como resultado un almidón de alta pureza en un muy corto tiempo. El transporte del almidón se eligió hacerlo por medio de transportadores de tornillo, los cuales previenen la contaminación ya la pérdida del material en el ambiente. Lo cual es muy importante con este material por ser un polvo orgánico fino, el cual forma nubes explosivas, al estar en un ambiente rico en oxígeno y con una fuente de ignición. Como método de secado se seleccionó un secador neumático, ya que este da un producto uniforme y tiene una alta eficiencia. El material será tamizado y posteriormente empacado por peso en bolsas de 100kg.

El análisis de rentabilidad del proyecto dio como resultado parámetros de rentabilidad arriba de lo esperado, teniendo una tasa interna de retorno de 225.08% y un valor actual neto de \$2,063,278.07. Recuperando la inversión al haber transcurrido menos de medio año (4.5 meses). Uno de los principales motivos de la alta rentabilidad del proyecto es que la materia prima que se utiliza es el desecho de una línea de producción de papalina. Razón por la cual no se debe invertir en materia prima.

## I. Introducción

Este trabajo consiste en la determinación de un método que permita recuperar el almidón desperdiciado, en el agua de lavado en una línea de producción de papalina, de una fábrica de snacks.

La fábrica de productos alimenticios René cuenta con una línea de producción de papalina, con la cual surten los mercados de toda Centro América.

En el proceso de producción, la papalina requiere que ésta sea lavada luego de ser rodajeada para retirar el exceso de almidón, ya que el almidón causa que las hojuelas de papa se adhieran unas a otras y no permite una buena fritura. Este exceso de almidón actualmente es desechado en el desagüe, desperdiciándolo y generando contaminación.

El almidón se emplea en las empresas textiles, farmacéuticas y alimenticias como espesante biodegradable. También como apresto para prendas, evitando que se arruguen, para hacer embalajes de espuma y puede ser utilizado como materia prima en la producción de etanol.

Los diversos usos del almidón dan la idea de recuperarlo para su posterior aprovechamiento como un subproducto de la línea.

Este trabajo se enfoca especialmente en el diseño del equipo necesario para lograr, en las condiciones de la línea de producción de la fábrica de productos alimenticios Rene, la recuperación del almidón desechado.

Se hará el análisis económico para determinar si el proyecto de la recuperación del almidón es rentable.

## II. Antecedentes

### A. Procesamiento de la papa

1. Generalidades biológicas. La papa es uno de los tubérculos más consumidos. Procedente de la planta *Solanum tuberosum*, proveedora de una gran cantidad de nutrientes y de energía, por su contenido de almidón, que en promedio alcanza un 14%. Su contenido en proteína y grasa es bajo. Además de poderse comercializar en fresco, presenta una gran variedad de posibilidades para ser industrializada y obtener productos con valor agregado de gran aceptación por el consumidor en general. (10)



La papa utilizada para la industrialización es aquella que se encuentra en su etapa de madurez, y que contiene una alta gravedad específica y alto contenido de sólidos. (10)

El valor de la gravedad específica está directamente relacionado con el rendimiento y la calidad en cuanto a textura interna de los productos procesados, como las hojuelas. (10)

Las variedades de papas que acumulan azúcares durante el almacenamiento no sirven para el procesamiento de papas fritas a la francesa y hojuelas de papa. Para obtener purés deshidratados se puede trabajar con niveles un poco más altos de azúcares. (10)

Las papas de mejor calidad deben tener las siguientes características externas: tamaño mediano (5-7 cm), buena forma, ojos superficiales, color de piel y pulpa según las preferencias del mercado, libres de la mancha azul o negruzca, sin heridas, rajaduras, verdeamiento, corazón hueco o sama, y con resistencia al lavado. (10)

La calidad interna involucra consistencia, textura, harinosidad, ausencia de ennegrecimiento en la forma cruda o cocida y buen sabor. La mejor calidad se

relaciona con un buen contenido de vitaminas (A y C especialmente) y minerales como K y Mg(10)

Las papas de procesamiento para alcohol y almidón deben poseer un alto contenido de almidón, también es importante el contenido de amilasa y el tamaño del grano de almidón. Para cualquier uso, la papa no debe ser muy grande; la masa preferida está entre 80 y 200 g. Los tubérculos ovales algo alargados son adecuados para el procesamiento. Los tubérculos redondos u ovales cortos sufren menos daño en el manejo. No hay suficientes datos sobre la herencia de la forma. Algunos cultivos muestran dominancia sobre otros con respecto a su forma. (10)

2. Posibilidades de Industrialización de la papa. Desde el tiempo de los incas, el hombre ha deshidratado las papas para calmar el hambre y alimentar a los soldados. (10)

Durante la Revolución Industrial, emergieron en Alemania e Inglaterra los procesos de deshidratación para producir porciones secas y luego tajadas finas colocadas en recipientes calientes. En el siglo XIX emergió la fermentación de la papa para obtener alcohol, también se utilizó para fabricar almidón y después para preparar las hojuelas de papa frita. (10)

En el siglo XX las necesidades de las guerras mundiales originaron una tecnología rápida para el secado y esto dio lugar a la producción de puré de papa por su fácil preparación. Después de la Segunda Guerra Mundial, en la era de los alimentos rápidos y la tecnología de la congelación, surgieron las papas a la francesa, que los norteamericanos observaron en las calles de Bélgica. Ahora este producto es la fuente de las mayores ventas de papa mundialmente. Las tendencias recientes en tecnología y empleo se concentran en productos deshidratados, incluyendo harina de papa, hojuelas, gránulos y conglomerados, tajadas secas y otros productos congelados, especialmente derivados de papas pequeñas y sus pedazos. Productos variados como papas peladas, almidón, alcohol y papas precocidas también se han difundido. (10)

Las papas tienen usos muy variados. En la cosecha mundial de 1975 se empleó un 52% para consumo humano, un 34.5% para alimentación animal, un 3.5% para almidón

y alcohol y un 10% para semilla. La papa de consumo se emplea para uso fresco o procesado. En los países industrializados la papa procesada ya llega al 80%; en los países en desarrollo varía desde 5% a 20%. (10)

Algunos productos que se pueden obtener de la industrialización de la papa son:

Hojuelas fritas de papa: se pueden obtener rebanando la papa entera o bien moldeando el puré de papa, de forma que se obtengan todas las hojuelas de la misma forma.

Hojuelas deshidratadas: para puré instantáneo o sopas.

Almidones.

Alimento animal.

Papas a la francesa congeladas (Congelado rápido individual).

Cubitos de papas congelados (Congelado rápido individual).

Crema y sémola de papa: base para cremas, purés y pasteles.

Croquetas de papa.(10)

## B. Elaboración de papalina

1. Descripción del producto. Son rodajas de papas que al ser fritas obtienen consistencia crujiente, se les agrega sabor a sal o a condimentos específicos como barbacoa. Deben ser de apariencia y color característico del producto (amarillo o dorado). (4)

### 2. Características de las grasas o aceites para freír

Punto de fusión bajo

Resistente al oscurecimiento

Resistente a la hidrólisis y a la oxidación

No debe formar espuma

Alto punto de humo(4)

### 3. Descripción del proceso:

a. **Selección.** En esta operación deberá separarse todo el producto que presenten grados de maduración diferentes al establecido y que presente defectos que impidan su procesamiento tales como roturas o daños por bacterias, hongos, etc.(3)

b. **Lavado.** Se realiza con el fin de eliminar todo tipo de material extraño o contaminante. Puede llevarse a cabo por inmersión o por aspersión.(3)

c. **Pelado.** Su objetivo es eliminar la cáscara. En el caso de la papa, este proceso resulta un poco complejo debido a la adherencia de la cáscara con la pulpa. Se utilizan dos métodos: Manual, Se realiza con cuchillos, siguiendo la forma del producto para eliminar la cáscara. Mecánico, se utilizan peladores abrasivos que eliminan la cáscara por raspado. Se debe evaluar la eficiencia de este proceso con respecto a la pérdida de pulpa. (3)

d. **Rebanado.** Consiste en cortar transversalmente el producto de modo que se formen hojuelas. Puede hacerse en forma manual utilizando cuchillas con soporte o bien con una máquina rebanadora.(3)

e. **Lavado.** Posterior al rebanado se realiza un segundo lavado para retirar el exceso de almidón lo cual permite una mejor fritura.(3)

f. **Fritura.** Su objetivo es cocinar el interior del vegetal, provocando la gelatinización del almidón. En términos generales los trozos se sumergen en la grasa caliente a una temperatura de 150 a 160 °C por 3 ó 4 minutos, sin embargo según el tipo de freidor y la relación grasa-producto, el tiempo y la temperatura pueden variar. Es importante que el proceso de fritura se lleve a cabo en forma adecuada, debido a que

si la temperatura es elevada puede haber deterioro de las grasas y si la misma es muy baja aumenta el tiempo de cocción y hay mayor absorción de grasa.(3)

g. Escurrido. Las hojuelas una vez fritas deben pasar por una banda o canastas perforadas para eliminar el exceso de grasa y mejorar así su presentación.(3)

h. Condimentado. En esta operación se le añade al producto sal o algún condimento que le de un sabor especial. Se debe hacer de modo que se mezclen bien las hojuelas sin que éstas se dañen.(3)

i. Empaque y etiquetado. El producto ya listo se empaqueta en bolsas de polietileno controlando la masa de las mismas, de modo que cada empaque lleve lo indicado en la etiqueta. Las etiquetas deben ser debidamente elaboradas con la información requerida por la Norma Nacional de Etiquetado. Si las bolsas son preimpresas la operación de etiquetado se obvia.(3)

### C. Almidón

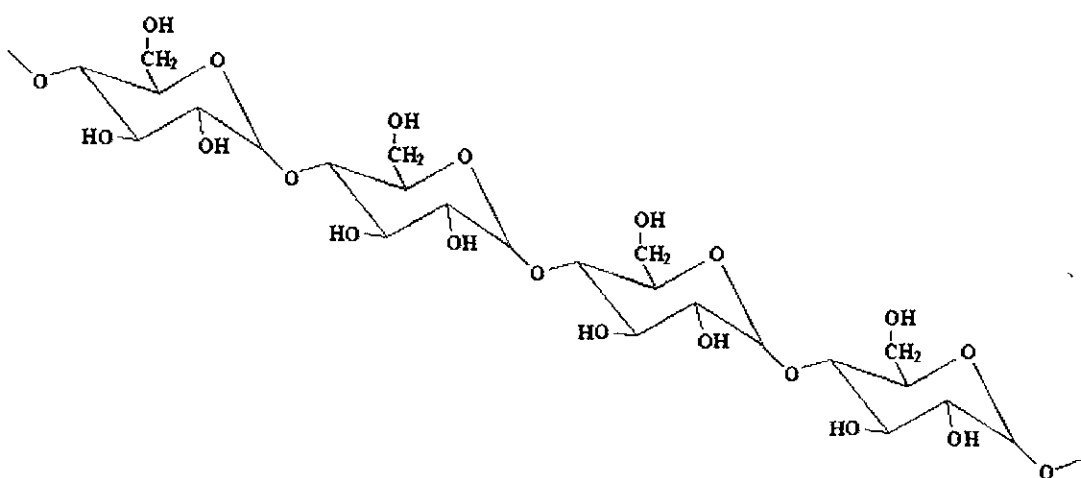


Figura 1. Estructura del almidón

Después de la celulosa, el almidón es el carbohidrato de mayor abundancia en la naturaleza.(9)

El almidón es el carbohidrato más importante en la actividad humana por su función alimenticia y por sus múltiples aplicaciones en la industria y el comercio. A diferencia de los almidones de cereales, que requieren procesos industriales muy tecnificados, los almidones de raíces y tubérculos (papa, batata, achira y yuca) son más fáciles de obtener, su obtención sólo requiere de molienda, tamizado, separación con agua, sedimentación y secado.

Es la sustancia de reserva alimenticia predominante en las plantas, y proporciona del 70 al 80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. Tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del almidón constituyen la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta habitual.



El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas (gránulos). Los gránulos de almidón son relativamente densos e insolubles y se hidratan muy mal en agua fría. Pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas, incluso a concentraciones mayores del 35%.(9)

1. Composición del almidón. El almidón está compuesto fundamentalmente por glucosa. Aunque puede contener una serie de constituyentes en cantidades mínimas.

Los almidones de los cereales contienen pequeñas cantidades de grasas. Los lípidos asociados al almidón son, generalmente, lípidos polares, que necesitan disolventes polares tales como metanol-agua, para su extracción. Generalmente el nivel de lípidos en el almidón cereal, está entre 0.5 y 1%. Los almidones no cereales, no contienen lípidos.

Químicamente es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; contienen regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternadas. Puesto que la cristalinidad es producida por el ordenamiento de las cadenas de amilopectina. (9)

a. **Amilasa.** Es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha(1,4)$ , que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una  $\alpha$ -D-(1,4)-glucana cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice. La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa. (9)

b. **Amilopectina.** Se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces  $\alpha$ -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones. La amilopectina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes. Algunos almidones están constituidos exclusivamente por amilopectina y son conocidos como céreos. La amilopectina de papa es la única que posee en su molécula grupos éster fosfato, unidos más frecuentemente en una posición O-6, mientras que el tercio restante lo hace en posición O-3.(9)

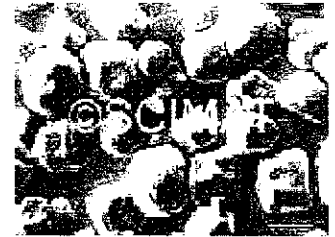
2. **Grano de almidón.** A continuación se pueden observar diferentes tipos de almidón al microscopio. Los granos difieren en formas y dimensión, se puede apreciar que los de papa son los de mayor tamaño teniendo hasta 50  $\mu$ m de diámetro.(7)



Almidón de Amaranto  
(Bar: 1  $\mu\text{m}$ )



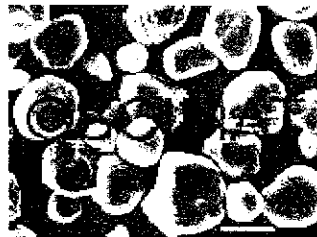
Almidón de Arrurruz  
(Bar: 20  $\mu\text{m}$ )



Almidón de Trigo  
(Bar: 5  $\mu\text{m}$ )



Almidón de Cassava  
(Bar: 10  $\mu\text{m}$ )



Almidón de Maíz  
(Bar: 10  $\mu\text{m}$ )



Almidón de Avena  
(Bar: 5  $\mu\text{m}$ )



Almidón de Papa  
(Bar: 50  $\mu\text{m}$ )



Almidón de Arroz  
(Bar: 2  $\mu\text{m}$ )



Almidón de frijol  
(Bar: 20  $\mu\text{m}$ )

Figura 2. Distintos gránulos de almidón vistos al microscopio

3. Usos industriales del almidón. Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz, maíz céreo, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de papa, batata y tapioca. Tanto los almidones como los almidones modificados tienen un número enorme de posibles aplicaciones en los alimentos, que incluyen las siguientes: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejamiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante.(5)

a. Industria de alimentos. El almidón natural se usa, solo o mezclado, en la elaboración de macarrones y de diversas harinas; con éstas se preparan pudines, pasteles, galletas, obleas, bizcochos, almojábanas.

El almidón puede modificarse por medios físicos y se convierte en almidón pregelatinizado (almidón PG). Este almidón tiene la propiedad de que se dispersa en agua sin necesidad de someterlo a cocción.

Se usa como aditivo para espesar, estabilizar o recubrir tortas de frutas, mezclas secas, pudines, crema de leche. La adición del almidón-PG mejora la textura y la apariencia de estos productos y de otros similares.

El almidón nativo puede modificarse también por medios químicos. El producto resultante se utiliza en la industria alimenticia como espesante de salsas blancas, y para estabilizar y emulsificar aderezos para ensaladas, gelatinas nutritivas, postres instantáneos, helados, pudines y alimentos para bebé. Según la modificación que se le haga, el almidón modificado se usa en la industria del papel, de los adhesivos y otras.(1)

b. Industria del papel. El almidón nativo usado en la industria papelera se denomina almidón no modificado (almidón-NM). El tratamiento que recibe este producto comprende tres operaciones: el refinado (o tamizado), la purificación (operación estrictamente industrial) y el secado. Papel y cartón. La elaboración del papel y del cartón consta de varias etapas, y en una de ellas (o en más de una) se

adiciona almidón-NM al producto final para darle ciertas propiedades y diferente calidad.

La industria del papel exige tres características básicas en el almidón-NM : blancura, bajo contenido de fibra y pocas impurezas. Puede tener el almidón otras características físicas o químicas, las cuales afectan el proceso de elaboración del papel o la formación de la pasta que le da origen.

El almidón-NM ayuda a unir las fibras de celulosa del papel y forma una capa superficial que reduce la pelusa y aumenta la consistencia, la solidez y la durabilidad de las hojas de papel. Esta capa delgada da también mayor resistencia mecánica al cartón.

El almidón-NM se emplea además como adhesivo en el laminado de ciertos papeles, de cajas corrugadas, de papel de colgadura (para empapelar), de tubos de cartón y de otros artículos. También se emplea en el reciclaje del papel y del cartón. (1)

1) Pegantes. El almidón-NM es materia prima de las bases pegantes con que se elaboran ya sea productos adhesivos o colas baratas.

Estos pegantes se utilizan para fabricar materiales de embalaje, etiquetas, papel de envoltura y cinta pegante de humedecer, productos cuyo uso los hace desechables.

Las bases pegantes son muy útiles para las empacadoras y etiquetadoras de alta velocidad, por dos razones: costo relativamente bajo y gran velocidad de adhesión.

2) Descomposición orgánica. El almidón-NM empleado en la industria papelera dura 3 ó 4 días sin descomponerse, al cabo de los cuales es fermentado por diversos microorganismos.

Esta fermentación produce gases (cuyo mal olor no se percibe inicialmente) y desnaturaliza el almidón-NM alterando sus propiedades. Pierde el 25% de su capacidad de engomar, se reduce su viscosidad y cambia su acidez (pH).

Al almidón-NM deben agregarse, por tanto, sustancias que impidan el crecimiento de bacterias productoras de ácido láctico, de bacterias coliformes y de hongos (géneros *Penicillium* y *Aspergillus* y levaduras). (1)

c. Industria textil. El almidón-NM es el ingrediente más abundante y barato y, por ello, el más importante de las diferentes colas textiles. (1)

1) Engomado temporal. Se aplica a la urdimbre justo antes de que ésta se convierta en tejido, para que las hebras (o hilazas) sean más resistentes, flexibles, suaves y lisas. El agente almidonante se deposita como una película sobre las hilazas de la urdimbre y las recubre totalmente.

Evita así el deshilachado, el enredo, el moteado y la rotura de las hebras, efectos que perturbarían seriamente la elaboración del tejido. (1)

2) El engomado permanente. Se emplea en el proceso de acabado del tejido, y es relativamente estable, se mantiene hasta que la tela llega a manos del consumidor.

Impregnando el tejido, este engomado mejora la textura de la tela, aumenta el brillo superficial de ésta, le da "cuerpo" y solidez para facilitar su manipulación, eleva la calidad del estampado y aumenta la apariencia y la sensación textil de buena calidad de la tela. (1)

d. Industria farmacéutica. El almidón-PG se emplea en farmacia para diluir, aglutinar, lubricar o desintegrar diversos productos sólidos. Este almidón actúa también como absorbente, da viscosidad y sirve de vehículo a sustancias pastosas,

líquidas o semisólidas en la elaboración de cremas y lociones de uso dermatológico. Se emplea además para fabricar polvos faciales finos, polvos compactos y polvos nutritivos y como soporte en la fabricación de obleas. (1)

e. Otros usos. El almidón-NM se usa en la industria química para obtener alcoholes, glucosa y acetona; para fabricar explosivos, colorantes, pilas secas, impresiones dentales y en la coagulación del caucho. (5)

El almidón-NM se usa en minería como floculante y como componente de las soluciones empleadas en la perforación de pozos de petróleo. También se usa para hacer embalajes de espuma. El almidón es biodegradable, así que el embalaje de espuma de almidón es una interesante alternativa protectora del medio ambiente que reemplaza el embalaje de espuma de estireno.(5)

## **D. Separación del almidón**

El almidón a ser tratado en esta tesis ya ha sido separado de la papa por encontrarse en el agua de lavado.(4)

Lo principal es separar este almidón del agua, de pequeños trozos de papa secarlo, y cernirlo.

1. Separación mecánica de sólidos y líquidos. El tamaño de las partículas sólidas que contienen es muy diverso. Cuanto más pequeñas son las partículas sólidas, tanto más difícil es su separación del líquido. Los métodos de separación utilizados son por ello muy diversos. Para separar las suspensiones se emplean la decantación (sedimentación), la filtración y la centrifugación.(8)

a. Decantación. Por decantación y sedimentación se entiende la separación por gravedad de la materia sólida en un líquido. Este método de separación se utiliza para grandes cantidades de materia en suspensión. En el proceso, la sustancia

sólida que tiene mayor densidad, se deposita por gravedad, en el fondo del recipiente de decantación.(8)

b. Filtración. Se denomina filtración a la separación mecánica de la mezcla de sólidos y líquidos con ayuda de un filtro que retiene a las sustancias sólidas, La fuerza física que actúa es la caída de presión entre la entrada y la salida del filtro. La filtración se aplica cuando hay que separar una suspensión fina, cuya velocidad de sedimentación es muy pequeña o cuando es necesario obtener la sustancia sólida con la menor cantidad de humedad posible.(8)

c. Centrifugación. En la centrifugación, la separación de los componentes sólidos y líquidos de una suspensión tiene lugar por efecto de la fuerza centrífuga gracias a las diferencias de densidad de cada uno de los componentes de la suspensión.(8)

2. Secado. El secado consiste en retirar por evaporación el agua de la superficie del producto y traspararla al aire circundante. La rapidez de este proceso depende del aire (la velocidad con la que éste circule alrededor del producto, su grado de sequedad), y de las características del producto (su composición, su contenido de humedad, el tamaño de las partículas). El aire contiene y puede absorber vapor de agua.

La cantidad de vapor de agua presente en el aire se llama humedad. Un aire absolutamente seco, sin vapor de agua en su interior, contiene una humedad relativa de 0%, mientras que uno saturado de agua tiene una humedad relativa de 100%. La cantidad de vapor de agua que el aire puede absorber depende, en gran medida, de su temperatura. A medida que el aire se calienta, su humedad relativa decae y, por tanto, puede absorber más humedad. Al calentarse el aire alrededor del producto, éste se deshidrata más rápidamente.(6)

3. acabado y empaquetado. El almidón obtenido por medio de los pasos anteriores, está dispuesto en terrones duros, por lo que tiene que ser sometido a un proceso de pulverización seguido de un tamizado en seco. Luego se empaqueta en sacos de yute o papel multicapa.(9)

### III. Justificación

La papa tiene un alto contenido de almidón, el cual no permite una buena fritura. El almidón hace que las rodajas de papa se adhieran unas a otras por lo que éstas se fríen en grupos y se obtienen papalinas pegadas y crudas, también causa problemas de centros suaves, ya que, debido al almidón, el centro de la papa no se fríe.

Actualmente, para retirar este almidón, la papa es lavada con agua después de ser rodajada y el agua es desechada debido a su alto contenido de almidón. El almidón puede ser recuperado para su posterior venta y de este modo aumentar la rentabilidad de la línea.

