

74
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"DESHIDRATAACION DE PLATANO POR
SECADOR DE CHAROLAS"

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO.

P R E S E N T A:

ALMA PATRICIA MORALES BALLESTEROS.

MEXICO, D. F.

1985.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Pag.
I. INTRODUCCION	2
II. OBJETIVOS	6
III. GENERALIDADES	8
IV. DESCRIPCION DE LA TECNICA EMPLEADA PARA LA DESHIDRATACION DEL PLATANO	21
V. DESCRIPCION DEL EQUIPO	26
VI. CALCULOS	
- VALORES EXPERIMENTALES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA DE PLATANO	32
- CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA EN LA MUESTRA DE PLATANO	34
- CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA DE PLATANO	35
- CALCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO	36
- DIAGRAMA DE PROCESO	45
- BASES DE DISEÑO	46
- BALANCE DE MATERIA	47
- BALANCE DE ENERGIA	48
- CALCULO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR	49
- BALANCE DE ENERGIA PARA EL CAMBIADOR DE CALOR	53
- CALCULO DEL TIEMPO DE SECADO PARA OBTENER UN PRODUCTO CON 18% DE HUMEDAD	55
- CALCULO DEL AREA TOTAL DE SECADO	57
VII. RESULTADOS	59
VIII. CONCLUSIONES	62
IX. BIBLIOGRAFIA	65

LISTA DE TABLAS:

	Pag.
- Tabla I: VALORES OBTENIDOS PARA LA INTEGRACION DE LAS CURVAS DE SECADO	37

LISTA DE GRAFICAS:

- Gráfica 1: CURVA DE LA VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON RESPECTO AL TIEMPO	38
- Gráfica 2: CURVA DE LA VARIACION DEL TIEMPO CON RESPECTO AL CONTENIDO DE HUMEDAD	39
- Gráfica 3: CURVA DEL COEFICIENTE DIFERENCIAL DE SECADO CON RESPECTO A LA VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (Valores experimentales)	40
- Gráfica 4: CURVA DEL COEFICIENTE DIFERENCIAL DE SECADO CON RESPECTO A LA VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (Valores experimentales corregidos)	41
- Gráfica 5: CURVA DE LA VELOCIDAD DE SECADO CON RESPECTO AL CONTENIDO DE HUMEDAD (Valores experimentales)	42
- Gráfica 6: CURVA DE LA VELOCIDAD DE SECADO CON RESPECTO AL CONTENIDO DE HUMEDAD (Valores experimentales corregidos)	43

LISTA DE FIGURAS:

	Pag.
- Diagrama (a): CLASIFICACION DEL SECADOR DE CHAROLAS EN BASE A SU METODO DE OPERACION	16
- Diagrama (b): CLASIFICACION DEL SECADOR DE CHAROLAS EN BASE A LA FORMA FISICA DE LA ALIMENTACION	17
- Diagrama (c): CLASIFICACION DEL SECADOR DE CHAROLAS POR SU ESCALA DE PRODUCCION	18
- Diagrama I: DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TECNICA EMPLEADA PARA LA DESHIDRATACION DEL PLATANO	24
- Figura 1: SECADOR DE CHAROLAS	29
- DIAGRAMA DE PROCESO	45

C A P I T U L O I .

INTRODUCCION

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

El plátano es una fruta de consumo universal, siendo en muchas regiones alimento diario.

Es una fruta apreciada por personas de todas las clases, de todas las edades, y se consume en diversas formas; al natural, frito, cocido e industrializado.

Hay diversidad de opiniones respecto a su origen, actualmente se admite que puede ser originario de Oriente, Sur de China, e Indochina. Existen referencias de su presencia en India, Malasia y Filipinas donde ha sido cultivado por más de 4,000 años.

El plátano, es un fruto característico de las regiones tropicales húmedas.

El cultivo del plátano ha ocupado un lugar importante, co-

mo es un fruto muy alterable, es necesario buscar su utilización industrial en procesos de transformación a estados más estables. Una de las operaciones más sencillas y fáciles de realizar es la deshidratación.

La industria de la deshidratación está bastante desarrollada donde no solo se procesa plátano sino también otras frutas como ciruela, uvas, manzana, etc.