El agua se hace pasar por una caja de finos para retirar los pedazos pequeños de papa que arrastra. Luego se recircula alimentándola por debajo del tanque de la lavadora. Por último se desecha por un rebalce en la parte superior del tanque.

Para recuperar el almidón es necesario separarlo del agua de lavado. El agua, luego de pasar por la caja de finos, se puede procesar por medio de una centrífuga, retirando de este modo, la mayoría de almidón insoluble, el cual luego puede ser secado y posteriormente vendido. Después de haber retirado el almidón, el agua se recircula hacia el tanque de lavado con una menor cantidad de almidón. Debido a la disminución en la cantidad de almidón se mejorará el lavado. El contenido de almidón del agua de desecho será menor por lo que la contaminación también disminuirá.

La recuperación de almidón tiene dos grandes ventajas, aumenta la rentabilidad de la línea debido al aprovechamiento del almidón y disminuye la contaminación.

## **IV. Objetivos**

### **A. Generales**

Diseñar una línea que permita recuperar el almidón insoluble retirado por medio de lavado de las rodajas de papa, en una línea de producción de papalina, separándolo y secándolo para su posterior aprovechamiento.

### **B. Específicos**

Analizar el agua de lavado de papa para comprobar su contenido de almidón insoluble de la línea de producción de papalina, en la empresa de Productos Alimenticios Rene.

Diseñar el equipo adecuado para los flujos y condiciones de operación de la rodajeadora de papalina de la fábrica de Productos Alimenticios Rene.

Analizar si es rentable instalar el equipo necesario para la recuperación de almidón.

## **V. Problema a resolver**

En la producción de papalina de la fábrica de productos alimenticios Rene, el almidón retirado de las rodajas de papa, por medio de lavado, es desechado. Esto causa contaminación y es un desperdicio ya que puede ser recuperado para su posterior aprovechamiento.

## **VI. Metodología**

### **A. Investigación técnica**

Obtención de información sobre equipo que se utiliza en procesos similares.

### **B. Obtención de muestras en las distintas condiciones de operación de la fabrica de productos alimenticios Rene**

Obtener muestras del agua de desecho que contiene el almidón en las distintas condiciones de operación de la rodajeadora para poder determinar la cantidad de almidón recuperable.

### **C. Análisis de las muestras obtenidas**

Las muestras serán centrifugadas, decantadas y posteriormente secadas para determinar la cantidad de almidón recuperable por litro de agua de desecho.

### **D. Definición de la situación actual**

Establecer los rangos de operación del equipo y la forma como se realiza el proceso en la actualidad.

### **E. Diseño de equipo**

Conociendo los flujos de operación y la cantidad de almidón disponible en el agua de desecho, se procederá a seleccionar el equipo más adecuado para la recuperación de almidón, realizando los respectivos balances de masa y energía.

### **F. Estudio económico del proyecto**

Determinar si la inversión en equipo y los cambios realizados a la línea son rentables y verificar en cuánto tiempo se recupera la inversión.

## G. Programación

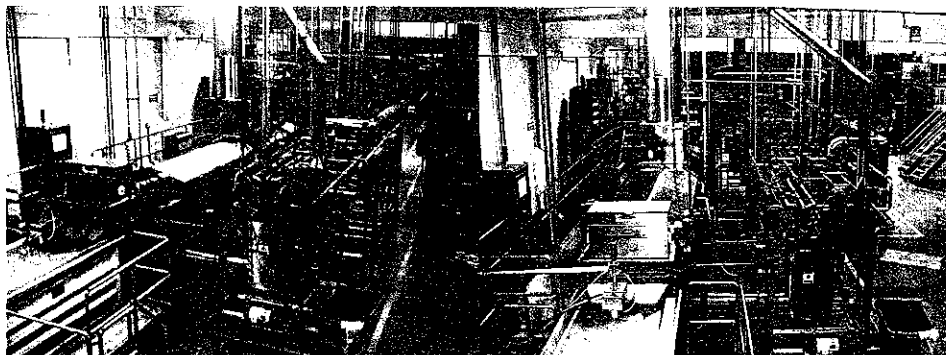
|  | Semanas | 1-4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--|---------|-----|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| Investigación técnica  | 3       |     |   | X | X | X |   |    |    |    |    |    |    |
| Obtención de muestras en las distintas condiciones de operación de la fábrica de productos alimenticios Rene | 8       | X   | X | X | X | X |   |    |    |    |    |    |    |
| Análisis de las muestras obtenidas   | 9       | X   | X | X | X | X | X |    |    |    |    |    |    |
| Definición de la situación actual  | 1       |     |   |   |   |   |   | X  |    |    |    |    |    |
| Diseño de equipo   | 2       |     |   |   |   |   |   |    | X  | X  |    |    |    |
| Estudio económico del proyecto   | 1       |     |   |   |   |   |   |    |    |    | X  |    |    |
| Realización del reporte final  | 2       |     |   |   |   |   |   |    |    |    |    | X  | X  |

1) Total:

2) 15 Semanas

3) (3.75 meses)

## H. Definición de situación actual



**Figura 3. Línea de producción de papalina productos alimenticios Rene**

En la línea de producción de la fábrica de productos alimenticios René, se produce papalina para abastecer los mercados de Centro América con papas Sabritas. Las papas cosechadas en Guatemala son lavadas, peladas, seleccionadas, rodajeadas, lavadas, fritas, escurridas, sazonadas y empaçadas.

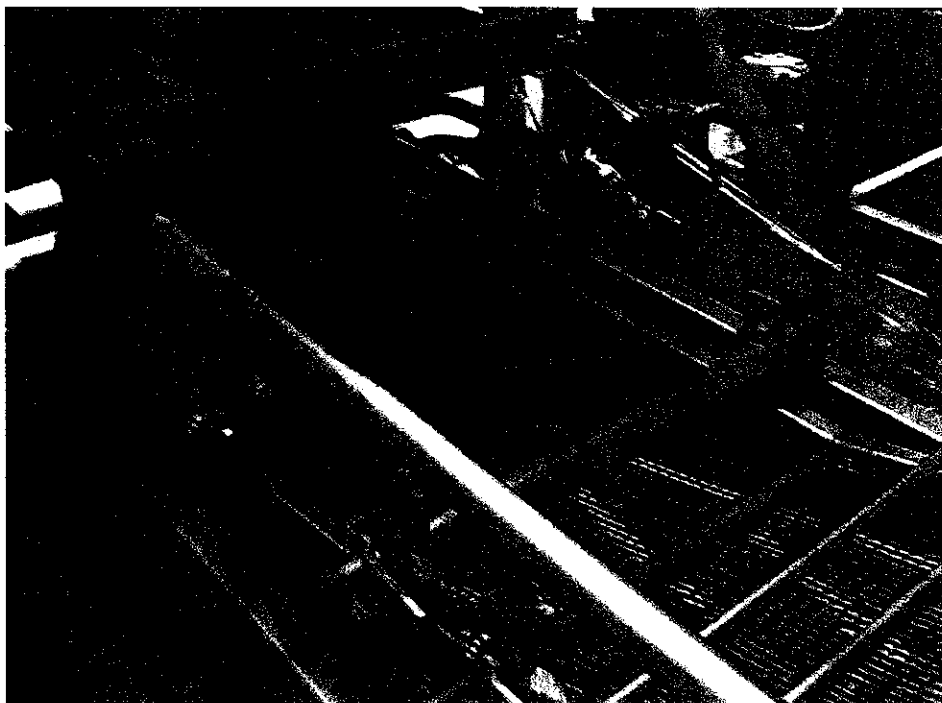
Después de ser seleccionadas pasan a un rodajeador centrífugo. Éste utiliza la fuerza centrífuga y el propio peso de la papa para obtener rodajas uniformes, girando a una velocidad determinada, con ejes que impulsan a las papas y por medio de la fuerza centrífuga, las presionan contra cuchillas en el disco exterior. (Ver Figura 4., pag. 22) Debido a la ruptura de células de la papa se libera almidón. La rodajeadora se lubrica con agua haciendo fluir por un transporte fluidizado las rodajas dirigiéndose hacia la lavadora.



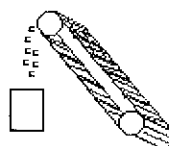
**Figura 4. Diagrama de rodajeadora**

En la lavadora las rodajas de papa caen sobre una especie de malla. Éstas se lavan por medio de espreas que arrojan agua a presión sobre las rodajas de papa retirando el exceso de almidón. Los pedazos pequeños de papa caen de la malla, siendo arrastrados por el agua. En la parte inferior del lavador hay un drenaje que envía

el agua a una caja de finos, la cual consiste en una maya con topes de metal que no permiten que caigan los pedazos de papa. El agua se pasa a través de esta maya quedando los pequeños pedazos de papa detenidos por la maya. La maya eleva los pedazos descargándolos del otro lado. (ver Figura 6., pag 23.) Estos son vendidos para alimento de animales



**Figura 5. Lavador**



**Figura 6. Caja de finos**

El agua se bombea de regreso a la lavadora. El fondo de la lavadora tiene un drenaje que desecha el agua con mayor contenido de almidón.



Figura 7. Caja de finos

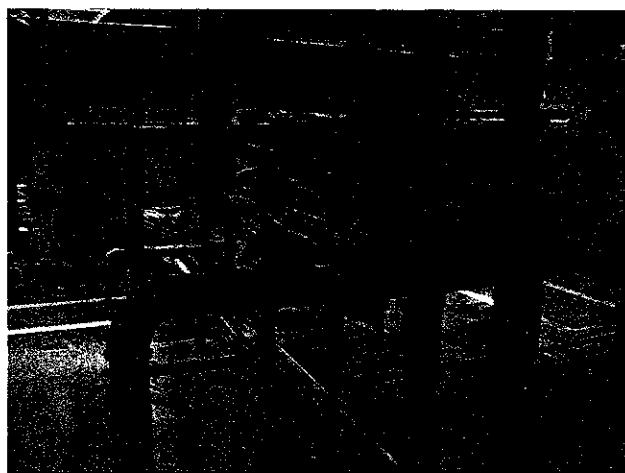


Figura 8. Drenaje de lavado

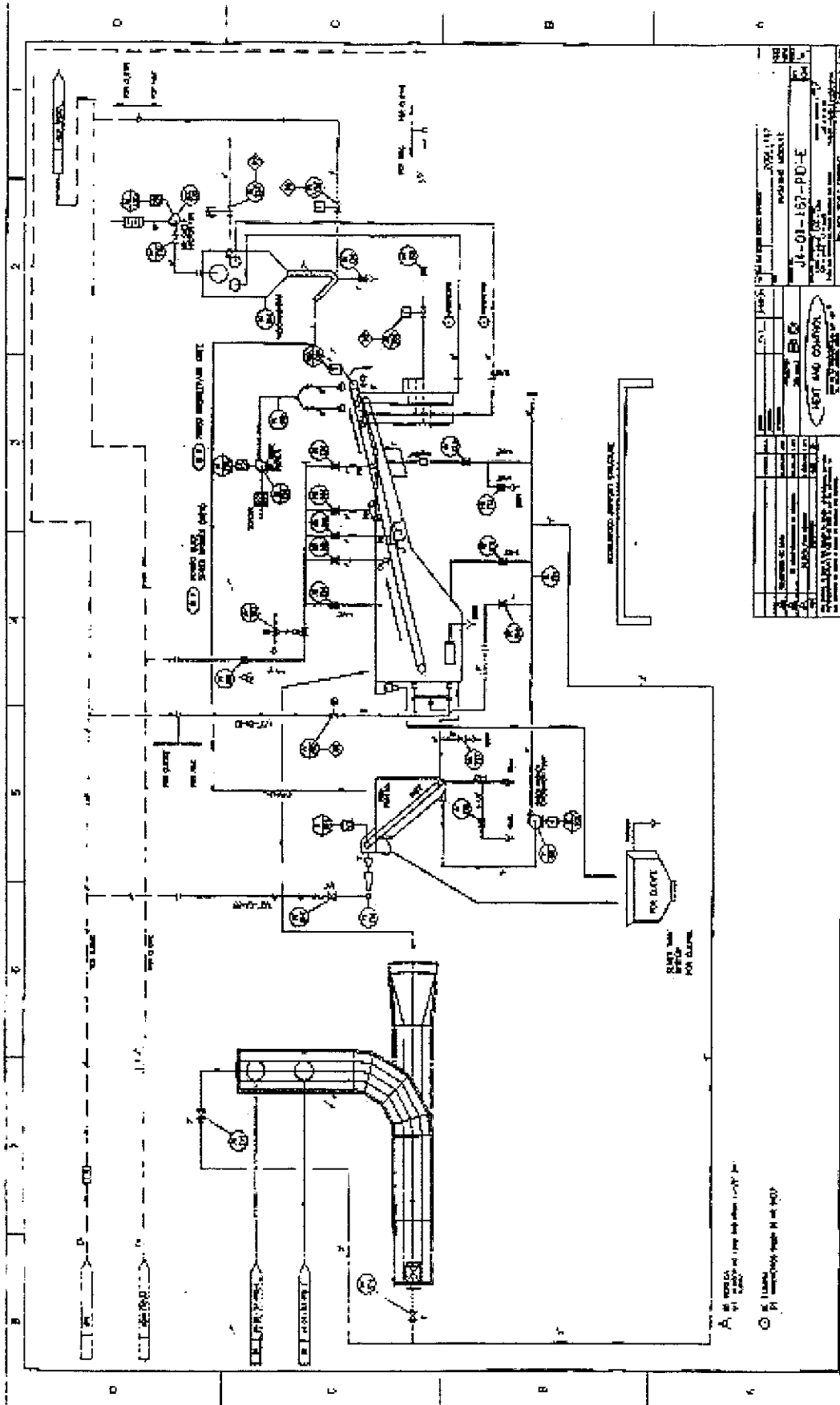


Figura 9. Diagrama del Lavador

## I. Proceso de recuperación de almidón

La recuperación del almidón desechado en el desagüe requiere de varias etapas. Se debe separar de pequeños pedazos de papa que hayan pasado de la caja de finos y de otras impurezas, lo cual llamaremos purificación del almidón. Luego debe ser separado del gran volumen de agua por medio de un proceso de centrifugación o filtro. Debe ser secado llevando su humedad a un 20%, que es la humedad con la que se vende el almidón de papa comercial, ya que con esta se mantiene en equilibrio con un ambiente de hasta un 75% de humedad. Deben romperse los grumos de almidón que hallan quedado procediendo finalmente al empaque.

## J. Purificación del almidón

La purificación del almidón tiene dos aspectos, el de las impurezas solubles y las insolubles.

En los siguientes pasos es una ventaja separar el almidón tan seco como sea posible, para llevar un mínimo de materia soluble al siguiente paso.

Un método fácil de eliminación de impurezas insolubles es la sedimentación.

La selección del método de separación se hace basado en la cantidad de almidón que se procesa por hora, así como los costos de la mano de obra y las especificaciones de calidad.

1. **Sedimentación del almidón.** El agua de lavado contiene almidón, fibra fina y material proteico en suspensión. Esta es conducida a tanques o canales, donde se lleva a cabo la sedimentación del almidón. Se separa el componente más denso, el almidón, cuyos gránulos, de diverso tamaño, se sedimentan en el fondo. Este proceso puede durar 3 horas en los canales y 6 a 8 horas en los tanques de sedimentación. Al final de esta etapa queda una capa de almidón compactado en el fondo. El agua sobrenadante se desecha.

a. **Tanques de sedimentación.** Estos tanques se construyen con ladrillo y se recubren con baldosín. Los tanques se convierten en una limitante grande del proceso por el trabajo que requieren. Además, hay que esperar hasta 8 horas para que el almidón quede sedimentado en un tanque. Los tanques tienen otros dos inconvenientes: permiten que se mezcle el almidón con el material proteico y que se pierda hasta un 2% del almidón sedimentado cuando éste se retira.

b. **Canales de sedimentación.** Los canales de sedimentación se recubren con baldosín o con materiales similares que permitan un flujo laminar de la lechada. Su longitud total varía de 100 a 200 m y no deben tener pendiente o inclinación durante su recorrido. Al sedimentarse gradualmente, el almidón crea una ligera pendiente que facilita el flujo de la lechada restante.

Se ha recomendado un sistema que consta de siete canales de 25 a 30 m de largo cada uno. Estos sistemas pueden diseñarse de manera que se adapten a la topografía del terreno.

El baldosín permite que la lechada se deslice de manera uniforme e ininterrumpida, evitando así la sedimentación del material proteico, de arena y de otras impurezas del almidón (fibra). La separación entre baldosines, cuando es relativamente grande, propicia la sedimentación de esos contaminantes del almidón.



**Figura 10. Canales de sedimentación**

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

La capa inferior es el almidón.

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

La capa superior es el agua sobrenadante o *residual*.

### c. Agua residual. Esta agua se elimina de la siguiente manera:

En los tanques, quitando el tapón de un tubo de desagüe situado cerca de la base del tanque, un poco arriba del nivel en que suele terminar la sedimentación de la capa de almidón (el flujo de salida del agua arrastra un poco de almidón). Si el tapón es interior, se hala con una cuerda desde el borde del tanque.

En los canales, retirando una a una (de arriba hacia abajo) cuatro o cinco compuertas delgadas o esclusas, que al iniciar la sedimentación, se iban colocando (ajustadas una sobre otra y de abajo hacia arriba) en la boca de salida del último canal a medida que subía el nivel de la lechada. Cada compuerta tiene 60 cm de ancho y de 8 a 10 cm de alto (el canal tiene 40 cm de altura). Una sola compuerta grande (60 x 40 cm) daría lugar, al ser retirada al final de la sedimentación, a la formación de un flujo turbulento de salida que arrastraría gran parte de la *mancha* y un buen porcentaje de almidón. En un sistema de siete canales, el volumen total del agua residual es de 50,000 litros, aproximadamente.

Los canales tienen las siguientes ventajas:

La sedimentación hecha en los canales no detiene el proceso de beneficio. En otras palabras, cuando la lechada termina su recorrido por el sistema de canales, la sedimentación se considera cumplida y se pasa a la siguiente etapa.

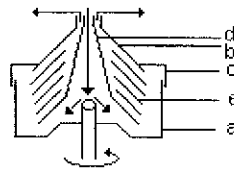
Un grano de almidón debe recorrer 0.80 m en un tanque de sedimentación y sólo 0.10 m en los canales antes de sedimentarse. Esta diferencia explica, en gran parte, la ventaja antes mencionada, o sea, la rapidez de la sedimentación.

Cuando la sedimentación se hace en tanques, se pierde almidón durante la operación de remover la *mancha* (el "desmanchado"). En los canales, casi toda la

mancha sale suspendida en el agua residual y muy poca alcanza a sedimentar sobre la capa de almidón.

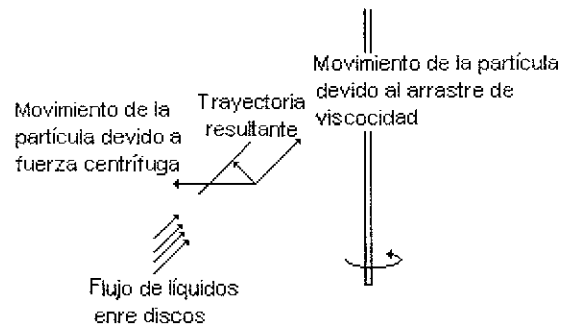
2. Centrífugas utilizadas en la industria del Almidón. Las centrífugas caen en dos grupo principales. El primer grupo es la maquinaria que opera a altas velocidades, velocidades que exceden las 3500 rpm y que están diseñadas para manejar líquidos. El segundo es maquinaria con diámetros de rotor más grandes entre 400mm a 2500mm que operan a baja velocidad rotación de 2000 a 700 rpm. Esta maquinaria es capaz de manejar altos porcentajes de sólidos y se utiliza con fines de deshidratación.

a. Centrífugas de alta velocidad. Las centrífugas de alta velocidad se utilizan en la industria del almidón para clarificar, remover pequeñas cantidades de sólidos de un producto líquido, clasificando y separando sólidos en suspensión y separaciones de líquido-líquido.



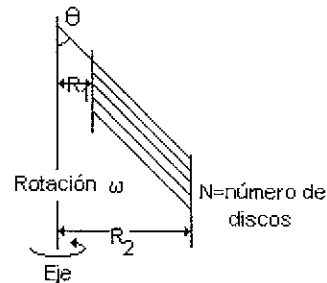
**Figura 11. Partes básicas de un rotor centrífugo de alta velocidad**

El rotor centrífugo consiste en una carcasa (a), Una tapadera (b), Un anillo que mantiene ambos juntos (c), dentro del rotor hay un distribuidor (d), que acarrea el líquido que va a ser tratado del punto de alimentación y lo distribuye alrededor de la base del rotor. El líquido acelera rotatoriamente en este componente y se le adicionan a las o venas en la parte interior para prevenir que el líquido resbale. En el distribuidor se apilan varios discos cónicos (e), con piezas espaciadoras que los mantienen separados. La separación típica es de 0.4 a 1.0mm y el rotor debe tener entre 25 y 125 discos dependiendo del tamaño. El objetivo de los discos es separar el líquido en muchas capas así la separación ocurre en finos lechos reduciendo a pequeñas dimensiones la distancia que viaja una partícula o glóbulo en la fuerza centrífuga permitiendo la separación.



**Figura 12. Mecanismo de separación centrífuga**

La separación ocurre en el lecho de discos, es posible definir el potencial de separación de un rotor por medio de una descripción de su geometría y dinámica. Esta medida de potencial de separación es independiente del material que se está tratando y forma las bases numéricas para escalar el desempeño de las máquinas, determinando el tipo de maquinaria requerido para una tarea.



**Figura 13. Factores a considerar en el lecho de discos de un rotor centrífugo de alta velocidad**

Los factores mecánicos relevantes a considerar son

Diámetro interno y externo

$R_1, R_2$

Número de discos

N

Ángulo de medio cono

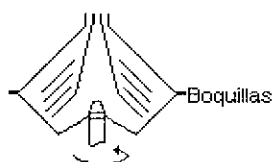
$\theta$

Velocidad de rotación

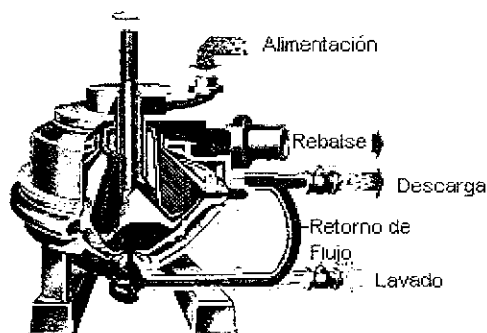
$\omega$

1) Separador de boquillas. Los separadores de tipo boquilla son posiblemente el desarrollo más importantes del diseño básico de la maquinaria utilizada en la industria del almidón, se emplea para los pasos de refinación de plantas que producen almidones comerciales.

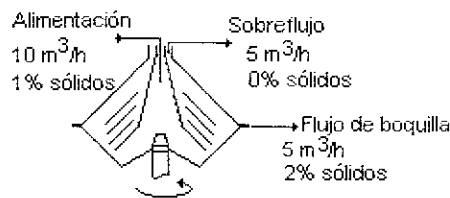
Los sólidos separados en el tipo básico de máquina ya descrito se recogen en la periferia del rotor de la centrífuga y es necesario parar la máquina, abrir el rotor y remover los sólidos colectados manualmente. Para permitir que los sólidos se descarguen continuamente se diseñaron los separadores de boquillas. La periferia del tazón se encaja con las boquillas y el tazón es perfilado para dar una superficie guía a las boquillas y también previene una acumulación de sólidos debido a su ángulo natural de reposo. Las boquillas varían en número entre 6 y 12 de acuerdo con el tamaño del rotor y los tamaños varían entre 0.8 y 2.0 mm. Las boquillas se colocan tangencialmente alrededor del rotor permitiendo el flujo del líquido a través, para dar una recuperación de potencia por reacción. El radio y la velocidad de rotación se ajusta por el desempeño requerido del lecho de discos y la única variable que puede cambiar es el diámetro de las boquillas. Por razones prácticas asociadas con el bloqueo con material extraño de las boquillas, boquillas menores de 0.8 mm no se usan normalmente.



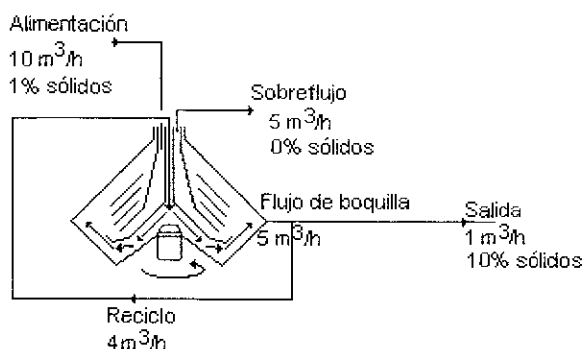
**Figura 14. Principio del separador de boquillas**



**Figura 15. Separador de boquillas**



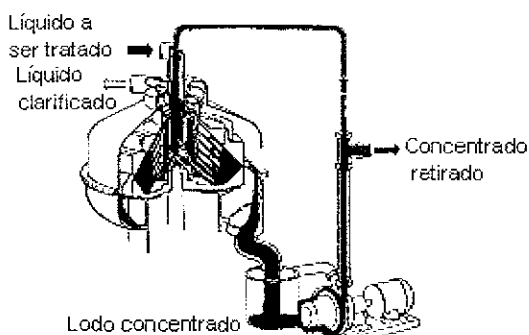
**Figura 16. Balance de masa máquina de boquillas**



**Figura 17. Balance de masa de máquina de boquillas con recirculación**

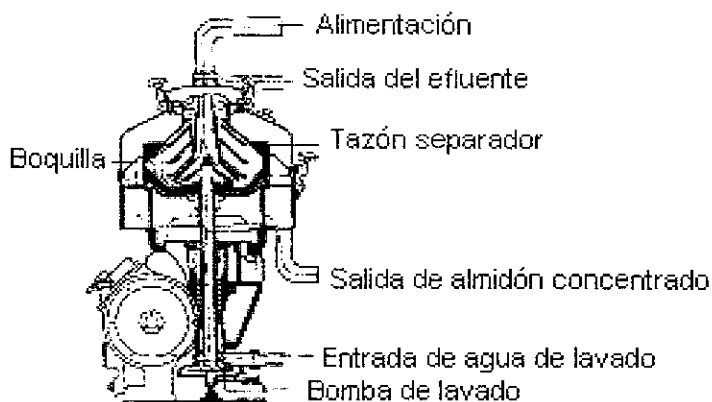
Una máquina simple de este tipo se puede usar para concentración de almidón. Flujos de almidón diluidos se pueden concentrar a razones de  $70 \text{ m}^3/\text{h}$  para obtener concentraciones de hasta  $270 \text{ g/L}$  de almidón y pérdidas en el efluente tan pequeñas como  $1$  o  $2 \text{ g/L}$ .

En algunas aplicaciones la relación entre la salida y el sobreflujo de la boquilla será tal que no se alcanzará una buena concentración de los sólidos. Es posible tener una suspensión de hasta  $10\%$  de sólidos que pueden fluir a través de las boquillas y para alcanzar mayor concentración se requiere recirculación. El material de recirculación se alimentará al rotor por una entrada distinta y luego será guiado a las boquillas. Esto es para prevenir la mezcla con la alimentación y la consecuente necesidad de separar los sólidos del lecho de alimentación en el ensamblaje de los discos.



**Figura 18. Detalle de sistema con recirculación**

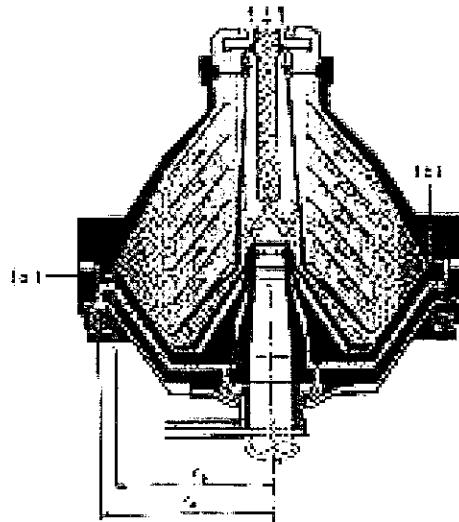
Si es necesario lavar el almidón para remover proteína, se puede introducir agua de lavado. Ésta desplaza el licor de alimentación de los sólidos separados y permite a los sólidos descargar suspendidos en agua limpia de lavado.



**Figura 19. Máquina de boquillas con facilidades de lavado**

El flujo típico en las máquinas es hasta de 55 m<sup>3</sup>/h de pasta de almidón conteniendo 60% de almidón con flujo de agua de lavado hasta de 15m<sup>3</sup>/h.

a) Maquinaria de descarga intermitente. Otro grupo de centrifugas de alta velocidad son las de descarga intermitente. Aquí, en lugar de boquillas ajustadas con el rotor centrífugo, para dar descarga continua de sólidos, el rotor es ajustado con puertos que pueden ser abiertos y cerrados intermitentemente por un mecanismo cuando rotando a velocidad completa.



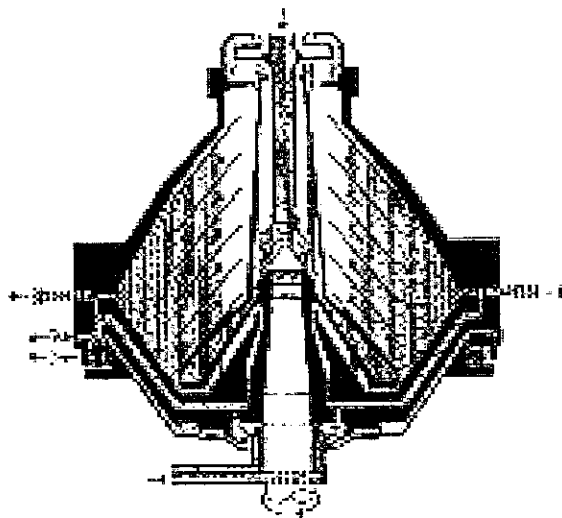
**Figura 20. Principio de traba. El rotor es cerrado hidráulicamente por un líquido de operación de una fuente externa.**

Durante la separación, la membrana deslizante (a), se mantiene en una posición hacia arriba para hacer el sello en el punto (b), por el agua de operación en el lado de abajo. El agua de operación es un radio mayor ( $r_o$ ) con respecto al eje de rotación que la del material de proceso ( $r_p$ ). Mientras el agua de operación esté a un mayor radio una fuerza centrífuga mayor es desarrollada que en el compartimiento del proceso. El resultado es una fuerza neta hacia arriba en la membrana deslizante que puede ser tan grande como 5 TM.

La descarga puede ser de dos tipos.

b) Descarga total. En esta operación la alimentación a la centrífuga es interrumpida, el puerto de descarga es abierto para descargar el contenido entero del rotor, ambos sólido y líquido, los puertos de descarga son cerrados y se continúa la alimentación. Este tipo de descarga es usada cuando los sólidos se empaquetan firmemente bajo la fuerza centrífuga y la acción de desagüe es requerida para liberarlos. Una descarga de este tipo debe ser restringida, por razones mecánicas, a no más de 10 TM por hora.

c) Descarga parcial. En esta operación la alimentación a la centrifuga no es interrumpida y la membrana deslizante está hecha para abrir y cerrar rápidamente. Esto permite que descarguen los sólidos separados pero retiene el líquido en el rotor. Este tipo de descarga se puede hacer 30 veces por hora, y con una transmisión especial entre el eje del motor hasta 60 veces por hora. Este tipo de descarga es aplicable para materiales suaves.



**Figura 21. Descarga parcial (sólo sólidos). Un líquido de operación adicional abre el rotor, la alimentación continúa sin ser interrumpida.**

## b. Centrifugas de baja velocidad

1) Centrifugas de secado. Para deshidratar los licores refinados de almidón, una centrifuga de secado es normalmente usada. Las máquinas modernas son del tipo de secado que operan en eje horizontal.

Esencialmente la máquina consiste de un tambor rotatorio montado en un eje horizontal. Maquinaria con diámetros de rotor hasta 1500 y 1600 mm normalmente tiene cojinetes montados en un lado del rotor (ver figura 22., pág 36). Rotores más grandes

hasta 2500 mm tienen cojinetes montados en ambos lados del tambor para dar mayor rigidez mecánica.

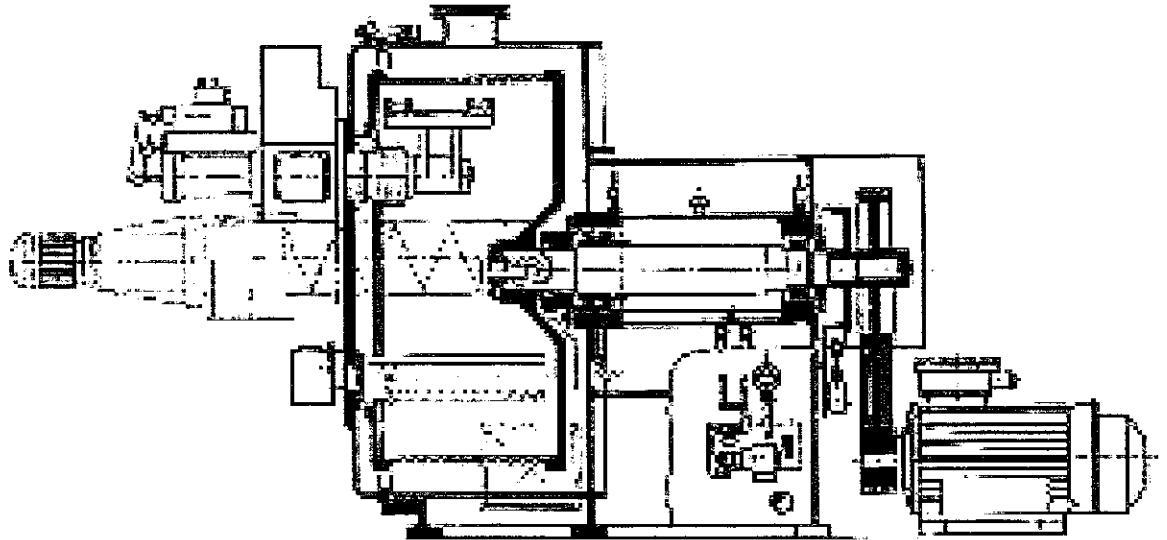
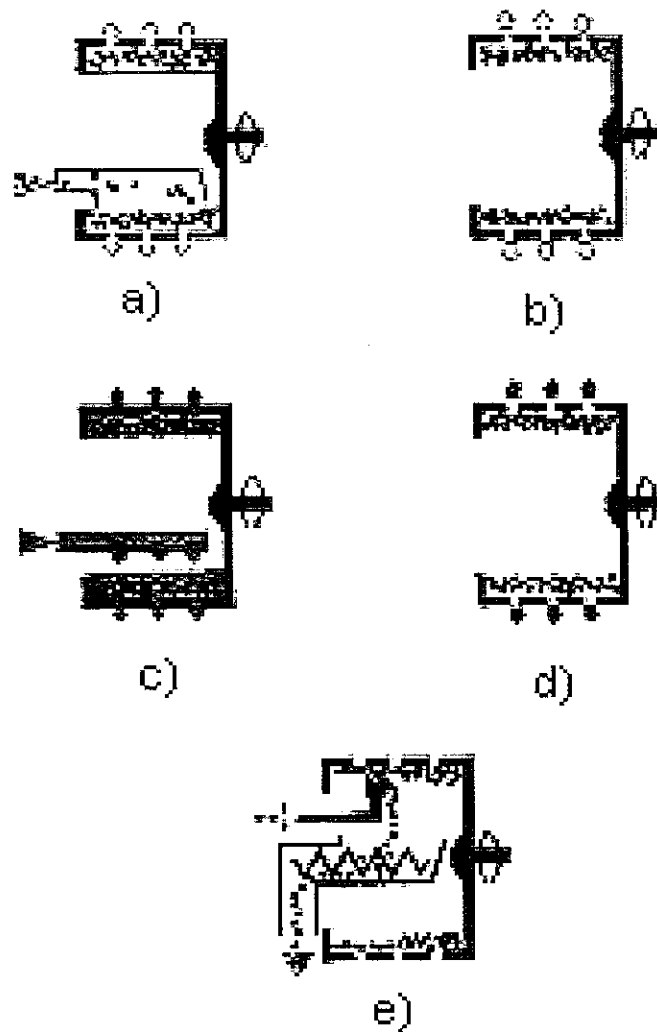


Figura 22. Sección transversal de centrífuga secadora de eje horizontal con cuchillo hidráulico.



**Figura 23. Ciclo de trabajo de centrífuga de secado**

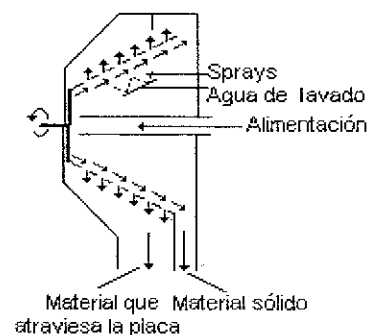
La centrífuga opera en una base de ciclo. (Ver Figura 23, pág. 37) La etapa (a) muestra la unidad siendo llenada y el líquido madre se drena fuera. El llenado es a máxima velocidad. La etapa (b) es la fase de girar para drenar el líquido del lodo. Las etapas (c) y (d) muestran la introducción y el drenaje del agua de lavado y la etapa final (e) muestra la descarga de sólidos por una cuchilla operada hidráulicamente que corta y separa el almidón cayendo a un tornillo.

2) Placas centrífugas. Estas centrífugas consisten en un cono rotatorio que contiene una placa o plato fino perforada montado en el eje horizontal. La alimentación del material es por la parte trasera del cono donde es recogida por venas de aceleración y esparcido sobre la placa cónica. El agua de lavado puede ser introducida a los sólidos en las placas por espreas.

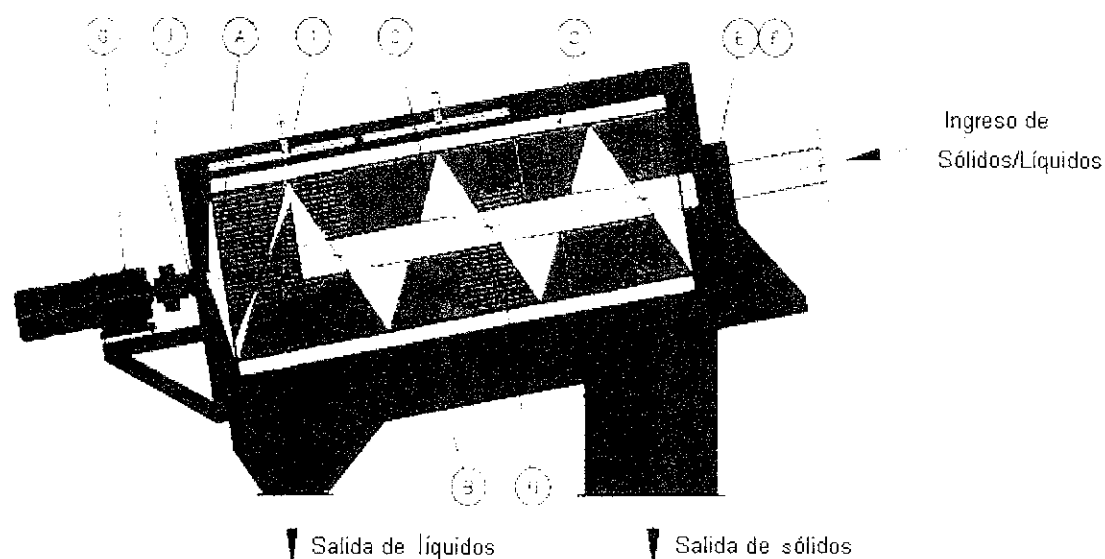
El diámetro típico del rotor es entre 500 y 600mm y la velocidad de rotación 1450 rpm. Este tipo de máquina se utiliza para remover la fibra y el material proteico de la papa. Se opera en bancos ya que primero se separan las fibras y luego se lavan a contracorriente para obtener todo el almidón posible.

Los platos agujereados son ajustados en la centrífuga teniendo un ancho de 125 a 250 micrones. Se tienen Capacidades de 3 ton/h de papa en 2 máquinas a 12 ton/h en 5 máquinas.

Para una mayor refinación del almidón de papa se utilizan placas rotatorias con aperturas de 80 a 115 micrones.



**Figura 24. Principio de tamiz de cono rotatorio**



**Figura 25. Partes de una centrífuga de placas**

- |  |   |
|--|---|
| <p>A Un tambor de final sólido que previene inundación inmediata.</p> <p>B Un ángulo de inclinación hacia el final sólido para utilizar una mayor porción del área de la placa y para dar un efecto de paiza y una mayor cabeza de descarga.</p> <p>C Un tambor rígido sólido de armazón que no brinda ninguna fuerza estructural contra la placa.</p> <p>D La remoción de los sólidos por una acción rotativa gentil a lo largo de la cara de un espiral continua que rota a la misma velocidad del tambor previniendo cualquier acción de raspada.</p> <p>E El tambor sostiene los ejes y los mantiene alineadas.</p> <p>F Los ejes del tambor son sostenidas por cojinetes externas montados en la armazón de la maquinaria</p> | <p>G Ninguno de los ejes propulsores o el tambor está en contacto con la solución.</p> <p>H Las placas son desmontables para facilitar el mantenimiento y el cambio de las mismas.</p> <p>I Un sistema integral de lavada a la inversa garantiza que las placas no se taparán.</p> <p>J Todas los cojinetes están mantados externamente para permitir una inspección visual y tienen un sistema de autolubricación.</p> |
|--|---|

3) Hidrociclones. Estos son similares en forma a los ciclones neumáticos, pero de un tamaño menor (aproximadamente 100 mm de diámetro) y son instalados solos o en grupos, dependiendo de las especificaciones del fabricante.

Teniendo una alimentación tangencial, el ciclón convierte la cabeza de presión debida a la bomba de alimentación en un rápido movimiento de remolino entre el cuerpo, causando que la pulpa se separe del almidón. El agua y los contaminantes se descargan por la parte superior central del ciclón (encontrador de vórtice). En ambos

casos los sólidos son acarreados en una pasta de almidón que permanece inalterada en la gravedad.

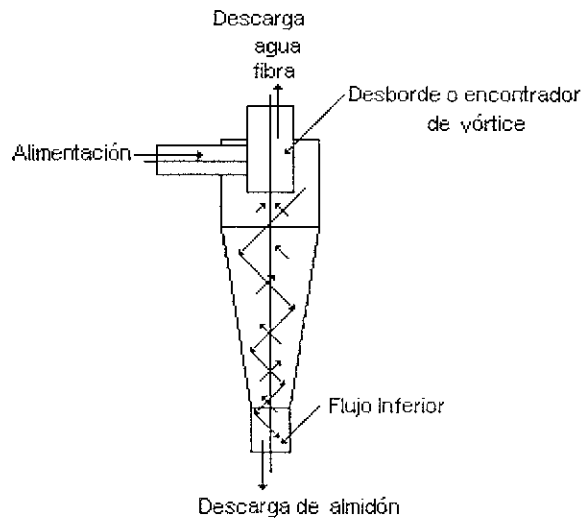


Figura 26. Hidrociclón

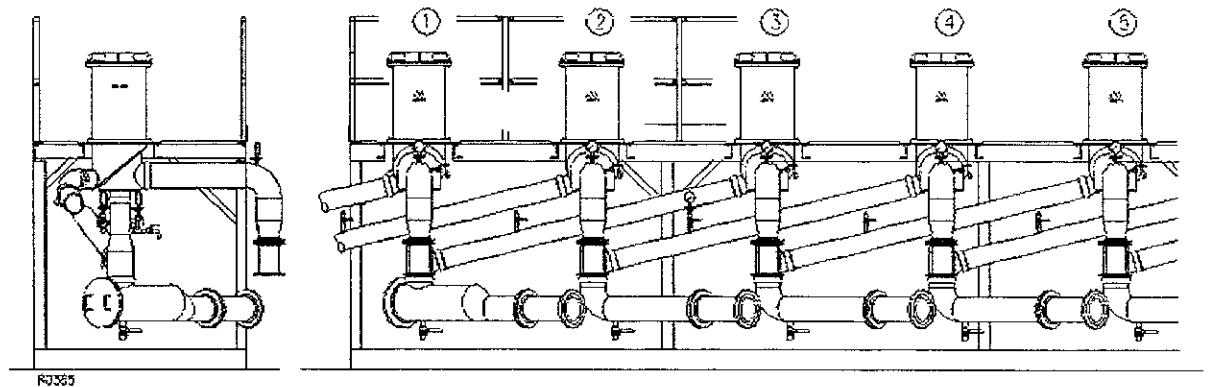


Figura 27. Batería de hidrociclones

Los hidrociclones se utilizan en las líneas de producción de papalina, recogiendo el almidón sólido del efluente de agua. Se recobra alrededor de un 80% del almidón. Más del 90% del agua de proceso puede ser reutilizada.

## K. Secado

El gran tamaño de los gránulos de papa hace fácil retirar el agua del almidón de papa y también facilita la recuperación del almidón seco del aire exhausto del sistema de secado. El alto equilibrio de humedad contenido en almidón de papa, que es cerca de 20%. Permite el uso de secadores flash sencillos utilizando temperaturas de salida de 40°C.

1. **Secador de horno.** El almidón previamente separado de gran parte del agua contiene aproximadamente 50% de humedad, este es puesto en cubetas y elevado a la parte superior del horno por transportadores, arrojado y esparcido en una gran área de los estantes del horno. Al secarse el almidón, los terrones se quiebran, cayendo entre los espacios de los estantes hasta llegar a una bandeja colectora inclinada. El almidón se encuentra en forma de polvo con pequeños terrones. El horno es un gran cuarto calentado a vapor, suele ser de 50 pies de largo por 20 de alto. En la parte superior hay ventanas que permiten el aire húmedo escapar fuera del horno, hay varias secciones de tuberías de vapor de 2 pulgadas que representan una gran área de calentamiento.

Los secadores utilizados en la industria de almidón de papa incluyen los de bandejas, rotatorios, flash y de banda. Estos han reemplazado casi completamente al secador de horno ya que éste es más ineficiente, requiere gran utilización de mano de obra, da una menor calidad de producto y requiere mayor espacio.

2. Secador de bandejas. Es un secador continuo que consiste en un lecho de bandejas anulares rotatorias en el centro de las cuales se encuentran ventiladores que hacen circular el aire en las bandejas. El material húmedo entra por el techo, cayendo a las bandejas superiores al rotar debajo de la alimentación. Después de completar una revolución, el material se empuja por una especie de cuchilla estacionaria, a las ranuras radiales que lo conducen a la bandeja de abajo, donde se esparce en una pila uniforme. La acción se repite en cada bandeja, con transferencia en cada revolución. De la última bandeja, el almidón se descarga por la parte inferior del secador.

Los calentadores se encuentran entre las bandejas y la carcasa, donde no están en contacto directo con el producto. Generalmente se utiliza vapor como medio de calentamiento. El costo de la energía eléctrica hace que sólo se use en equipo pequeño. Los tamaños de estos secadores van desde 2 metros de alto por 1.5m de diámetro hasta instalaciones grandes de 20m de alto por 11 m de diámetro.

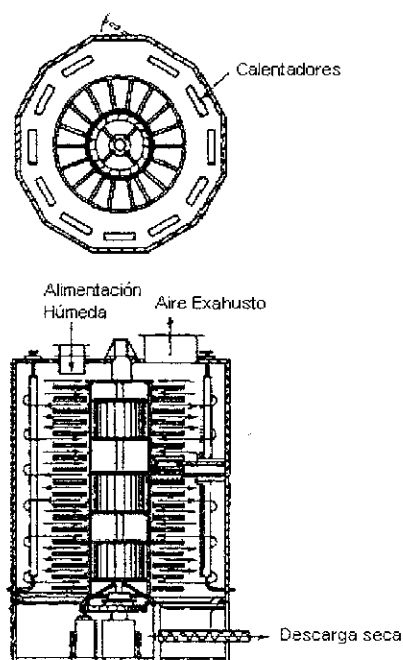


Figura 28. Secador de bandeja

3. Secador rotatorio. Un secador rotatorio consiste en un cilindro hueco que gira sobre su eje, por lo general, con una ligera inclinación hacia la salida. Los sólidos granulares húmedos se alimentan por la parte superior y se mueven por el cilindro a medida que éste gira. El calentamiento se lleva a cabo por contacto directo con gases calientes. En algunos casos, el calentamiento es por contacto indirecto a través de la pared calentada del cilindro. Los equipados cuentan con aletas u otros dispositivos para distribuir el almidón en el aire caliente a través del secador en un flujo paralelo. El flujo contracorriente implica un mayor peligro de fuego. La temperatura del aire es alimentado a 121°C.

El almidón se alimenta por un transportador de tornillo cerca de la base del ducto llevando a la zona amplia del ciclón y el aire húmedo lo succiona por un ventilador en la parte superior del ciclón.

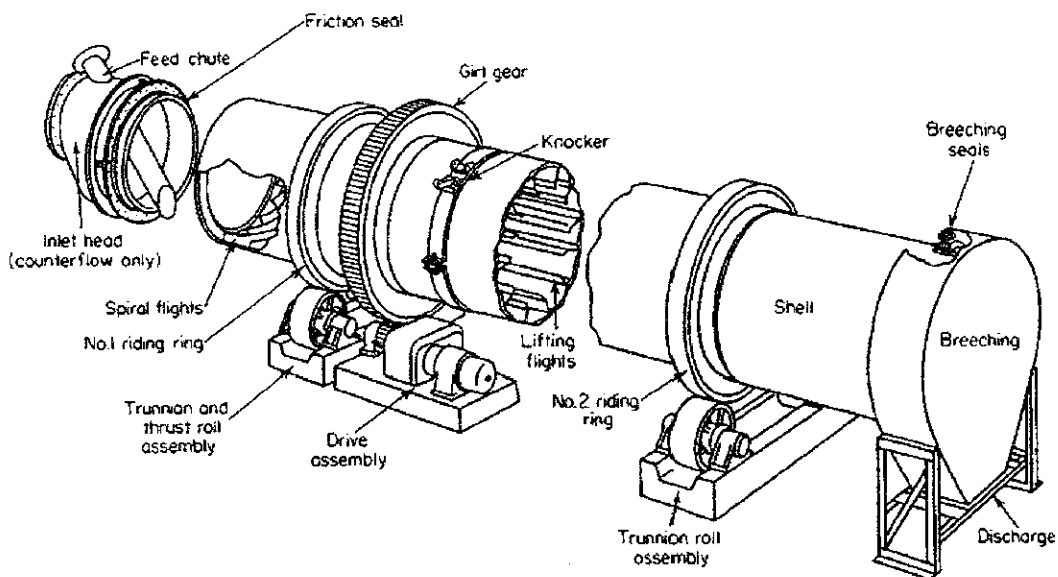
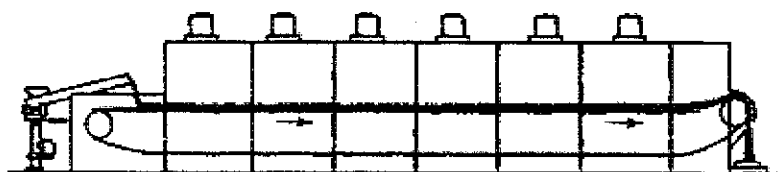


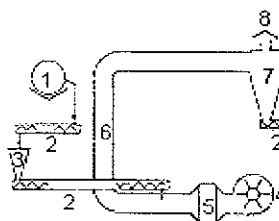
Figura 29. Secador rotatorio

4. **Secador de banda.** Una capa de almidón de espesor controlado, 10mm. Cae en una banda de acero o tela, y pasa por las partes de calefacción del secador. La banda pasa entre corrientes de aire caliente con temperaturas controlados, hasta que alcanza la descarga de la banda, donde cae a una artesa. Ésta tiene un transportador de tornillo que mueve el almidón .



**Figura 30. Secador de banda**

5. **Secadores neumáticos.** Es una forma rápida de remover humedad por el movimiento de partículas a ser secadas en una corriente de aire seco caliente. Los factores involucrados en el secador flash son el tamaño de partícula , agitación, dispersión de la humedad y diferencial de temperatura. El aire caliente de la combustión directa de gas, aceite, carbón o petróleo o producido indirectamente por tuberías de vapor, entra al sistema de secado a  $1832^{\circ}\text{C}$  con una humedad de 0.01 kg de agua por kg de aire seco. La temperatura de bulbo húmedo es de  $63.3^{\circ}\text{C}$ , el punto de rocío es del orden de  $61.6^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 31. Retirado de agua, secado y tamizado. 1. Purificación, 2. transportador, 3. Mezclador, 4. Soplador, 5. Calentador. 6. Tubo del secador neumático. 7. Ciclones. 8. Chimenea.**

6. Secadores de celda y de túnel. El almidón de papa puede secarse en secadores de celda, gabinete o túnel, pero sólo en pequeña escala con altos costos de mano de obra.

El almidón se coloca en bandejas hasta llenar el cuarto. Se colocan tuberías de vapor en el suelo. El aire húmedo se saca por la parte superior del cuarto. El almidón de las primeras bandejas se seca mejor. El espacio y costo por tonelada es alto. La humedad del producto terminado no es uniforme.

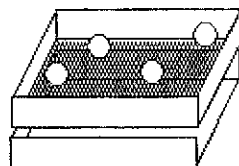
Los secadores de túnel con bandejas o carros pueden ser utilizados, pero tiene altos costos y fuerte utilización de mano de obra.

7. Secadores de vacío. Se utilizan cuando se requiere que la humedad llegue a un 7 por ciento. La disminución de la humedad ocurre mas rápido a más baja temperatura. Es un secador con chaqueta de vapor que en el centro tiene un eje con paletas que rota manteniendo el almidón en movimiento.

## **L. Tamizado y molido**

Mallas vibratorias, con pequeñas bolas de plástico o hule para romper los terrones, se usan en el tamizado del almidón. Éste vibra utilizando un motor de 0.37285 KW.

Es un mejor procedimiento tamizar el almidón que molerlo ya que al molerlo reduce su viscosidad. Los molinos se utilizan especialmente para los terrones que luego de tamizados no se han logrado romper. El tipo de molino más utilizado es el de martillo, también se utilizan molinos de bolas.



**Figura 32. Tamiz. cuenta con una bandeja inferior inclinada y bolas de plástico para romper los terrones.**

## **M. Empaque**

El almidón se transporta a una tolva y sobre un transportador de tornillo llenando los sacos. Estos se llenan hasta la masa deseada. Los sacos se llenan sobre una balanza que al llegar a la masa establecido envía una señal al motor del tornillo para que este se detenga. Se utilizan sacos de papel multicapa de 100 kg.

## **N. Aditivos, antisépticos y preservantes**

Hay poco sentido en la adición de las ayudas químicas donde se cumplen las condiciones básicas para la producción de una harina de alta calidad, en especial si se tiene cuidado en la limpieza de todo el proceso. En esta condición no hay duda que un almidón de la calidad se puede producir sin el uso de cualquier producto químico. Por otra parte, debido al peligro de la aplicación errada, la adición de químicos no debe ser recomendada sin la supervisión experta, en general disponible solamente en fábricas grandes.

1. **Ácido sulfúrico.** En muchos casos este ácido se agrega como ayuda a la sedimentación, además da lugar a un producto de la blancura realizada.

El efecto sobre la sedimentación es sensible en las concentraciones sobre 0.001 ml del ácido concentrado por el litro de almidón de 2° Brix. (Que en el almidón son

proporcionales a gramos de almidón por litro). La adición de diez veces la cantidad causa una sedimentación muy rápida, pero se obtiene un sedimento suave. El efecto de este producto químico en bajar la viscosidad del producto, es ya apreciable en concentraciones muy pequeñas.

Debe tenerse gran cuidado en la adición de este producto químico, que se debe utilizar solamente en forma diluida, preparada de antemano, y se debe retirarlo por medio de lavados con agua pura.

2. Sulfato del aluminio. Tiene un efecto favorable en la sedimentación, y también realza la viscosidad de la harina, una adición de 0.1 g por el litro en la leche del almidón de 2° Brix, da por resultado un aumento de cerca de 50 por ciento en viscosidad.

3. Dióxido de azufre. La adición del dióxido de azufre es una práctica común en la fabricación de la mayoría de los almidones de grano. Ayuda a separar el almidón de las otras sustancias a las cuales está ligado firmemente en su estado protoplasmático. Limita la acción bacteriana y enzimática. El dióxido de Azufre también actúa como agente blanqueador, aunque el color blanco obtenido pronto se deteriora. Éste baja la viscosidad del producto, especialmente después de la acción prolongada.

Es cuestionable si el uso del dióxido de azufre es ventajoso en el proceso de los almidones de raíz. En cualquier caso se debe aplicar con gran precaución y eliminar después cuidadosamente por lavados subsecuentes en agua pura.

4. Cloro. La adición de la cloro activo en sus diversas formas aumenta considerablemente la viscosidad del producto. Actúa favorable en la sedimentación, mientras que sus características de desinfección y blanqueo son también muy marcadas, el sedimento obtenido es compacto y blanco. Estas características de las preparaciones activas del cloro lo hacen el mejor medio de obtener un producto final de alta calidad.

Hay dos condiciones que hacen que se requieran antisépticos y preservantes. Una de ellas es el crecimiento de bacterias y otra el crecimiento de hongos.

Es necesaria la destrucción bacteriana si el producto final está dirigido a alimentos. Si el almidón no está dirigido a la industria alimenticia, no es necesario la completa eliminación de estas bacterias. Especialmente si el proceso de recuperación se hace continuo ya que de esta forma no se permite la fermentación. La contaminación con bacterias se da especialmente por el uso de agua contaminada. Esto puede ser evitado utilizando agua clorada.

Una vez seco el almidón a un 20% de humedad permanece en equilibrio con un ambiente de 75% de humedad. Si el almidón no es humedecido puede ser mantenido bajo estas condiciones, sin el crecimiento de hongos por años, por lo que no se requieren de preservantes.

## **O. Explosiones de polvo**

El almidón es capaz de formar nubes explosivas con aire debido a que es un material orgánico que se encuentra en forma de polvo.

En una explosión de polvo se inicia por la introducción de una llama o chispa en una nube de almidón, las partículas que se encuentran en la vecindad empiezan a quemarse y si la nube es suficientemente densa se puede encender otras partículas y la ola explosiva viaja a través de la nube. El calor generado lleva a un rápido aumento de presión debido a la expansión del gas presente y si perturba la planta o edificio en el cual está contenido se tiene lo que se llama explosión. A no ser que la planta sea lo suficiente fuerte para resistir la fuerza de esta explosión de gases calientes, llamas y material ardiente serán expulsados en el área de la planta. Si hay una acumulación de polvo en paredes, pisos, tuberías, etc. puede causar una segunda explosión.

Para iniciar una explosión es necesario tener polvo suspendido en el aire con suficiente densidad y una fuerza de ignición. Si se evitan cualquiera de estas condiciones se evita una explosión.

1. Fuentes de ignición. Hay muchas y variadas fuentes de ignición potenciales y todas las obvias deben ser eliminadas (llamas desnudas, hornos o quemadores, puntos chispeantes en el circuito eléctrico o superficies calientes).

Los equipos de calentamiento deben ser seleccionados con cuidado para evitar la exposición de nubes de polvo a llamas desnudas o superficies calientes y se debe prohibir el fumar.

Cualquier trabajo de reparación que aplique la utilización de calor no debe llevarse a cabo a menos que la planta sea completamente parada y los alrededores se hallan limpiado para remover el polvo.

El equipo eléctrico localizado en ubicaciones riesgosas debe ser a prueba de llamas y polvo. No debe estar en una posición donde esté expuesto al polvo.

Las nubes de polvo se pueden quemar por chispas con energías tan pequeñas como 5mJ, de todas formas una chispa es una forma menos efectiva de ignición que una llama o superficie caliente.

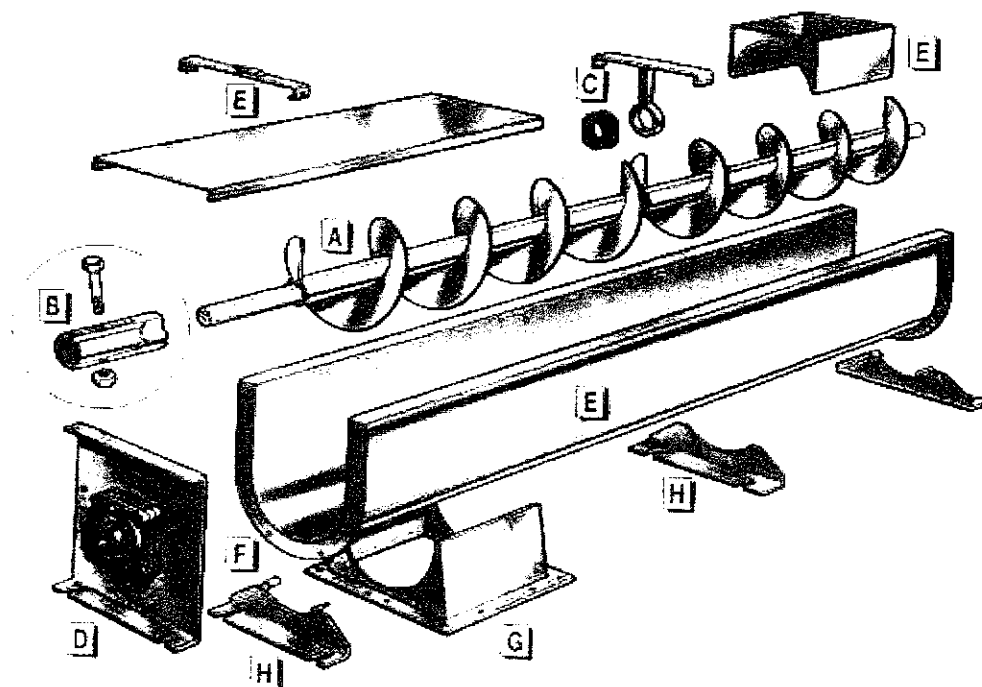
El límite más bajo para que una nube de polvo sea explosiva es de 44 g/m<sup>3</sup>.

Las chispas del equipo eléctrico son más peligrosas que las descargas de estática de no conductores.

Las chispas causadas del impacto metal-metal pueden ser una fuente de ignición por lo que se deben evitar, todos los equipos que tengan rozamiento deben estar bien lubricados.

También se puede pensar en métodos para limitar los efectos de la explosión si ésta ya ocurrió. Estos son: Diseñar la planta para resistir la presión de la explosión, introducir un gas inerte para reducir el nivel de oxígeno, venteo, el uso de supresores, mecanismos que al empezar la explosión descargan gas inerte o líquido vaporizado en el área de reacción para extinguir la explosión antes de que aumente la presión.

## 2. Transportador de tornillo sin fin



- A. Transportador helicoidal
- B. Componentes de acoplamiento como tornillos,  
Flechas y tuercas de seguridad
- C. Colgantes y bujes
- D. Tapas de extremo
- E. Artesas, cubiertas, y limitadores de carga
- F. Bridas
- G. Bocas de descarga y alimentación
- H. Pie soporte atornillable y soldable

**Figura 33. Transportador de tornillo sin fin**

El transportador de tornillo es uno de los más antiguos y versátiles que existe. Consiste en una trayectoria helicoidal o seccional, montada en un eje que rota. La

energía para transportar debe ser transmitida a través del eje y está limitada por el tamaño de este componente. Las capacidades de los transportadores de tornillo están generalmente limitadas a 4.72 m<sup>3</sup>/min. Además de su capacidad de transporte, los transportadores de tornillo pueden ser adaptados a una amplia gama de operaciones de proceso. Casi cualquier grado de mezcla puede ser alcanzado con un tornillo provisto de agujeros o de paletas. El uso de tornillos de cinta permite que los materiales pegajosos puedan ser transportados.

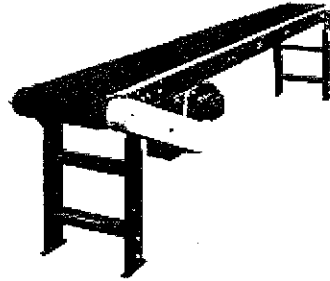
Además de una amplia variedad de diseños para sus componentes, los transportadores de tornillo pueden ser fabricados de una variedad de materiales que abarca del hierro negro al acero inoxidable.

Los tornillos de artesas profundas utilizados para la circulación de fluidos fríos o calientes, permite que sean utilizados para operaciones de calentamiento enfriamiento y secado. Transportadores enchaquetados pueden emplearse para el mismo fin. Es relativamente fácil sellar un transportador de tornillo para su operación a una diferente presión diferente de la atmosférica. A decir verdad, pueden trabajar a presiones positivas o negativas y la artesa puede estar aislada para mantener temperaturas internas en áreas de temperatura ambiental alta o baja.

Una ventaja adicional es el hecho de que la artesa puede diseñarse con un fondo desmontable que permite limpiarlo fácilmente evitando contaminación cuando diferentes materiales pasan por el mismo sistema.

Es indicado para el transporte de cualquier tipo de sólidos y fangos. La mayor ventaja frente a las cintas transportadoras convencionales es la limpieza, ya que al estar cerrados no permiten la salida de sólidos ni de agua, esta incluso llega a ser transportada debido al ajuste del sinfín sobre la canal.

## P. Banda transportadora



**Figura 34. Banda transportadora**

El transportador de banda se puede utilizar en casi cualquier aplicación. Éste puede viajar por millas a velocidades hasta de 5.08 m/s y puede manejar hasta 4,539 toneladas métricas/h. También puede operar en distancias cortas a bajas velocidades suficientes para alimentación manual con una capacidad de unos pocos kilogramos por hora. De cualquier forma, no es usual aplicarlo a operaciones de proceso, excepto bajo condiciones inusuales.

La pendiente de un transportador de banda esta limitada a un máximo de alrededor de 30°, con mayor frecuencia se utilizan inclinaciones de 18 a 20°. Los cambios en la dirección pueden ocurrir en el plano vertical de la banda y deben ser cuidadosamente diseñados como curvas verticales de dobleces relativamente planos. Los transportadores de banda dentro de la planta pueden tener un costo inicial superior a otros tipos de transportadores. Dependiendo del diseño de los rodillos el mantenimiento puede ser más o menos frecuente.

Aun así, un transportador de banda que recibe un mantenimiento adecuado durará más que cualquier tipo de transportador, por lo tanto, en términos de costo por tonelada transportada, los transportadores de banda han establecido récord de operación económica.

## VII. Resultados

Luego de analizar y comparar los diferentes equipos se llevó a cabo la selección de los mismos la que se presenta a continuación, la justificación de la selección se discutirá en secciones posteriores.

Al salir del lavador el agua será bombeada hacia el sistema de purificación con una bomba de 3.7285 KW. Se seleccionó una batería de 5 hidrociclones como método de purificación del almidón.(figura 27, pag. 46). El almidón será descargado del último hidrociclón con una humedad del 50% para continuar el proceso. Se transportará por medio de un transportador de tornillo sin fin de dos metros de largo con un motor de 0.7457 Kw, fabricado en acero inoxidable. A un sistema de secado neumático donde se pondrá en contacto con aire seco. Por medio de un transporte neumático, se elevará el almidón hasta llegar a un silo de recolección de 1.5 metros de diámetro por un metro de alto, éste descargará en un segundo transportador de tornillo sin fin que dará pasó a la etapa final de tamizado por medio de un tamiz de 100 mallas(figura 31,pág. 50) Esta etapa se realizará en un tamiz vibratorio movido por un motor de 0.37285 KW contando con bolas de plástico de 10 cm de diámetro para quebrar terrones (figura 32, pág. 51) Luego pasará a un último transportador de tornillo sin fin de 2 metros de largo con un motor de 0.7475 KW, que alimentará el empaque del producto terminado a donde será empacado en sacos de 25 Kg de papel kraft. (Figura 46, pág. 85).

| Proceso                        | Equipo seleccionado        | Capacidad   | Potencia  | Material         | Otras características  |
|--------------------------------|----------------------------|-------------|-----------|------------------|--|
| Transporte hacia hidrociclones | Bomba centrífuga           | 1.94 L/s    | 3.7285 KW | Acero Inoxidable |  |
| Purificación                   | Batería de 5 hidrociclones | 1.94 L/s    | -         | Acero Inoxidable | La descarga inferior rica en almidón se alimenta al siguiente hidrociclón y así sucesivamente, el almidón se descarga del último hidrociclón con una humedad entre el 50 – 60% |
| Transporte de pasta            | Transportador de tornillo  | 392.12 kg/h | 0.7457 KW | Acero Inoxidable |  |

|                        |   |             |                      |                  |  |
|------------------------|---|-------------|----------------------|------------------|--|
| Secado                 | Secador neumático                                   | 392.12 kg/h | 3.70 KW (ventilador) |                  | Par media de un ventilador que gira a 1500RPM se alimenta con aire que pasó previamente por un filtro de bolsa, luego éste es calentado a 1860°C por un intercambiador de calor de concha y tubo con aletas longitudinales. El calor proviene de vapor sobrecalentado a 100PSi. El aire luego pasa a un ducto de latón donde se pone en contacto con el material a ser secado. El aire se transporta a un ciclón de 1 metro de diámetro por 1.5 de alta, que cuenta con filtros de bolsa. Cae finalmente en una tolva. |
| Transporte hacia tamiz | Transportador de tornillo                           | 280.08Kg/h  | 0.7475 KW            | Acero inoxidable |  |
| Tamiz                  | Tamiz vibratoria con balas de plástico              | 280.08kg/h  | 0.37285 KW           | Acero inoxidable | Tamiz de 100 mallas, utiliza bolas de plástico de 10cm de diámetro para ayudar a quebrar terrones. Tiene una cubierta de latón.  |
| Transporte a empaque   | Transportador de tornillo                           | 280.08 kg/h | 0.7475 KW            | Acero inoxidable |  |
| Empaque                | Empaque por masa, en bolsas de papel kraft de 100kg | 280.08 Kg/h |                      |                  | Al alcanzar la masa estipulada envía una señal al transportador para detener la alimentación.  |
| Sellado de sacos       | Cacedora  |             |                      |                  |  |

El análisis económico del proyecto, tomando un tiempo de vida de 10 años, una depreciación de línea recta con 0 de valor de rescate. Dio como resultado que el proyecto es rentable. Obteniendo un valor de tasa interna de retorno de 255.08% y un valor actual neto de Q2,063,278.06 con anualidades de Q577,867.57 (Tabla 11, pág. 95).

Si se toma un préstamo a 10 años en el banco por la mitad de la cantidad necesaria en la inversión inicial Q 127,240.00, con un interés del 18% el valor de la tasa interna de retorno es 488.00% y un valor actual neto de Q2,104,508.91 con anualidades de Q589,415.20.( Tabla 12, pág. 95)

Debido al incremento en la rentabilidad se decidió analizar un préstamo a 10 años por el total de la inversión inicial Q 254,481.40, con un interés del 18%. El valor de la tasa interna de retorno tiende a infinito y el valor actual neto es de Q2,407,341.75 con anualidades de Q674,230.37.( Tabla 13. pág.95)

Se determinó que la curva de la experiencia no es aplicable al proyecto, la explicación de este razonamiento se encuentra en la sección de discusión.

## VIII. Discusión

Durante un período de tres meses se obtuvo muestras del agua de lavado, las cuales se centrifugaron, decantaron y secaron para determinar el contenido de almidón del agua.

El lavador de la fábrica de productos alimenticios Rene desecha en el desagüe un promedio de 1.94 L/s con un contenido de almidón de 0.087Kg/L. La línea de producción de papalina opera cuatro días a la semana. Ocupando aproximadamente ½ día para su el arranque y 4 horas para su limpieza al terminar la producción. Por lo que se deben procesar aproximadamente 2,123,556 Litros al mes obteniendo 184,586 Kg de almidón.

Se requirió diseñar equipo para procesar estas cantidades de agua de lavado. El proceso necesita, como primer paso, una purificación en la que el almidón se separa de los pedazos pequeños de papas e impurezas solubles, que se encuentran en el agua.

El almidón se debe separar rápidamente del agua debido a los cambios químicos en la corriente líquida tales como la formación de compuestos estables entre el almidón y la proteína. También se puede dar fermentación, debido a la presencia de azúcar y microorganismos, formando alcoholes y ácidos orgánicos, el ácido butírico es notable especialmente por el olor. Estos cambios bioquímicas son una influencia negativa en la calidad del almidón.

En cuanto al equipo para la separación y purificación, se analizaron tanques y canales de sedimentación para realizar el proceso de separación. Estos quedaron descartados debido al tiempo de sedimentación requerido, ya que se requiere de un mínimo de 3 horas para lograr sedimentar el almidón. Tienen otras desventajas como el requerimiento de mano de obra, las pérdidas de producto y la fácil contaminación.

Luego se analizaron las centrífugas de alta velocidad. Estas requieren de un fuerte mantenimiento debido a las partes móviles de las mismas. Estas dan un producto de alta calidad con baja utilización de mano de obra.

Las centrifugas de placas o filtros centrifugos, son un método bastante recomendable, debido a la pureza del material obtenido. Aunque las placas deben ser lavadas constantemente para evitar que se tapen los poros.

Lo hidrociclones cuentan con varias ventajas, como que son el método más rápido de separación. Son de fácil mantenimiento, requieren poca mano de obra y se obtiene un producto de alta calidad.

Los procesos de los purificadores analizados dan productos de calidad similar por lo que la elección del método de purificación se realizó basado en el mantenimiento que hay que dar al equipo y el costo del mismo. Los hidrociclones son aproximadamente un 10% más bajos en costo que los otros sistemas de purificación. Esto se debe a que no requieren de partes móviles, si no utilizan la inercia del material y la diferencia de densidades para la separación. Razón por la cual se seleccionó el Hidrociclón.

El almidón al salir del lavador se bombea hacia la batería de 5 hidrocilones, que es el número que sugiere el fabricante Mosley para manejar un flujo entre 1.5 y 5 L/s, considerando que la cantidad a tratar es de 1.94 L/s. En los hidrocilones se da la separación de las impurezas. Si en la última etapa no se agrega agua se obtiene un material con 60% de humedad. El uso de calor es una operación de alto costo por lo que es necesario remover cuanta humedad sea posible.

Debido a la alta densidad del material y por facilidad, se seleccionó en este punto un transportador de tornillo sin fin el cual alimenta el almidón purificado hasta el secador.

Para elegir el secador a utilizar se llevó a cabo una selección por medio de diagramas, (ver anexo B, figuras 35-38, págs. 68-71). Se obtuvo varios secadores que cumplían con las condiciones necesarias para secar el almidón, se procedió a analizar los siguientes: Secador de horno, de bandejas, rotativo, de banda, neumático, de celda-túnel y de vacío.

Al iniciar el análisis, dos tipos de secadores quedaron descartados, el de horno ya que es el más ineficiente, requiere mano de obra, se obtiene una menor calidad de producto y requiere mayor espacio. Y el de vacío, ya que éste se requiere únicamente para procesos específicos en los que el almidón se desea obtener a una muy baja Húmeda. Los demás secadores que tienen eficiencias y costos similares. Por lo que se determinó que podría utilizar cualquiera de ellos.

Se sugiere el secador neumático debido a la alta calidad obtenida de producto, no requiere gran utilización de mano de obra y su eficiencia es alta tanto en costos como en transferencia de calor .

No se aconsejan los secadores de celda y túnel debido a que requieren alta utilización de mano de obra y no se obtiene un producto homogéneo.

Los transportadores a utilizar se seleccionaron de tornillo sin fin para evitar que el material se esparza por la planta ya que es un polvo muy fino y explosivo. Además los transportadores de tornillo ayudan a homogeneizar el material. Pues rompen algunos terrones grandes. Las distancias a transportar son pequeñas (2m, en los 3 transportadores seleccionados) por lo que éstos son eficientes y con costos no muy elevados.

Luego de ser purificado y secado el almidón, pasa por un tornillo sin fin que lo deja caer en un tamiz de 100 mallas con esto se obtiene un material suficiente fino. El tamiz se hará vibrar por medio de un motor de 0.37285 KW. Y contará con bolas de plástico de 10 cm de diámetro para romper los terrones de almidón que hallan podido quedar, que generalmente son de 1 pulgada de diámetro, hasta hacerlos pasar por el tamiz. El tamiz cuenta con una bandeja inferior que debido a su inclinación descarga en una tolva de alimentación a un transportador de tornillo sin fin que descarga finalmente en los sacos de empaque. Estos son cargados a la masa requerida, programando la balanza para parar el motor del alimentador de tornillo al alcanzar la masa deseada, en bolsas de papel kraft, por último las bolsas son cocidas.

Los químicos (ácido sulfúrico, sulfato de aluminio y dióxido de azufre) que se pueden añadir para mejorar la calidad del almidón no se recomiendan ya que estas deben mezclarse cuidadosamente por gente experta pues las cantidades pueden

causar grandes daños a todo un lote de producción. Estos además deben de ser retirados con agua fresca para evitar que aparezcan en gran concentración en el producto terminado. El único químico que se utilizará será hipoclorito de sodio para desinfectar el agua. Este es el recomendado ya que no altera la calidad del producto terminado, produce mayor blancura y permite la desinfección.

El almidón por ser un polvo fino, orgánico, es explosivo, para prevenir el riesgo de explosión se seleccionaron transportadores de tornillo sin fin que no permiten que el material se esparza en el ambiente. El único lugar donde el polvo se puede esparcir es en el tamiz, razón por la cual se tomó la decisión de mantener este cerrado, con una cubierta de latón. El tipo de secador que se seleccionó no tiene contacto directo del almidón con llamas. En las superficies calientes del exterior se evita la acumulación de almidón por medio de limpiezas periódicas. Al tener el proceso cerrado no se tienen nubes de almidón. Los aparatos eléctricos seleccionados son a prueba de polvo. Los operarios deben utilizar botas con suela de hule para evitar una fuente de ignición por los clavos que pudieran contener los zapatos. Las bolas del tamiz se seleccionaron de plástico, para evitar el choque metal-metal. Como método de prevención de las explosiones, se seleccionó evitar las posibles fuentes de ignición y la formación de nubes de polvo, ya que el crear un ambiente con baja cantidad de oxígeno, representa grandes costos.

Los costos del equipo fueron calculados por medio de los costos de un proceso similar de obtención de almidón a partir de papa en el año de 1950 con una producción de 0.5 ton/h. Los costos se convirtieron a la escala y al año actual por medio de la función potencial de Williams.

El análisis de costos no incluyó costos fijos, ya que no se incurrirá en estos al implementar esta línea. El personal administrativo permanecerá constante. No se alquilará obra civil, ni se incurrirá en ningún otro gasto. Esto permite analizar exactamente el efecto que tendrá la implementación de la línea para la recuperación del almidón

El personal requerido para la operación de la línea consta de: 4 personas, en 2 turnos de 12 horas al día. El almidón se obtiene del agua de desecho por lo que no se incurre en el costo variable de materia prima. El cloro como material auxiliar es un costo variable. La línea no utilizará agua extra además de la que se desecha, se ha

comprobado que el agua después de ser tratada en el hidrociclón puede ser reutilizada, considerando que esta contiene fibra y parte del jugo de almidón.

Como gastos de venta se consideran un único vendedor con sueldo fijo y prestaciones laborales.

Se asumió una vida útil de 10 años con el método de depreciación de la línea recta con valor de rescate de 0.

La tasa de impuesto sobre la renta correspondiente para el proyecto es de 31% considerando la ley de empresas industriales.

Se obtuvo los ingresos y egresos del proyecto, conociendo la depreciación e impuestos, se procedió a calcular el flujo de caja para los 10 años de operación del proyecto. Se realizó el análisis considerando una producción constante, ya que esto permite observar, el aumento en la rentabilidad de la línea con el peor escenario en el sentido de crecimiento de producción. Pudiendo esperar mayor rentabilidad debido a que la línea de producción de papalina debería crecer hasta llegar al máximo de su capacidad.

Se obtuvo un valor actual neto (VAN) de Q2,063,278.06 que con respecto a la inversión inicial de 810.78%, la cual es mucho mayor que el 5%, por lo que el proyecto será rentable, ya que después de vender los activos vendibles del proyecto al final del ciclo de vida del mismo, queda en caja una cantidad superior al 5% de la inversión inicial, para cubrir gastos de cierre.

El valor de la tasa interna de retorno (TIR) para el proyecto es de 255.08%, esta es la tasa de interés neta generada por el proyecto que es superior a todas las tasa bancarias. Esta tasa cubre el riesgo y el esfuerzo que la inversión implica, por lo que según este parámetro el proyecto es rentable.

Se requiere de menos de 0.39 años (4.5 meses) para recuperar la inversión inicial, considerando el flujo de caja como el dinero disponible para la recuperación de esta inversión.

Se hizo el análisis considerando obtener un préstamo bancario por la mitad de la inversión inicial con un interés del 18% a 10 años. Tomando este préstamo los parámetros de rentabilidad obtenidos fueron aún mejores que sin el préstamo, ya que las utilidades de la empresa son mucho mayores a los intereses del mismo. Por lo que se analizó el considerar un préstamo por la inversión total, obteniendo mayores utilidades que por la mitad de la inversión. El TIR en este caso tiende a infinito ya que no hay ningún flujo de caja negativo, debido a que desde el primer año las utilidades cubren los intereses.

El proyecto aparenta ser un muy buen método para mejorar la rentabilidad de la línea. Los parámetros de rentabilidad exceden casi cualquier expectativa. Esto se debe a que en la implementación de esta línea, el principal gasto es la inversión inicial del equipo. Luego de esto se trabaja con un material de desecho, el cual al analizarlo como tal no tiene costo alguno.

El tiempo de recuperación de la inversión es, por lo tanto, muy corto, ya que las utilidades del proyecto son muy altas. El tiempo es de 0.39 años representan menos de medio año de operación de la línea de recuperación de almidón.

Al analizar la producción industrial de bienes estandarizados se suele observar que el costo de producción baja a medida que se agrega experiencia. Esto es conocido como la curva de la experiencia.

Se realizó el análisis para determinar si esta es aplicable al proyecto.

Se analizaron los tres factores que según la teoría reducen el costo por la experiencia.

Las economías de escala hacen que, a medida que una empresa fabrica un producto, sus costos fijos se encuentren divididos por un número más grande de unidades en el cálculo del costo unitario.

Los costos fijos no fueron considerados en este proyecto, ya que el proyecto se enfocó al aumento de rentabilidad en la línea de producción. En la instalación de la línea no se pensaba incurrir en ningún costo fijo, además de los existentes, por lo que no es aplicable.

El volumen de producción es completamente dependiente del volumen de producción de papalina. Se hizo el análisis considerando que este volumen no se incrementaría para determinar el efecto que tiene la implementación de la línea de recuperación de almidón en la rentabilidad de la línea si esta mantiene su volumen de producción actual.

El efecto del aprendizaje hace que la mano de obra se vuelva más hábil para fabricar un producto a medida que adquiera experiencia y se perfeccione el proceso de producción. El valor de la mano de obra por unidad disminuye.

El personal que se calculó para operar la línea es el mínimo para que esta sea operable ya que se requieren por lo menos dos personas. El aumento de la experiencia facilitará el trabajo de los operadores pero no permitirá que aumente el volumen de producción ya que la mano de obra no es el factor limitante de la producción. El factor limitante es el almidón desechado en el agua de lavado de la producción de papalina. La experiencia de los operarios puede contribuir a la disminución del desperdicio. Factor que podría afectar los costos de producción. Pero, debido a que la mayor parte del proceso es automatizado y se consideró que el desperdicio de esta línea es muy bajo, este factor no permite que se aprecie una curva de la experiencia.

El costo de capital disminuye a medida que crecen los activos de las empresas. De varios estudios estadísticos se deduce que el costo de capital de pequeñas empresas es más elevado que el de las grandes empresas, y se les presta a una tasa de interés más baja.

La empresa en la que se piensa implementar el proyecto, es una empresa multinacional. Por lo que el crecimiento debido a la implementación de esta línea no se considera un factor determinante en la disminución del costo de capital.

Hay que tomar en cuenta que en el estudio económico se asumió que el mercado local consumirá el total del producto terminado, el transporte contemplado, es local. El mercado de Guatemala tiene capacidad de consumir la producción esperada, desplazando grandemente al almidón de maíz importado de Estados Unidos. Especialmente en la industria alimenticia.

## IX. Conclusiones.

1. El equipo más apropiado para línea de recuperación de almidón para operar en las condiciones de la fábrica de productos alimenticios Rene es: Una batería de 5 hidrociclones, para su refinación. Transportadores de tornillo par el transporte de sólidos y pastas. Secador neumático, para llevar el almidón de una humedad entre 50-60% a 20%. Un tamiz vibratorio con bolas de plástico para romper Grumos. Empaque por masa en sacos de 100kg de papel kraft.

2. No es conveniente añadir algún tipo de químico al almidón para mejorar su decantación ni calidad final. Para evitar problemas de contaminación con agentes biológicos, el agua debe ser clorada, por medio de hipoclorito de sodio a una concentración de 0.3%.

3. Se determinó que el proyecto es rentable, obteniendo una tasa interna de retorno superior a la de cualquier banco 225.08% y un valor actual neto de Q2,063,278.06. Su alta rentabilidad se debe especialmente a que no requiere una inversión constante en materia prima ya que la materia prima es el material de desecho de un proceso de la misma fábrica.

4. Realizar el proyecto con un préstamo a 10 años por la mitad de la inversión total con un interés del 18%. Proporciona una rentabilidad aún mejor que el proyecto original. Realizar el proyecto con un préstamo por el total de la inversión es aún más rentable. Esto se debe a que las utilidades del proyecto son muy altas comparadas con los costos que se debe incurrir, por lo que los intereses del préstamo no representan un rubro suficientemente grande para hacer caer estas utilidades.

## **X. Recomendaciones**

1. Analizar el agua desechada de los hidrociclones para su posible uso como agua para baños u otras formas de utilización que no requieren agua pura, ya que esta agua ha sido separada del almidón, pero aún contiene parte de los jugos y fibras de la papa, por lo que no se recomienda su recirculación.

2. Se recomienda realizar el proyecto con un préstamo bancario al 18% de interés del total de la inversión ya que la rentabilidad del proyecto es tal, que permite cubrir los intereses completamente de las utilidades desde el primer año de operación.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Alarcón F. y Dufour D. *Almidón agrario de yuca en Colombia : producción y recomendaciones*. 1998. CIAT. 35p.
2. Cortez, L., 1997. *Estudio de factibilidad para fabricar almidón a partir de la raíz de malanga (Colocacia esculenta)*. Tesis de la Universidad del Valle de Guatemala.
3. Matz, S. 1977. *Snack food technology*. 3era Ed. Pan-Tech International. N.Y. 450p.
4. Radley, J.A3 1976 *Starch Production technology*. Applied Science Publishers. Londres. 456 P.
5. Radley, J. 1976. *Industrial uses of starch and its derivatives*. Applied Science Publishers. 268p.
6. Treybal, R. 1996. *Operaciones de transferencia de masa*. 2da Ed. McGraw-Hill, México. 858P.
7. <http://distans.livstek.lth.se:2080/microscopy/f-starch.htm>
8. <http://www.geocities.com/icasegunda/procquim/filtra/filt01.html>
9. <http://www.lafacu.com/apuntes/quimica/Almidon/default.htm>
10. [http://www.mercanet.cnp.go.cr/Desarrollo\\_Agroid/documentospdf/Papa\\_FTP.pdf](http://www.mercanet.cnp.go.cr/Desarrollo_Agroid/documentospdf/Papa_FTP.pdf)

## XII. Anexos

### A. Comparación de métodos de purificación

Tabla 1. Comparación métodos de purificación

| Método                   | Ventajas   | Desventajas   |
|--------------------------|--|---|
| Tanque de sedimentación  | <ul style="list-style-type: none"><li>-Costo de equipo e instalación bajo</li><li>-No consume energía eléctrica</li><li>-Ocupa grandes espacios</li></ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>-Tiempo para llevar a cabo sedimentación alto</li><li>-Fuerte utilización de mano de obra.</li><li>-Grandes pérdidas de almidón</li></ul> |
| Canales de sedimentación | <ul style="list-style-type: none"><li>-Costo de equipo e instalación bajo</li><li>-No consume energía eléctrica</li><li>-Ocupa grandes espacios</li></ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>-Tiempo de sedimentación menor que el de tanques pero alto comparado con separadores modernos.</li><li>-Mano de obra</li></ul>            |
| Centrífuga de boquillas  | <ul style="list-style-type: none"><li>-Tiempo de sedimentación rápido</li><li>-Alta pureza del material obtenido.</li><li>-Requiere poca mano de obra.</li><li>-Ocupa poco espacio</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>-Partes móviles que requieren mantenimiento.</li></ul>  |

|                      |   |  |
|----------------------|---|--|
| Placas centrífugas   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Tiempo de sedimentación.</li> <li>-Alta pureza del material obtenido.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Requiere mantenimiento y cambios de las placas filtrantes</li> </ul>     |
| Centrífuga de secado | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Se obtiene el material más seco, lo que permite ahorros en el secado.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Se requiere de otro paso de purificación para separar fibras.</li> </ul> |
| Hidrociclón          | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Alta pureza de producto terminado.</li> <li>-No requiere de mano de obra.</li> <li>-Es el proceso más rápido de separación.</li> <li>-Mínimas pérdidas de material</li> <li>-No se tienen partes móviles que requieran mantenimiento</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Requiere trabajar con alta presión.</li> <li>-Costo alto</li> </ul>      |

## B. Diagramas de bloques de selección para el secador

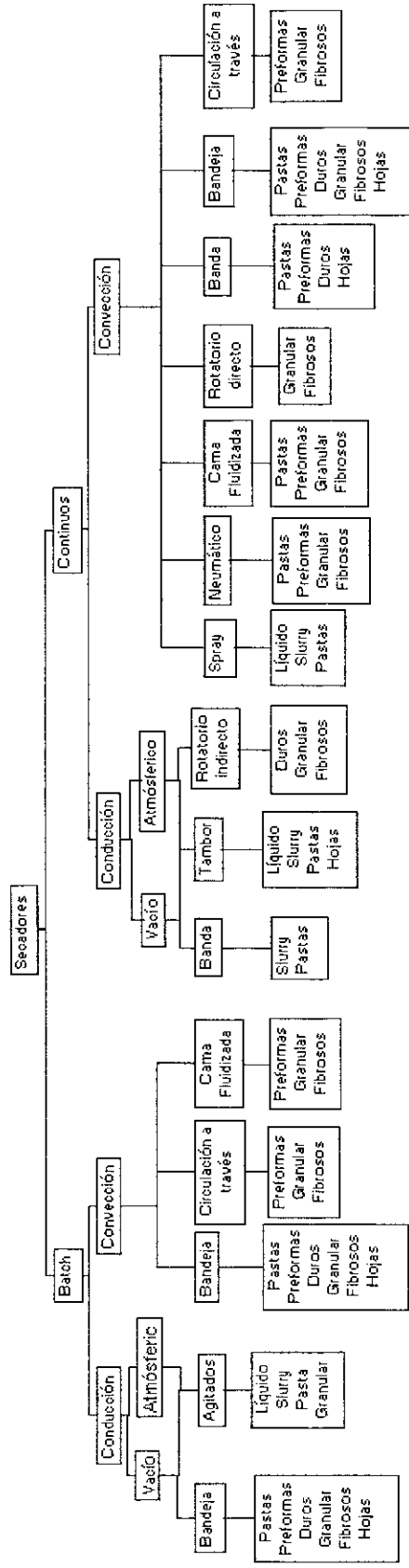


Figura 35. Diagrama de bloques de selección de secador por forma de transferencia de calor

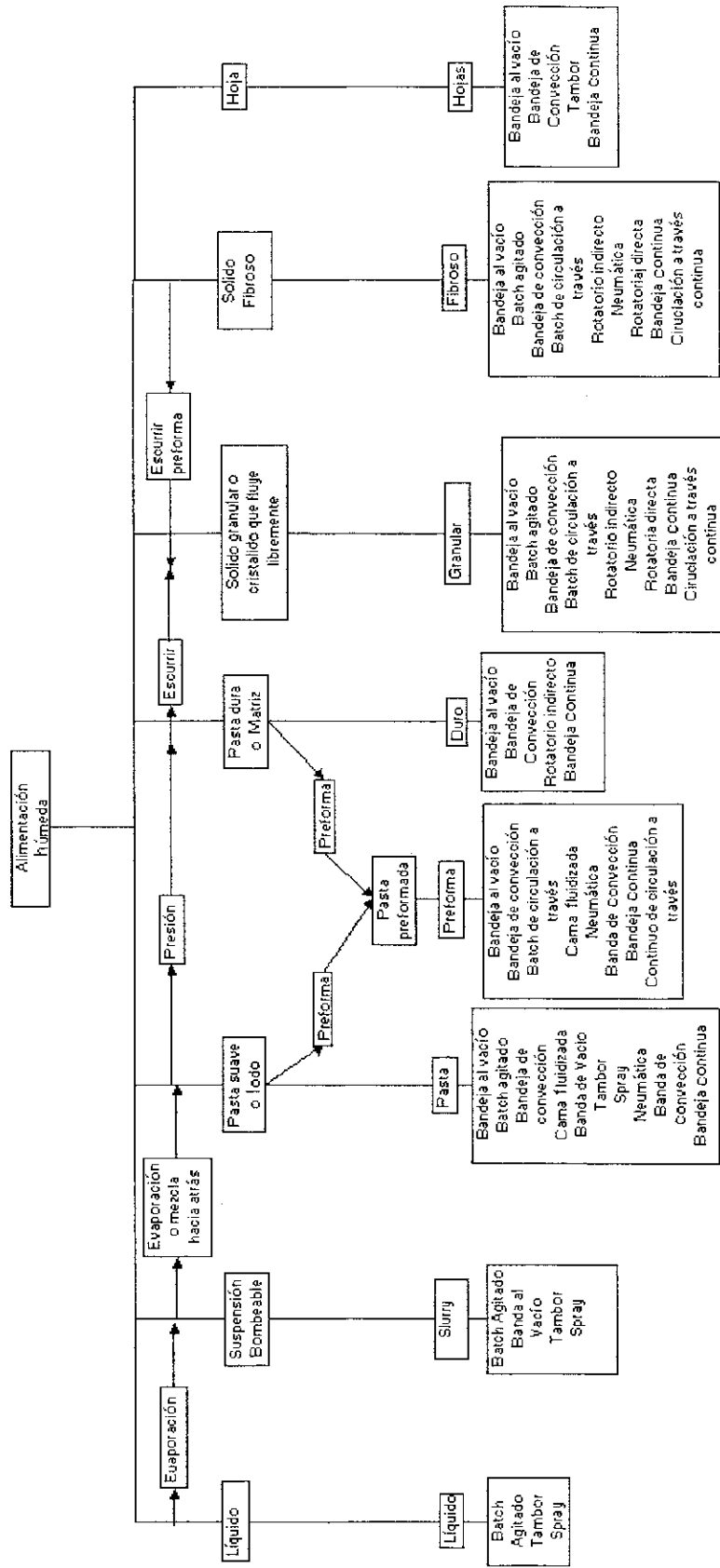


Figura 36. Diagrama de bloques de selección de secador por tipo de sólido

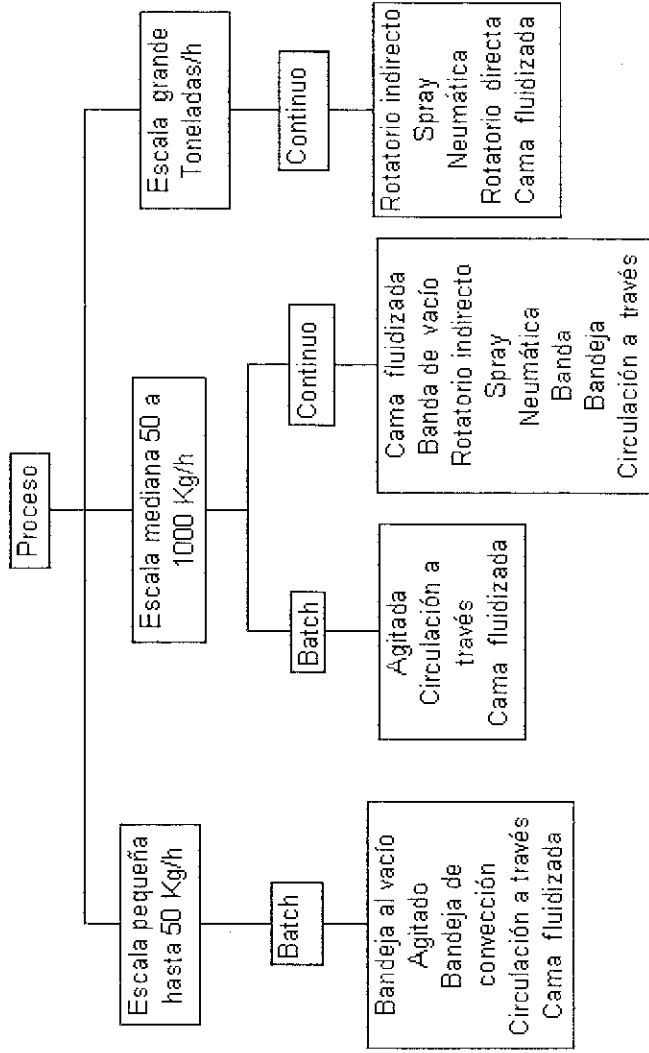


Figura 37. Diagrama de bloques de selección de secador por escaleta

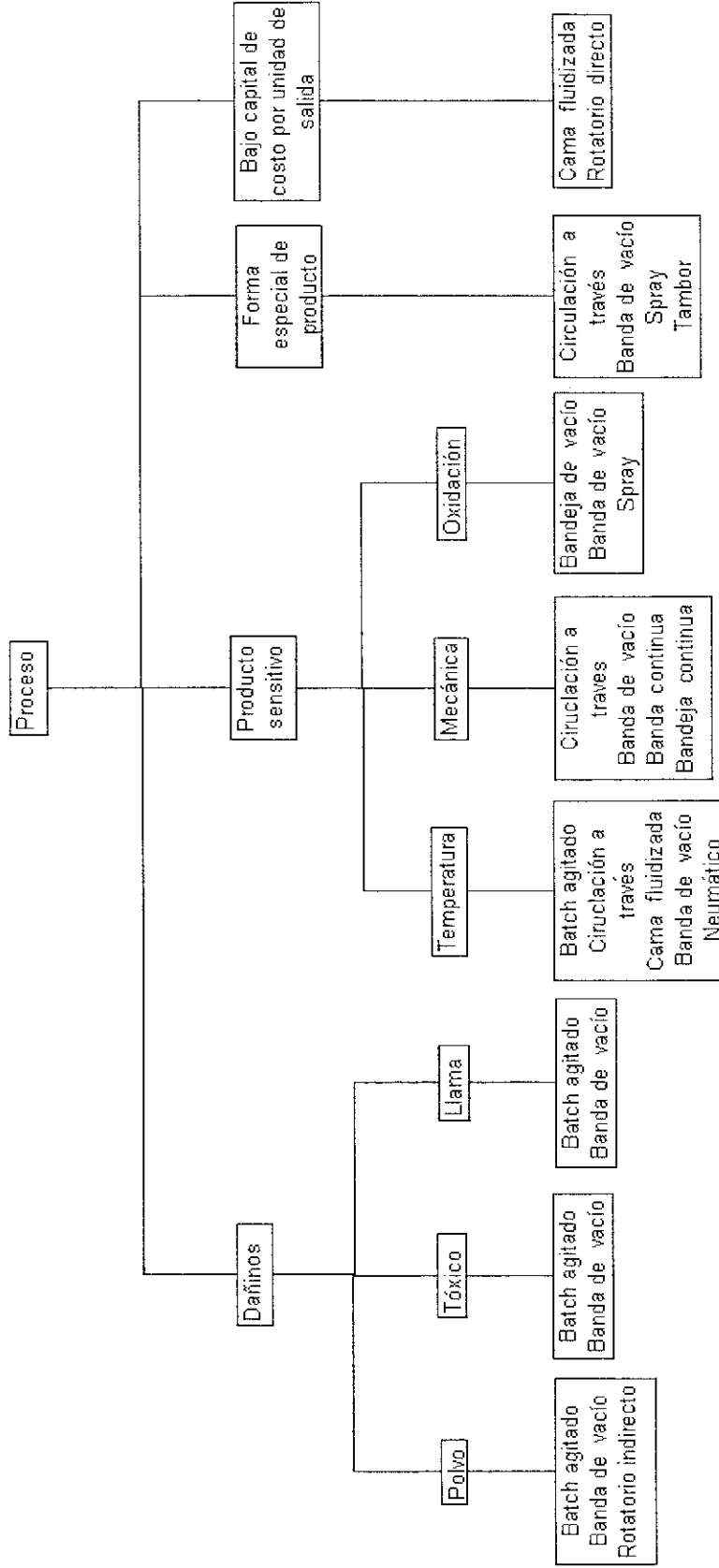


Figura 38. Diagrama de bloques de selección del secador por especificaciones del producto

### C. Diagrama de flujo del proceso para los balances de masa y energía

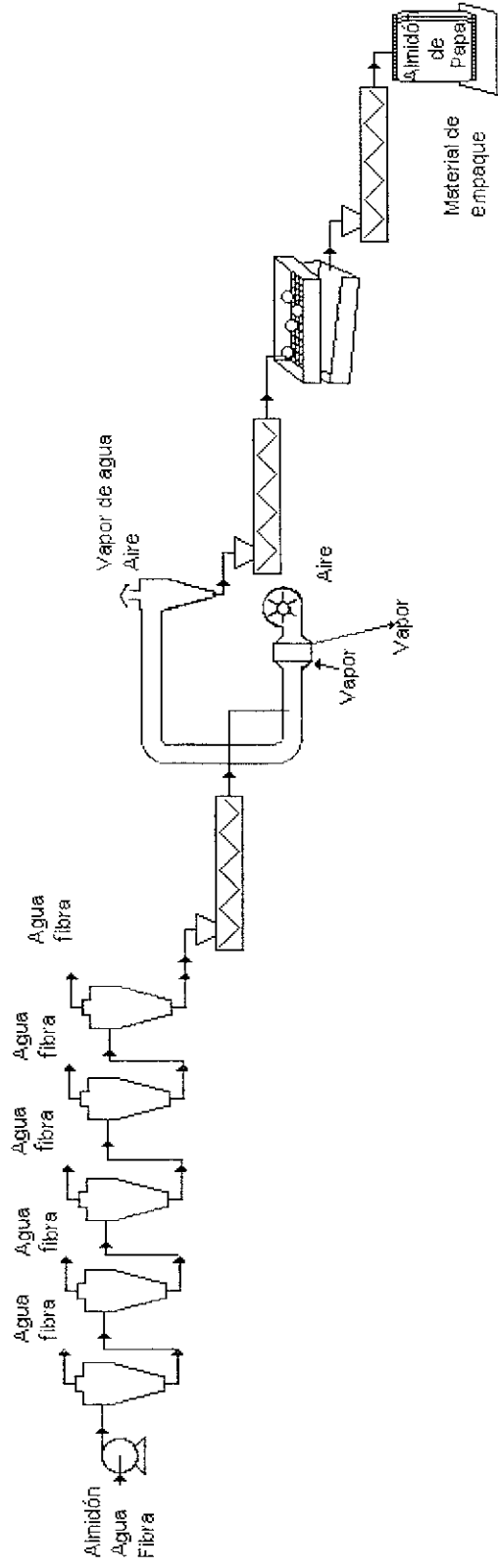


Figura 39. Balance de masa de la línea de recuperación de almidón

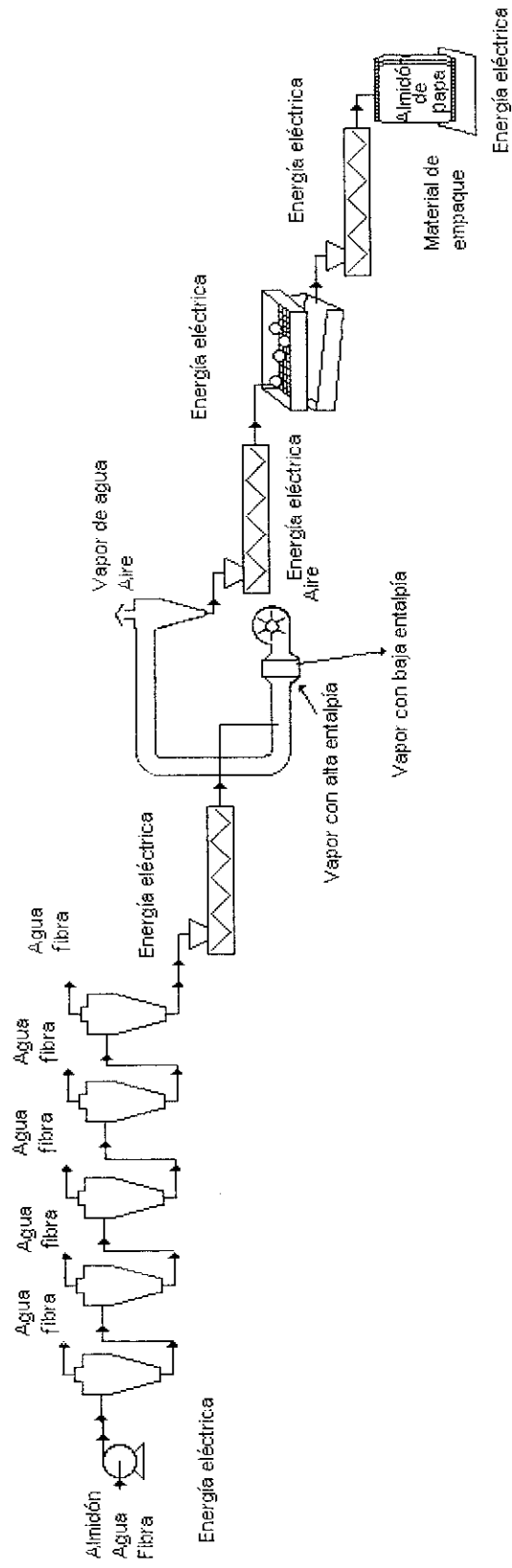


Figura 40. Diagrama de balance de energía de la línea de recuperación de almidón

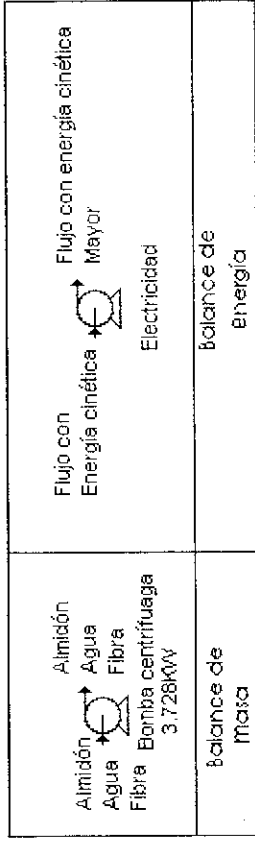


Figura 41. Balance de masa y energía de la bomba

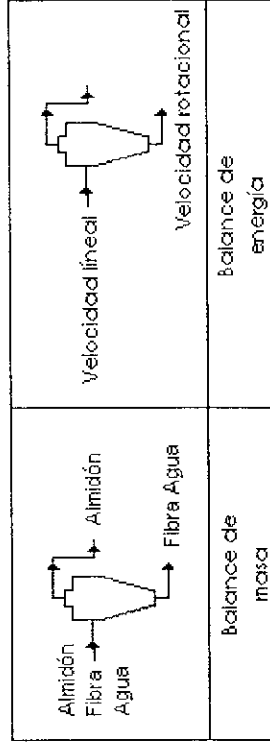


Figura 42. Balance de masa y energía de hidroción

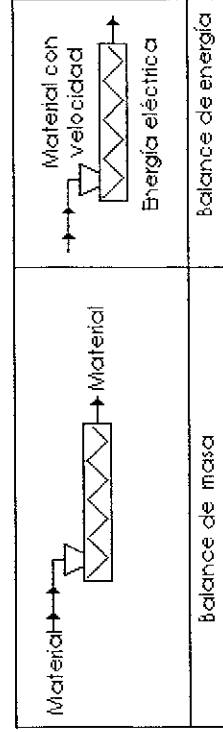


Figura 43. Balance de masa y energía del tornillo sin fin

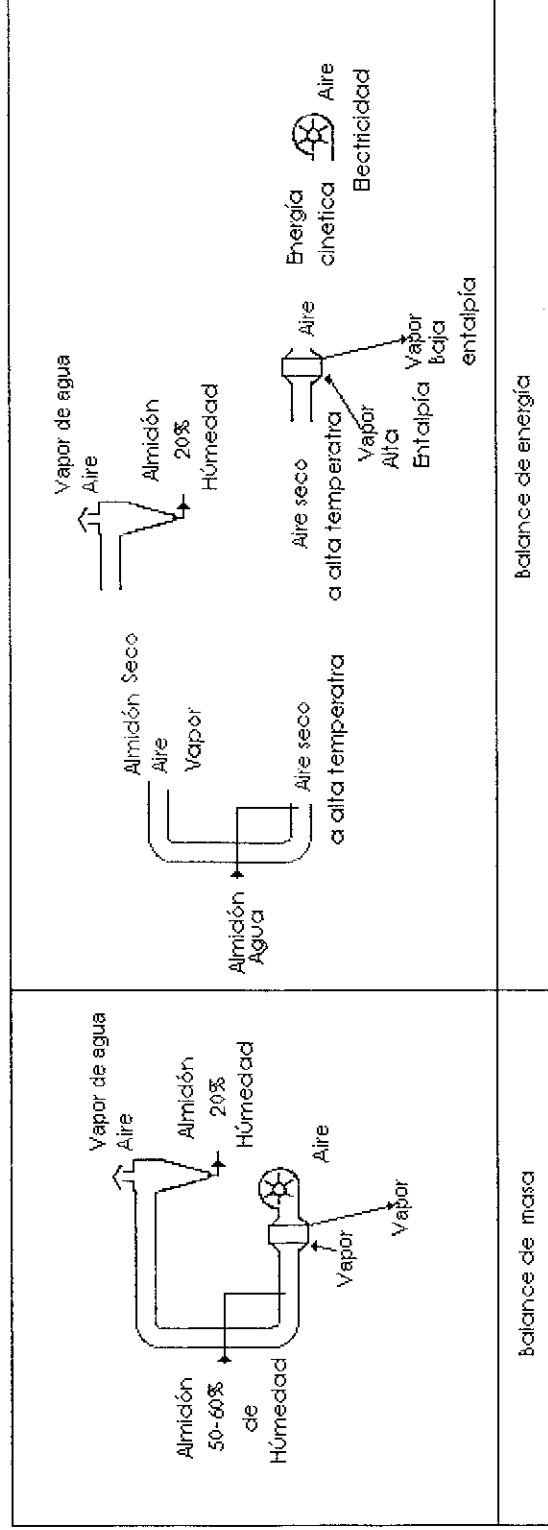


Figura 44. Balance de masa y energía de secado

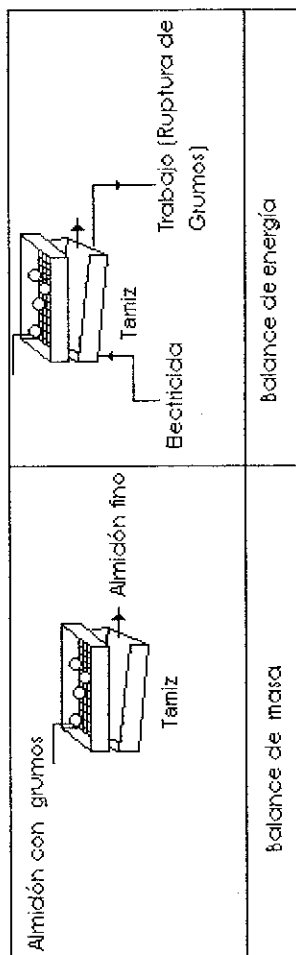


Figura 45. Diagrama de balance de masa y energía del tamiz

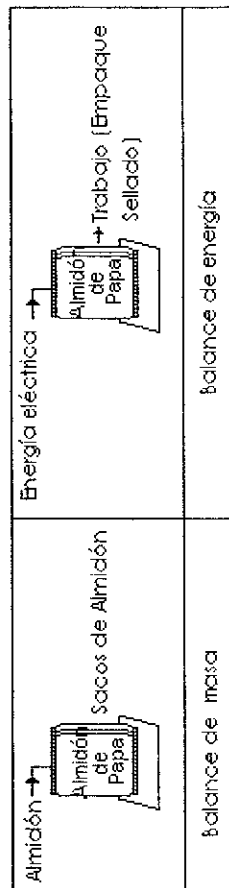


Figura 46. Diagrama de balance de masa y energía del empaque

### D. Distribución de la planta antes y después de añadir la línea de recuperación de almidón

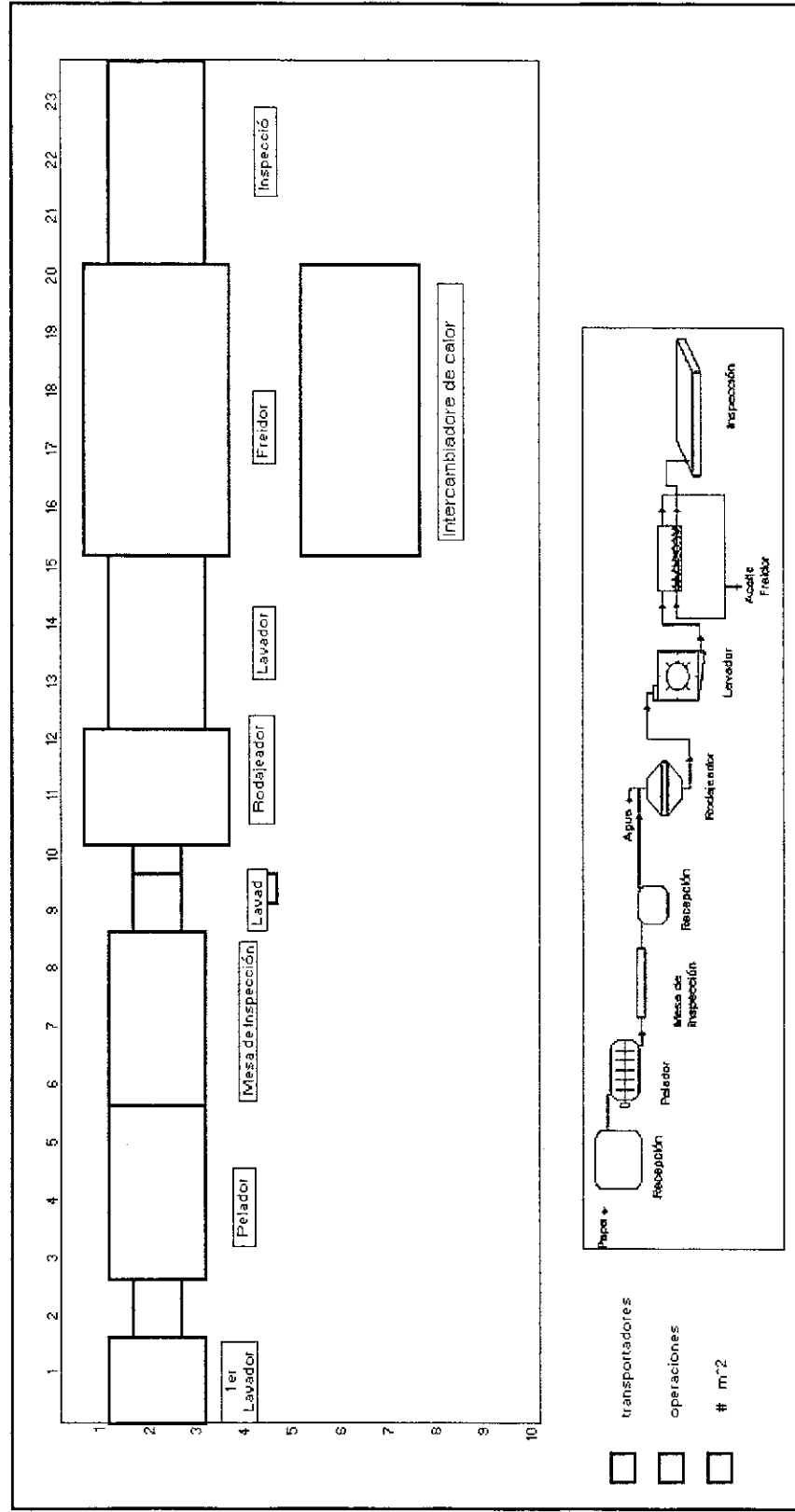


Figura 47. Diagrama de distribución antes de instalar la línea de recuperación de Almidón



## E. Costo

### 1. Maquinaria

Tabla 2. Costos para una línea de producción de 500 kg de almidón por hora.

| Equipo                            | Cantidad | GTQ/c/u | GTQ    | Año  | expone<br>nte para el<br>equipo x |
|-----------------------------------|----------|---------|--------|------|-----------------------------------|
| Bomba transportadora 3.728 KW     | 1        | 2,370   | 2,370  | 1950 | 0.52                              |
| Transportadores de tornillo (3)   | 3        | 5,530   | 16,590 | 1950 | 0.5                               |
| Ventilador para secador           | 1        | 6,320   | 6,320  | 1950 | 0.68                              |
| Intercambiador de calor de aletas | 1        | 56,880  | 56,880 | 1950 | 0.41                              |
| Ciclón                            | 1        | 1,580   | 1,580  | 1950 | 0.61                              |
| Tamiz vibratorio                  | 1        | 11,060  | 11,060 | 1950 | 0.65                              |
| Balanza de empaque                | 1        | 2,370   | 2,370  | 1950 | 0.68                              |

**Tabla 3 Costos de maquinaria actuales para procesar los 46 kg / h de almidón que desecha la fábrica de productos alimenticios Rene.**

| Equipo                                   | Cantidad | COSTO (GTQ) |
|--|----------|-------------|
| Bomba transportadora 5 Hp                | 1        | 3,428.13    |
| Batería de 5 hidrociclones               | 1        | 98,750.00   |
| Transportadores de tornillo (3)          | 3        | 24,276.54   |
| Ventilador para secador                  | 1        | 8,332.05    |
| Intercambiador de calor de aletas        | 1        | 87,690.40   |
| Ducto que conduce el almidón             | 1        | 7,722.96    |
| Ciclón                                   | 1        | 3,950.00    |
| Tamizador vibratorio                     | 1        | 14,836.83   |
| Balanza de empaque                       | 1        | 3,124.53    |
| Selladora de bolsas (coseadora de sacos) | 1        | 2,370.00    |
|  | Total    | 254,481.36  |

**Tabla 4. Costos variables anuales en Quetzales**

| Materia prima                   | No se invertirá en materia prima |
|---------------------------------|----------------------------------|
| Cloro                           | 5,925.00                         |
| Material de empaque             |                                  |
| Bolsas de papel Kraft multicapa | 5,416.46                         |
| Material auxiliar               | 1,354.12                         |
| Mano de obra directa            | 94,800.00                        |
| Prestaciones laborales          | 39,019.68                        |
| Transporte                      | 94,800.00                        |
| Mantenimiento industrial        | 9,521.68                         |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| Lubricantes y combustibles | 592.50     |
| Servicios industriales     | 0.00       |
| Electricidad               | 29,901.60  |
| Teléfono                   | 790.00     |
| Vapor                      | 44,852.40  |
| Otros                      | 14,950.80  |
| Costo variable anual       | 341,924.24 |

**Tabla 5. Costos fijos anuales en Quetzales**

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Mano de obra indirecta       | No se contratará personal administrativo |
| Prestaciones laborales       | -  |
| Mantenimiento administrativo | -  |
| Servicios administrativos    | -  |
| Electricidad                 | -  |
| Teléfono                     | -  |
| Agua                         | -  |
| Costo fijo anual             |  |

**Tabla 6. Gastos de venta anuales en Quetzales**

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| Sueldos base de vendedores | 47,400.00 |
| Prestaciones laborales     | 19,509.84 |
| Gasto de venta anual       | 66,909.84 |

## 2. Ingresos

**Tabla 7. Ingresos por ventas anuales en Quetzales**

|                    |              |
|--------------------|--------------|
| Ingresos por venta | 1,338,184.66 |
|--------------------|--------------|

F. Flujos de caja

Tabla 8. Flujo de caja sin préstamo

| ANO                        | 0                | 1               | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                | 8                | 9                | 10               |
|----------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Activo                     |                  |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Instalación                | -32.212,83       |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Reparación                 |                  |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Ingresos                   | 0,00             | 169.390,46      | 169.390,46       | 169.390,46       | 169.390,46       | 169.390,46       | 169.390,46       | 169.390,46       | 169.390,46       | 169.390,46       | 169.390,46       |
| Costos                     |                  | -51.751,15      | -51.751,15       | -51.751,15       | -51.751,15       | -51.751,15       | -51.751,15       | -51.751,15       | -51.751,15       | -51.751,15       | -51.751,15       |
| Gradiente                  |                  |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Valor de Salvamento        |                  |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Interés del Préstamo       |                  | 0,00            | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| Depreciación               |                  | -3.221,28       | -3.221,28        | -3.221,28        | -3.221,28        | -3.221,28        | -3.221,28        | -3.221,28        | -3.221,28        | -3.221,28        | -3.221,28        |
| Utilidad Imponible         | -32.212,83       | 114.418,03      | 114.418,03       | 114.418,03       | 114.418,03       | 114.418,03       | 114.418,03       | 114.418,03       | 114.418,03       | 114.418,03       | 114.418,03       |
| Impuestos                  | 0,00             | 35.469,59       | 35.469,59        | 35.469,59        | 35.469,59        | 35.469,59        | 35.469,59        | 35.469,59        | 35.469,59        | 35.469,59        | 35.469,59        |
| Utilidad                   | -32.212,83       | 78.948,44       | 78.948,44        | 78.948,44        | 78.948,44        | 78.948,44        | 78.948,44        | 78.948,44        | 78.948,44        | 78.948,44        | 78.948,44        |
| Cuenta de préstamo         |                  | 0,00            | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| Depreciación               |                  | 3.221,28        | 3.221,28         | 3.221,28         | 3.221,28         | 3.221,28         | 3.221,28         | 3.221,28         | 3.221,28         | 3.221,28         | 3.221,28         |
| <b>Flujo desp. de imp.</b> | <b>-32.212,8</b> | <b>82.169,7</b> | <b>82.169,7</b>  | <b>82.169,7</b>  | <b>82.169,7</b>  | <b>82.169,7</b>  | <b>82.169,7</b>  | <b>82.169,7</b>  | <b>82.169,7</b>  | <b>82.169,7</b>  | <b>82.169,7</b>  |
| <b>Tiempo de Retorno</b>   | <b>-32.212,8</b> | <b>49.956,9</b> | <b>132.126,6</b> | <b>214.296,3</b> | <b>296.466,1</b> | <b>378.635,8</b> | <b>460.805,5</b> | <b>542.975,2</b> | <b>625.145,0</b> | <b>707.314,7</b> | <b>789.484,4</b> |

Tabla 9. Flujo de caja tomando un préstamo a 10 años de la mitad de la inversión con un interés de 18%

| ANIO                       | 0            | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            | 7            | 8            | 9            | 10           |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Activo                     |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| Instalación                | -32,212,83   |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| Reparación                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| Ingresos                   | \$16,106,42  | \$16,339,46  | \$16,339,46  | \$16,339,46  | \$16,339,46  | \$16,339,46  | \$16,339,46  | \$16,339,46  | \$16,339,46  | \$16,339,46  | \$16,339,46  |
| Costos                     |              | -\$51,751,15 | -\$51,751,15 | -\$51,751,15 | -\$51,751,15 | -\$51,751,15 | -\$51,751,15 | -\$51,751,15 | -\$51,751,15 | -\$51,751,15 | -\$51,751,15 |
| Gradiente                  |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| Valor de Salvamento        |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | \$110,00     |
| Interés del Préstamo       |              | -\$2,853,15  | -\$2,609,24  | -\$2,319,32  | -\$2,028,41  | -\$1,733,49  | -\$1,443,58  | -\$1,155,66  | -\$869,75    | -\$579,83    | -\$289,92    |
| Depreciación               |              | -\$9,00      | -\$9,00      | -\$9,00      | -\$9,00      | -\$9,00      | -\$9,00      | -\$9,00      | -\$9,00      | -\$9,00      | -\$9,00      |
| Utilidad Imponible         | -\$16,106,42 | \$14,731,16  | \$15,021,01  | \$15,310,99  | \$15,600,91  | \$15,890,82  | \$16,180,74  | \$16,470,65  | \$16,760,57  | \$17,050,48  | \$17,450,40  |
| Impuestos                  | \$0,00       | \$35,366,66  | \$35,656,53  | \$35,746,41  | \$35,836,28  | \$35,926,15  | \$36,016,03  | \$36,105,90  | \$36,195,78  | \$36,285,65  | \$36,409,62  |
| Utilidad                   | -\$16,106,42 | \$19,164,50  | \$19,364,54  | \$19,564,58  | \$19,764,62  | \$19,964,67  | \$20,164,71  | \$20,364,75  | \$20,564,79  | \$20,764,83  | \$21,040,78  |
| Costo de préstamo          |              | -\$1,610,64  | -\$1,610,64  | -\$1,610,64  | -\$1,610,64  | -\$1,610,64  | -\$1,610,64  | -\$1,610,64  | -\$1,610,64  | -\$1,610,64  | -\$1,610,64  |
| Depreciación               |              | \$9,00       | \$9,00       | \$9,00       | \$9,00       | \$9,00       | \$9,00       | \$9,00       | \$9,00       | \$9,00       | \$9,00       |
| <b>Flujo desp. de imp.</b> | -16,106,4    | 77,562,9     | 77,762,3     | 77,962,9     | 78,163,0     | 78,363,0     | 78,563,1     | 78,763,1     | 78,963,2     | 79,163,2     | 79,439,1     |
| <b>Tiempo de Retorno</b>   | -16,106,4    | 61,456,4     | 139,219,3    | 217,182,3    | 295,345,3    | 373,708,3    | 452,271,4    | 531,034,5    | 609,997,6    | 689,160,8    | 768,599,9    |

Tabla 10. Flujo de caja tomando un préstamo a 10 años de el total de la inversión con un interés de 18%

| ANIO                 | 0           | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7              | 8              | 9              | 10             |
|----------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Activo               |             |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Instalación          | -254.481,40 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Reparación           |             |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Ingresos             | 254.481,40  | \$1.338.184,70 | \$1.338.184,70 | \$1.338.184,70 | \$1.338.184,70 | \$1.338.184,70 | \$1.338.184,70 | \$1.338.184,70 | \$1.338.184,70 | \$1.338.184,70 | \$1.338.184,70 |
| Costos               |             | -4408.834,10   | -4408.834,10   | -4408.834,10   | -4408.834,10   | -4408.834,10   | -4408.834,10   | -4408.834,10   | -4408.834,10   | -4408.834,10   | -4408.834,10   |
| Gradiente            |             |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Valor de Salvamento  |             |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| Interés del Préstamo |             | -145.805,65    | -141.225,99    | -136.645,32    | -132.064,66    | -127.483,99    | -122.903,33    | -118.322,66    | -113.742,00    | -109.161,33    | -14.580,67     |
| Depreciación         |             | -225.448,10    | -225.448,10    | -225.448,10    | -225.448,10    | -225.448,10    | -225.448,10    | -225.448,10    | -225.448,10    | -225.448,10    | -225.448,10    |
| Utilidad Imponible   | 0,00        | 656.095,85     | 662.676,51     | 667.257,16     | 671.837,84     | 676.418,51     | 680.999,17     | 685.579,84     | 690.160,50     | 694.741,17     | 699.321,83     |
| Impuestos            | 0,00        | 256.009,71     | 267.429,72     | 268.849,73     | 270.269,73     | 271.689,74     | 273.109,74     | 274.529,75     | 275.949,76     | 277.369,76     | 278.789,77     |
| Utilidad             | 0,00        | 392.086,14     | 395.246,79     | 398.407,43     | 401.568,11     | 404.728,77     | 407.889,43     | 411.050,09     | 414.210,75     | 417.371,41     | 420.532,07     |
| Cuentas de préstamo  |             | -225.448,14    | -225.448,14    | -225.448,14    | -225.448,14    | -225.448,14    | -225.448,14    | -225.448,14    | -225.448,14    | -225.448,14    | -225.448,14    |
| Depreciación         |             | 225.448,10     | 225.448,10     | 225.448,10     | 225.448,10     | 225.448,10     | 225.448,10     | 225.448,10     | 225.448,10     | 225.448,10     | 225.448,10     |
| Flujo desp. de imp.  | 0,0         | 392.086,1      | 395.246,8      | 398.407,4      | 401.568,1      | 404.728,7      | 407.889,4      | 411.050,0      | 414.210,7      | 417.371,4      | 420.532,0      |
| Tiempo de Retorno    | 0,0         | 392.086,1      | 1.167.332,8    | 1.785.740,3    | 2.387.308,3    | 2.992.037,1    | 3.599.926,5    | 4.210.376,5    | 4.825.167,2    | 5.442.558,6    | 6.063.050,6    |

## G. Resultados del análisis económico

**Tabla 11. Resultados del análisis económico sin préstamo**

|             |                |
|-------------|----------------|
| TIR         | 255.08%        |
| TMAR        | 25.00%         |
| V. Presente | Q 2,063,278.06 |
| CAUE        | Q 577,867.57   |

**Tabla 12. Resultados del análisis económico con un préstamo a 10 años de la mitad de la inversión con 18% de interés.**

|             |                |
|-------------|----------------|
| TIR         | 488.00%        |
| TMAR        | 25.00%         |
| V. Presente | Q 2,104,508.91 |
| CAUE        | Q 589,415.20   |

**Tabla 13. Resultados del análisis económico con un préstamo a 10 años de el total de la inversión inicial con 18% de interés.**

|             |                |
|-------------|----------------|
| TMAR        | 25.00%         |
| V. Presente | Q 2,407,341.75 |
| CAUE        | Q 674,230.37   |

(No se calculó el TIR ya que al no haber ningún flujo de caja negativo, este tiende a Infinito)

### H. Tiempo de recuperación de la inversión

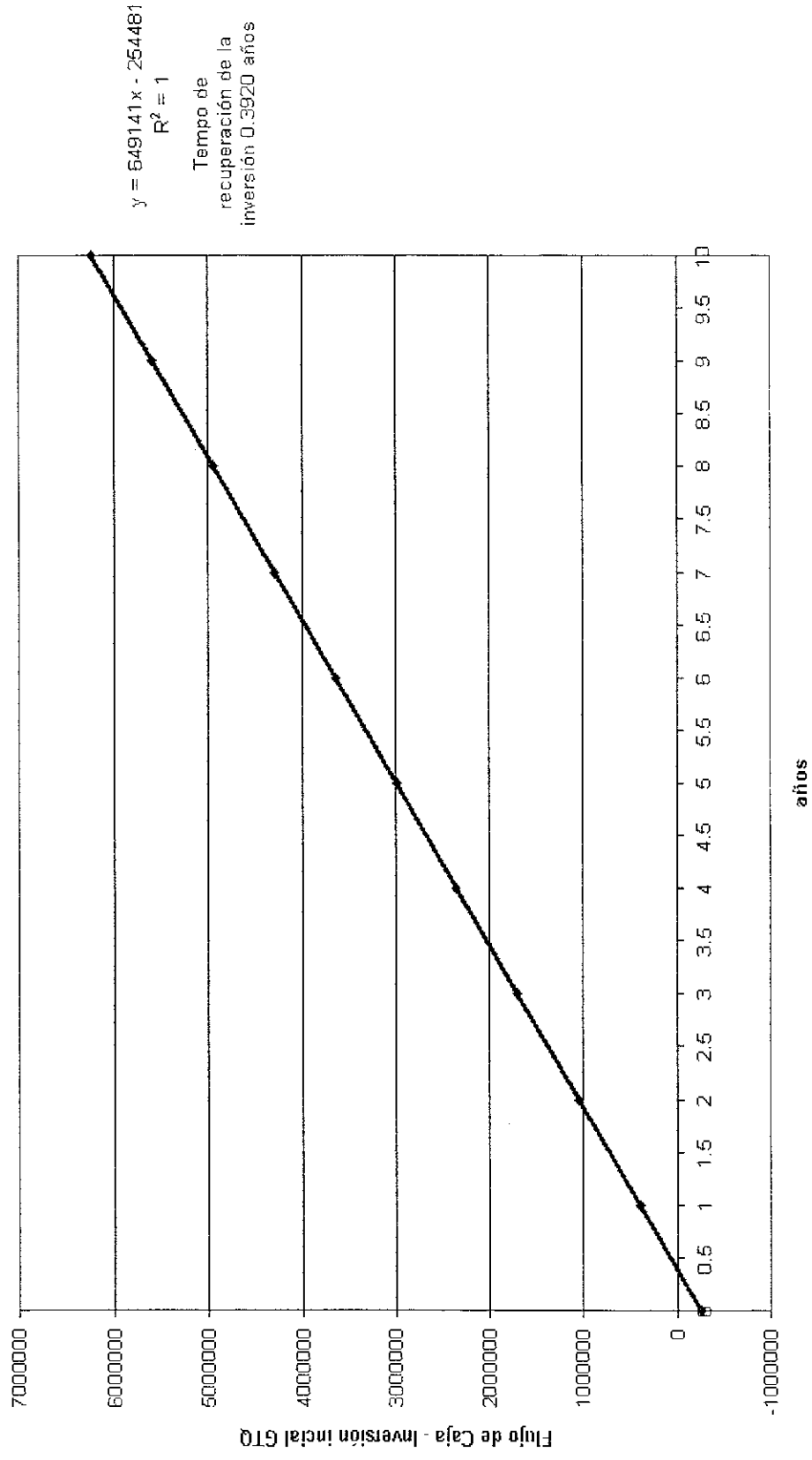
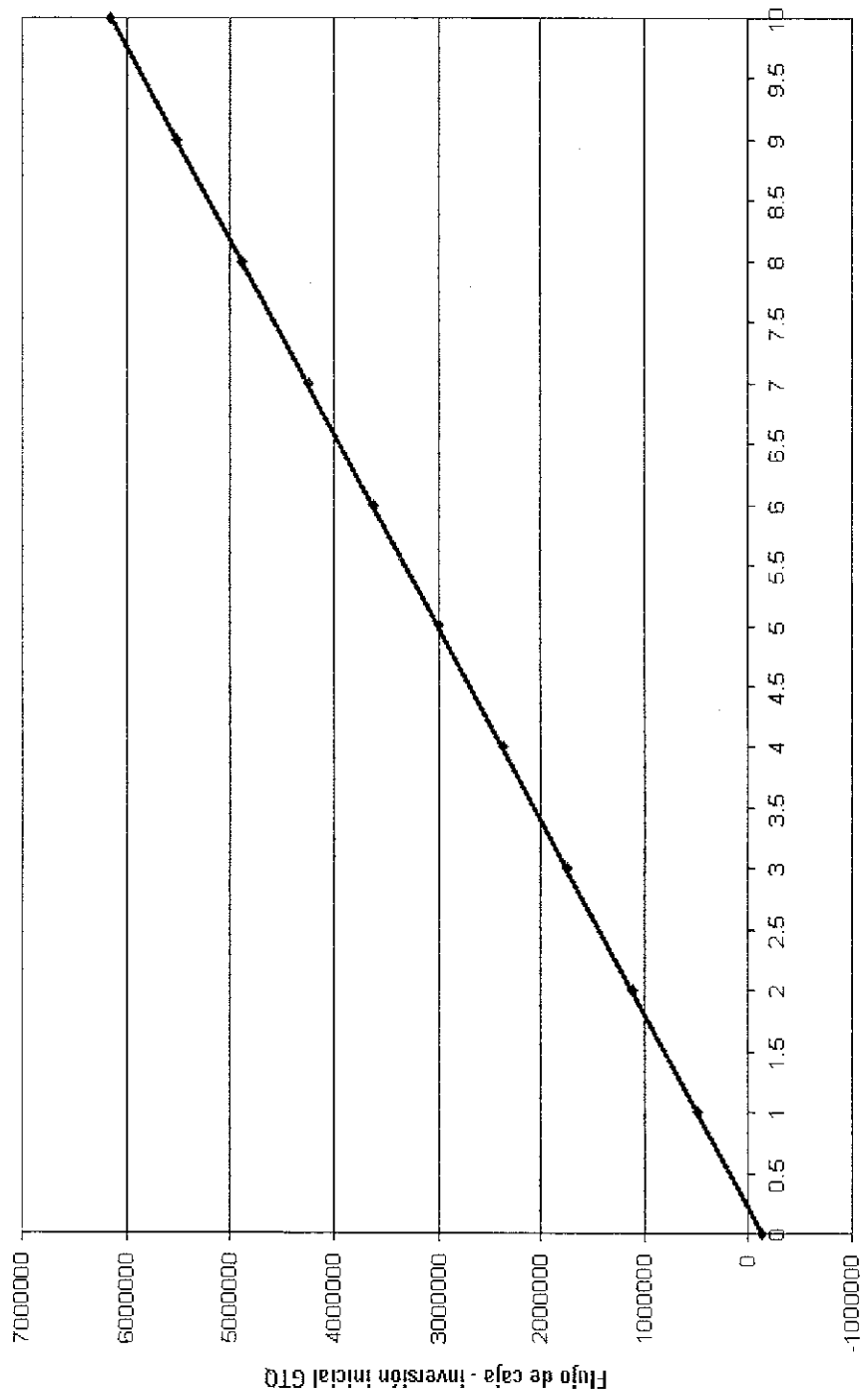


Figura49. Tiempo de recuperación de la inversión sin préstamo



Tiempo de  
recuperación de la  
inversión 0.2217  
años

$y = 627752x - 139175$   
 $R^2 = 1$

Figura 50. Tiempo de recuperación de la inversión con un préstamo a 10 años de la mitad de la inversión con una tasa de interés de .18%

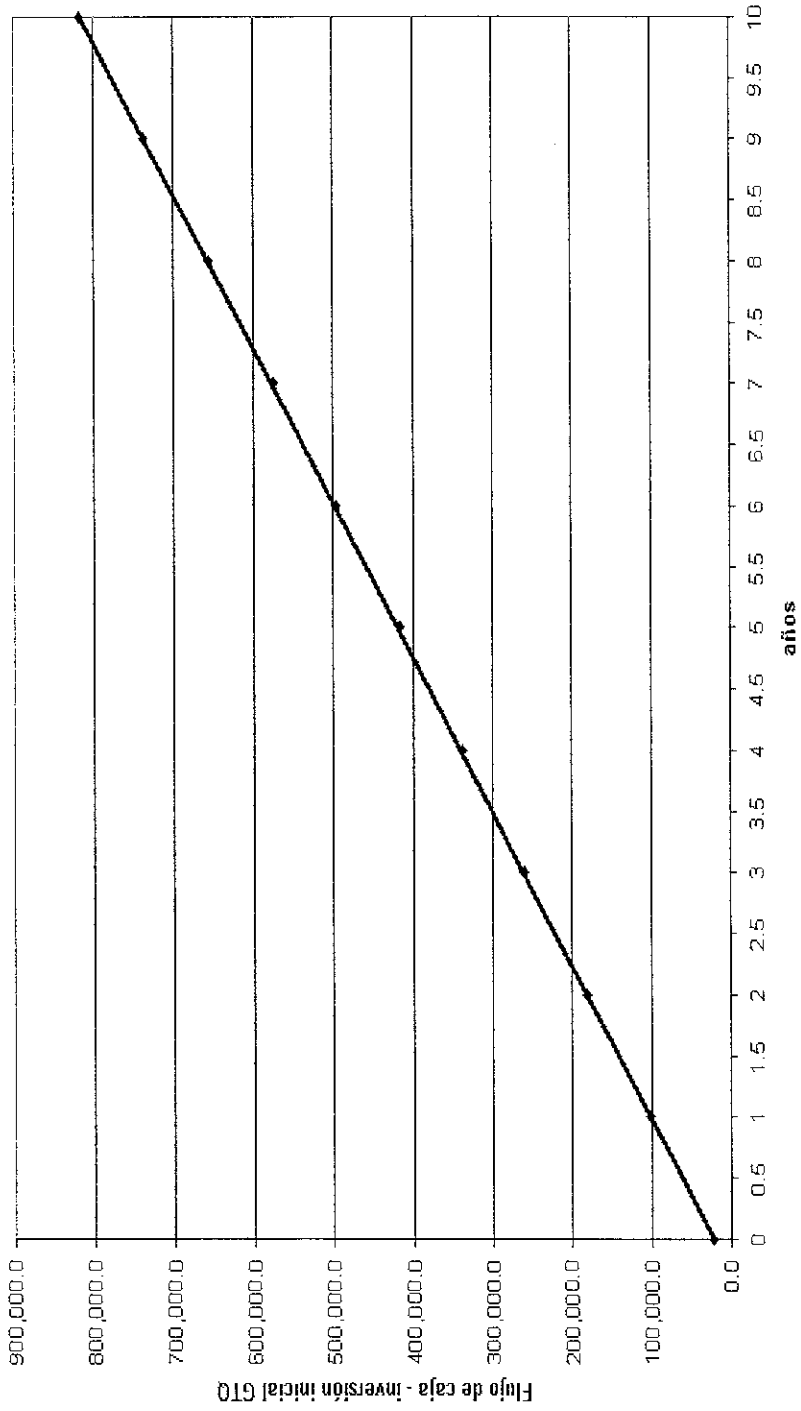


Figura 51. Tiempo de recuperación de la inversión con un préstamo a 10 años de el total de la inversión con una tasa de interés de .18%

## I. Datos obtenidos de la línea de fábricas de productos alimenticios Rene

Tabla 14. Datos originales

| Muestra | Tiempo (±0.5 s) | Valumen (±50 mL) | Flujo de Agua en radajeadora (±1 LPM) | Flujo de agua en lavadora (± 1LPM) | Flujo de papa (±10 kg/h) | Grasar de papa (±0.05cm) | Lote de papa | Tara tuba de centrifuga (±0.1g) | Masa final (±0.1g) | Valumen (±0.1 mL) |
|---------|-----------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|
| 1       | 2.06            | 4150             | 13.2                                  | 128.7                              | 270                      | 1.346                    | 2-00485      | 5.1                             | 5.8                | 10                |
| 2       | 1.93            | 4800             | 9.5                                   | 166.6                              | 350                      | 0.277                    | 2-00484      | 5.6                             | 5.7                | 10                |
| 3       | 2               | 4200             | 7.6                                   | 177.9                              | 250                      | 0.277                    | 2-00486      | 5.4                             | 5.8                | 10                |
| 4       | 1.82            | 3500             | 9.5                                   | 98.4                               | 200                      | 0.135                    | 2-00487      | 5.4                             | 5.5                | 10                |
| 5       | 2.21            | 3500             | 11.4                                  | 174.1                              | 225                      | 0.135                    | 2-00482      | 6.3                             | 6.4                | 10                |
| 6       | 1.77            | 3400             | 11.4                                  | 143.8                              | 340                      | 0.135                    | 2-00563      | 6.3                             | 6.8                | 10                |
| 7       | 1.8             | 3400             | 9.5                                   | 94.6                               | 340                      | 0.277                    | 2-00565      | 6.3                             | 6.9                | 10                |
| 8       | 2.07            | 4400             | 11.4                                  | 155.2                              | 320                      | 0.135                    | 2-0567       | 6.3                             | 7.1                | 10                |
| 9       | 2.1             | 4400             | 15.1                                  | 189.3                              | 260                      | 0.135                    | 2-00567      | 5.9                             | 6.3                | 10                |
| 10      | 1.71            | 5000             | 11.4                                  | 185.5                              | 270                      | 1.346                    | 2-00566      | 5.6                             | 5.7                | 10                |
| 11      | 2.24            | 4700             | 11.4                                  | 132.5                              | 250                      | 1.346                    | 2-00583      | 5.8                             | 6.8                | 10                |
| 12      | 1.88            | 3700             | 13.2                                  | 177.9                              | 320                      | 0.135                    | 2-00582      | 5.8                             | 6.6                | 10                |
| 13      | 1.94            | 4500             | 11.4                                  | 151.4                              | 300                      | 0.135                    | 2-00617      | 5.4                             | 6.5                | 10                |
| 14      | 2.03            | 4400             | 11.4                                  | 136.3                              | 300                      | 2.817                    | 2-00564      | 6.3                             | 6.8                | 10                |
| 15      | 1.81            | 4400             | 11.4                                  | 189.3                              | 250                      | 0.135                    | 2-00576      | 5.4                             | 5.6                | 10                |
| 16      | 1.88            | 4400             | 7.6                                   | 143.8                              | 250                      | 0.135                    | 2-00618      | 5.8                             | 5.9                | 10                |
| 17      | 1.87            | 2900             | 9.5                                   | 132.5                              | 250                      | 0.277                    | 2-00577      | 5.8                             | 6.3                | 10                |
| 18      | 1.45            | 4300             | 9.5                                   | 102.2                              | 300                      | 0.135                    | 2-00577      | 6.3                             | 6.4                | 10                |
| 19      | 1.66            | 4400             | 9.5                                   | 113.6                              | 200                      | 0.135                    | 2-00765      | 5.6                             | 5.7                | 10                |
| 20      | 2.12            | 4300             | 11.4                                  | 113.6                              | 330                      | 0.277                    | 2-00767      | 5.1                             | 5.4                | 10                |
| 21      | 2.23            | 3900             | 3.8                                   | 109.8                              | 230                      | 0.135                    | 2-00837      | 6.3                             | 6.4                | 10                |
| 22      | 2.15            | 3800             | 7.6                                   | 94.6                               | 300                      | 0.277                    | 2-00810      | 5.9                             | 6                  | 10                |
| 23      | 1.85            | 3500             | 9.5                                   | 53.0                               | 360                      | 0.277                    | 2-00875      | 6.1                             | 6.2                | 10                |
| 24      | 2.34            | 4400             | 7.6                                   | 45.4                               | 320                      | 0.277                    | 2-00907      | 5.6                             | 5.8                | 10                |
| 25      | 1.66            | 3600             | 11.4                                  | 102.2                              | 454                      | 0.277                    | 2-00929      | 5.6                             | 6.6                | 10                |

|    |      |      |      |       |     |       |         |     |     |    |
|----|------|------|------|-------|-----|-------|---------|-----|-----|----|
| 26 | 2.15 | 3800 | 7.6  | 94.6  | 300 | 0.277 | 2-00896 | 5.1 | 5.6 | 10 |
| 27 | 1.94 | 4400 | 7.6  | 162.8 | 250 | 0.135 | 2-00930 | 5.4 | 5.6 | 10 |
| 28 | 2.3  | 4400 | 11.4 | 113.6 | 400 | 0.277 | 2-00967 | 5.8 | 5.9 | 10 |
| 29 | 1.82 | 2500 | 11.4 | 53.0  | 400 | 0.277 | 2-00984 | 6.3 | 6.4 | 10 |
| 30 | 2.04 | 2100 | 11.4 | 37.9  | 300 | 0.277 | 2-00968 | 5.5 | 5.9 | 10 |
| 31 | 1.88 | 3100 | 7.6  | 53.0  | 454 | 0.277 | 2-00971 | 5.9 | 6.7 | 10 |
| 32 | 2.06 | 4000 | 7.6  | 34.1  | 400 | 0.135 | 2-01055 | 6.6 | 6.8 | 10 |
| 33 | 1.82 | 4400 | 7.6  | 64.4  | 250 | 0.135 | 2-01085 | 5.1 | 5.2 | 10 |
| 34 | 1.99 | 3100 | 7.6  | 53.0  | 454 | 0.277 | 2-01075 | 5.4 | 6.0 | 10 |
| 35 | 1.89 | 4000 | 7.6  | 56.8  | 400 | 0.135 | 2-01035 | 5.8 | 6.3 | 10 |
| 36 | 1.77 | 2700 | 9.5  | 53.0  | 250 | 0.135 | 2-01046 | 6.3 | 6.7 | 10 |
| 37 | 2.17 | 3100 | 7.6  | 60.6  | 300 | 0.277 | 2-01157 | 5.5 | 5.6 | 10 |
| 38 | 2.18 | 4000 | 7.6  | 68.1  | 250 | 0.135 | 2-01179 | 5.6 | 6.2 | 10 |
| 39 | 2.04 | 4200 | 7.6  | 56.8  | 375 | 0.277 | 2-01181 | 5.1 | 5.5 | 10 |
| 40 | 2.27 | 3000 | 3.8  | 53.0  | 420 | 0.277 | 2-01189 | 6.1 | 6.4 | 10 |
| 41 | 2.2  | 4000 | 11.4 | 83.3  | 250 | 0.140 | 2-01039 | 6.3 | 6.6 | 10 |
| 42 | 2.21 | 4500 | 7.6  | 56.8  | 250 | 0.140 | 2-01187 | 5.6 | 6.2 | 10 |
| 43 | 1.63 | 4300 | 7.6  | 45.4  | 400 | 0.127 | 2-01229 | 5.3 | 5.8 | 10 |
| 44 | 1.93 | 3300 | 7.6  | 53.0  | 350 | 0.277 | 2-01222 | 6.3 | 6.7 | 10 |
| 45 | 2.09 | 2500 | 7.6  | 49.2  | 454 | 0.272 | 2-01157 | 5.1 | 5.2 | 10 |
| 46 | 2.1  | 4100 | 7.6  | 49.2  | 300 | 0.135 | 2-01258 | 5.3 | 5.4 | 10 |
| 47 | 1.88 | 3200 | 7.6  | 37.9  | 200 | 0.135 | 2-01258 | 5.2 | 5.3 | 10 |
| 48 | 1.78 | 2300 | 11.4 | 56.8  | 454 | 0.272 | 2-01255 | 6.1 | 6.7 | 10 |
| 49 | 1.88 | 3700 | 7.6  | 94.6  | 350 | 0.130 | 3-00003 | 5.5 | 5.6 | 10 |
| 50 | 1.97 | 3200 | 7.6  | 87.1  | 250 | 0.135 | 3-00028 | 5.6 | 5.7 | 10 |
| 51 | 1.61 | 3400 | 9.5  | 94.6  | 454 | 0.130 | 3-00002 | 5.1 | 5.8 | 10 |
| 52 | 2.24 | 3600 | 7.6  | 106.0 | 454 | 0.277 | 3-00040 | 5.4 | 5.5 | 10 |

Tabla 15. Datos originales

| fluo de salida de lavadora (mL/s) | Flujo de salida de lavadora (L/s) | Masa (g) | Masa/volumen (g/mL) | Gramas de almidón/s | Producción de almidón (Kg/h) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| 2014.56                           | 2.01                              | 0.70     | 0.07                | 141.02              | 507.67                       |
| 2487.05                           | 2.49                              | 0.10     | 0.01                | 24.87               | 89.53                        |
| 2100.00                           | 2.10                              | 0.40     | 0.04                | 84.00               | 302.40                       |
| 1923.08                           | 1.92                              | 0.10     | 0.01                | 19.23               | 69.23                        |
| 1583.71                           | 1.58                              | 0.10     | 0.01                | 15.84               | 57.01                        |
| 1920.90                           | 1.92                              | 0.50     | 0.05                | 96.05               | 345.76                       |
| 1888.89                           | 1.89                              | 0.60     | 0.15                | 283.33              | 1020.00                      |
| 2125.60                           | 2.13                              | 0.80     | 0.08                | 170.05              | 612.17                       |
| 2095.24                           | 2.10                              | 0.40     | 0.04                | 83.81               | 301.71                       |
| 2923.98                           | 2.92                              | 0.10     | 0.01                | 29.24               | 105.26                       |
| 2098.21                           | 2.10                              | 1.00     | 0.18                | 377.68              | 1359.64                      |
| 1968.09                           | 1.97                              | 0.80     | 0.08                | 157.45              | 566.81                       |
| 2319.59                           | 2.32                              | 1.10     | 0.11                | 255.15              | 918.56                       |
| 2167.49                           | 2.17                              | 0.50     | 0.05                | 108.37              | 390.15                       |
| 2430.94                           | 2.43                              | 0.20     | 0.02                | 48.62               | 175.03                       |
| 2340.43                           | 2.34                              | 0.10     | 0.01                | 23.40               | 84.26                        |
| 1550.80                           | 1.55                              | 0.50     | 0.05                | 77.54               | 279.14                       |
| 2965.52                           | 2.97                              | 0.10     | 0.01                | 29.66               | 106.76                       |
| 2650.60                           | 2.65                              | 0.10     | 0.01                | 26.51               | 95.42                        |
| 2028.30                           | 2.03                              | 0.30     | 0.03                | 60.85               | 219.06                       |
| 1748.88                           | 1.75                              | 0.10     | 0.01                | 17.49               | 62.96                        |
| 1767.44                           | 1.77                              | 0.10     | 0.01                | 17.67               | 63.63                        |
| 1891.89                           | 1.89                              | 0.10     | 0.01                | 18.92               | 68.11                        |
| 1880.34                           | 1.88                              | 0.20     | 0.02                | 37.61               | 135.38                       |
| 2168.67                           | 2.17                              | 1.01     | 0.10                | 218.58              | 786.89                       |
| 1767.44                           | 1.77                              | 0.47     | 0.05                | 82.66               | 297.56                       |
| 2268.04                           | 2.27                              | 0.20     | 0.02                | 45.87               | 165.15                       |
| 1913.04                           | 1.91                              | 0.14     | 0.01                | 26.66               | 95.96                        |

|         |      |      |      |        |        |
|---------|------|------|------|--------|--------|
| 1373.63 | 1.37 | 0.09 | 0.01 | 13.04  | 46.95  |
| 1029.41 | 1.03 | 0.38 | 0.04 | 39.20  | 141.14 |
| 1648.94 | 1.65 | 0.78 | 0.08 | 128.65 | 463.12 |
| 1941.75 | 1.94 | 0.18 | 0.02 | 35.39  | 127.41 |
| 2417.58 | 2.42 | 0.13 | 0.01 | 30.78  | 110.80 |
| 1557.79 | 1.56 | 0.62 | 0.06 | 96.31  | 346.70 |
| 2116.40 | 2.12 | 0.49 | 0.05 | 102.99 | 370.77 |
| 1525.42 | 1.53 | 0.43 | 0.04 | 65.19  | 234.67 |
| 1428.57 | 1.43 | 0.12 | 0.01 | 17.40  | 62.64  |
| 1834.86 | 1.83 | 0.64 | 0.06 | 117.78 | 423.99 |
| 2058.82 | 2.06 | 0.36 | 0.04 | 74.38  | 267.77 |
| 1321.59 | 1.32 | 0.29 | 0.03 | 38.29  | 137.83 |
| 1818.18 | 1.82 | 0.32 | 0.03 | 58.94  | 212.19 |
| 2036.20 | 2.04 | 0.59 | 0.06 | 120.26 | 432.93 |
| 2638.04 | 2.64 | 0.47 | 0.05 | 124.37 | 447.73 |
| 1709.84 | 1.71 | 0.37 | 0.04 | 63.35  | 228.05 |
| 1196.17 | 1.20 | 0.10 | 0.01 | 11.96  | 43.06  |
| 1952.38 | 1.95 | 0.10 | 0.01 | 19.52  | 70.29  |
| 1702.13 | 1.70 | 0.14 | 0.01 | 23.26  | 83.73  |
| 1292.13 | 1.29 | 0.62 | 0.06 | 79.80  | 287.29 |
| 1968.09 | 1.97 | 0.13 | 0.01 | 26.45  | 95.22  |
| 1624.37 | 1.62 | 0.10 | 0.01 | 16.24  | 58.48  |
| 2111.80 | 2.11 | 0.70 | 0.07 | 147.83 | 532.17 |
| 1607.14 | 1.61 | 0.10 | 0.01 | 16.07  | 57.86  |

## J. Cálculo de muestra

Flujo de salida de lavadora

$$\text{Volumen/Tiempo} = 4150\text{mL}/2.06\text{s} = 2014.56\text{mL/s}$$

masa g

$$\text{masa final-Tara tubo de centrifuga} = 5.8\text{g}-5.1\text{g} = 0.7 \text{ g}$$

Gramos almidón por mililitro

$$\text{masa/volumen centrifugado} = 0.7\text{g}/10\text{mL} = 0.07\text{g/mL}$$

Gramos de almidón/s

Gramos de almidón por mililitro \*Flujo de salida de Lavadora

$$0.07\text{g/mL} * 2014.56 \text{ mL/s} = 141.02\text{g/s}$$

Conversión a Kg/h

$$\text{Gramos de almidón/s} * 3600 \text{ s/1h} * 1 \text{ kg}/1000\text{g} = 141.02 * 3600 / 1000 = 507.67 \text{ kg/h}$$

Producción mensual

Kg de almidón/h \* tiempo trabajado en el mes

Tiempo trabajado en el mes: 4 Días por semana,-12 horas de arranque y doce horas de limpieza

$$280.08\text{Kg/h} * (4\text{días} * (96\text{horas}-24\text{horas}) / 1\text{semana}) * (4\text{semanas} / 1\text{mes}) =$$

$$80,662.13\text{Kg/mes}$$

Ingresos anuales

$$80,662.13\text{Kg/mes} * (12 \text{ meses} / 1 \text{ año}) * (1 \text{ Ton} / 1000\text{Kg}) * (\text{GTQ}1,382.5 / \text{Ton}) =$$

$$\text{GTQ}169,390.46 / \text{año}$$

Se utilizó la función potencial de Williams para estimar el precio del equipo en el año deseado:

$$C_2 = C_1 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^x I_p$$

donde

$C_2$  = Costo desconocido

$C_1$  = Costo de la línea conocida

$T_2$  = Tamaño del equipo de costo desconocido

$T_1$  = Tamaño del equipo de costo conocido

$X$  = Exponente

$I_p$  = Relación de índices de precios = Índice del año en curso o futuro / Índice del año en que se cotizó el equipo

## K. Precios del almidón en el mercado

Estrategía del desarrollo de la industria de almidón para una industrialización rural basada en alimentos agrarios:

Los precios de exportación del almidón son mucho más altos que los precios domésticos, reflejando parcialmente la mejor calidad del almidón de exportación. En promedio, los precios de exportación son alrededor de US\$300.00 / ton, comparados con los menos de US\$200 por tonelada de almidón vendido localmente. (Datos de Viet Nam)

-Se tomó el precio que aparece en el estudio de Desarrollo de la industria de almidón para la industrialización rural basada en alimentos agrarios. Ya que en este se consideran los precios internacionales industriales que se venden en Viet Nam y de exportación. El enfoque de venta del producto es hacia la industria. Los otros precios que aparecen es como venta al por menor. Se tomó \$175, considerando como un precio mínimo que se puede obtener en la venta en el país considerando que en Viet Nam este precio es de \$200.

## L. Propiedades del almidón

Tabla 16. Densidad de los distintos componentes del agua de lavado

|                               | <b>Densidad<br/>específica</b> |
|-------------------------------|--------------------------------|
|                               | g/mL                           |
| Almidón                       | 1.55                           |
| Paredes (fibras) de la célula | 1.05                           |
| Agua                          | 1.00                           |
| Suelo, arena                  | sobre 2                        |

Tabla 17. Composición del almidón de papa

| <b>Componentes</b>            | <b>Análisis<br/>típico</b> |
|-------------------------------|----------------------------|
| Almidón, sustancia seca       | el 80%                     |
| Agua                          | el 20%                     |
| Ceniza                        | 0,3%                       |
| Arena                         | 0,02%                      |
| Proteína                      | 0,09%                      |
| Fósforo, P                    | 0,07%                      |
| Calcio, CA                    | 0,03%                      |
| Hierro, FE                    | 3 PPM                      |
| Material Soluble en agua fría | 0,1%                       |

Tabla 18. Distribución de tamaños típica del almidón terminados

| <b>Intervalo<br/>del milímetro al milímetro</b> | <b>Intervalo</b> | <b>%</b> | <b>%<br/>Menor<br/>Tamaño</b> |
|---|------------------|----------|-------------------------------|
| 140   | 87               | 3        | 97                            |
| 87  | 53               | 24       | 74                            |
| 53  | 38               | 17       | 24                            |
| 28  | 22               | 9,1      | 15                            |
| 22  | 17               | 7,7      | 6,8                           |
| 13  | 10               | 0,9      | 2,6                           |
| 10  | 8                | 0,5      | 2,0                           |
| 6   | 0                | 2,0      | 0,0                           |

Tabla 19. Densidad y calor específico

| <b>Componentes</b>  | <b>Análisis<br/>típico</b> |
|---------------------|----------------------------|
| Densidad específica | 1.55 g/mL                  |
| Calor específico    | 1.22 kJ/g                  |

## M. El almidón en los mercados Mundiales

La producción mundial de almidón en 1992 era de 33 millones de ton/año, con un valor de US\$14 mil millones. El 45% de la producción del almidón está situado en los Estados Unidos, donde el almidón de maíz es convertido en los jarabes de la fructosa y de la glucosa para el uso del sector alimenticio de gran importancia: Representa el 75% de todo el almidón usado en los Estados Unidos. Sigue luego la Unión Europea con el 21% del total, incluyendo un volumen grande de almidón de papa. El Sur Este de Asia es un productor importante del almidón de mandioca, con Tailandia como jugador importante en mercados mundiales. China produce una gama de almidones, incluyendo la mandioca y de maíz. China es también el productor principal del almidón del camote en el mundo, aunque la mayoría de producción se da en una escala pequeña. Japón también produce el almidón de camote, e importa el maíz de los Estados Unidos.

Los volúmenes de almidón negociados internacionalmente son pequeños en proporción con el volumen total de la producción. Esto es debido a un número de factores, incluyendo las fuentes diversas de materia prima disponibles para la producción de almidón en diversas regiones del mundo, y a la presencia de las barreras tarifarias el comercio en esta materia.

El almidón se utiliza en su estado nativo, pero se somete a menudo a una gama de modificaciones químicas o físicas para alterar las características funcionales para los usos finales específicos. El almidón modificado se ha utilizado cada vez más en alimento e industrias no alimenticias en los 12 años pasados. El almidón también se utiliza para producir los dulcificantes usados en el sector alimenticio. Algunas tendencias que están actuando en la industria son el uso creciente de almidones modificados, y la diversificación del uso del almidón en alimento y sectores no alimenticios (ejemplo: plásticos biodegradables). Una tendencia contraria puede ser evidente en el oeste: Donde se aprecia una resistencia del consumidor al uso del almidón químicamente modificado en productos alimenticios. Esto puede conducir a la industria a dar más atención de almidones nativos con características inusuales: la diversidad de las características funcionales del almidón de muchas especies está poco explotado.