En los últimos años los productos derivados del plátano han recibido una atención considerable, ya que en su elaboración se utilizan los plátanos frescos no aptos para la exportación. Estos productos han sido también considerados de gran interés, por el posible aprovechamiento de los excedentes de la producción que no puede venderse en el mercado como fruta fresca.

Por medio de la deshidratación podría darse uso a este plátano, que no se encuentra en estado de sanidad y madurez óptimo.

México con una producción aproximada de 1'280,000 ton. anuales presenta pérdidas considerables en el cultivo y en la comercialización del plátano, las cuales son características de cada zona productora. Los índices no pueden generalizarse por la diversidad de regiones en las que se desarrolla este cultivo tropical, pero estimativamente se puede señalar que el 30% de la producción de una zona se pierde debido a los vientos, y el 16% por heladas; en el caso de las frutas empacadas para exportación se rechaza el 20% y cuando se destina al mercado nacional transportándola en racimos por vía terrestre merma el 4% en peso.

Por esta razón es que se ha pensado en la deshidratación

del plátano para la obtención de harina que pueda ser utilizada de diversas maneras, como cereal, para panadería, como un complemento alimenticio, etc.

Para este propósito se seleccionó un Secador de Charolas -- discontinuo por convección, debido a que presenta una mayor facilidad de construcción y bajo costo en comparación con otros tipos de secadores. Además que este secador brinda las condiciones óptimas para la deshidratación del plátano.

C A P I T U L O I I .

OBJETIVOS

C A P I T U L O II

OBJETIVOS

-Llevar a cabo la deshidratación del plátano, y la conservación del mismo en forma de harina, no afectando sus propiedades químicas y nutritivas.

-Obtener las curvas de secado para el proceso de deshidratación del plátano y realizar con relación a estas curvas el diseño de un secador de charolas, para la fabricación de la harina de plátano.

C A P I T U L O I I I .

GENERALIDADES

C A P I T U L O I I I

GENERALIDADES

El plátano tiene la ventaja de que es una fruta que se consume de una manera limpia, ya que su pulpa se mantiene protegida hasta el momento del consumo por un grueso pericarpio ó cáscara que es fácil de eliminar. Pesa de 100 a 200 gramos, según la variedad y contenido del 60 al 65% de pulpa comestible que a su vez contiene un 75.3% de agua aproximadamente.

El plátano es un alimento altamente energético, cuyos hidratos de carbono son fácilmente asimilables; aunque es pobre en proteínas y lípidos.

En México las variedades de plátano que se cultivan son: Gros Michel, Valery, Manzano y Roatán.

Entre los principales estados productores están: Colima, Veracruz, Chiapas, Tabasco, Nayarit, Guerrero, Oaxaca, Jalisco, y otras pequeñas entidades.

La harina de plátano se produce principalmente en Centro América, en Venezuela, en las Guayanas, Java, Filipinas, Congo y otras colonias del Sur de África, así como en las Antillas.

Esta harina es conocida con el nombre de fécula de plátano, Nutrex, Muserina, Bananina, Arrow Root de Guayana y Conquintay - de los Ingleses.

El fruto verde de todas las variedades de plátano tales como se emplean para secarlo y transformarlo en harina, contiene de 10 a 12% de almidón, que desaparece durante el proceso de la maduración al mismo tiempo que los taninos y los ácidos. En algunos frutos queda hasta 6% de almidón aún en su completa madurez.

Las distintas variedades de plátano forman una parte importante de la alimentación humana. La harina es la forma más concentrada a la que puede reducirse el plátano y se fabrica con frutos que han alcanzado su completo desarrollo, pero tienen su corteza aún verde o sea antes de que empiecen a madurar, pues cuando se llega a ese periodo la materia amilácea (almidón) se ha transformado en sustancia azucarada, como se verá en el cuadro siguiente:

	<u>Plátano no maduro</u>	<u>Plátano maduro</u>
Agua	75.30 %	67.79 %
Almidón	10-12 %	Huellas
Azúcar de uva (glucosa)	6.50 %	20.47 %
Azúcar de caña (sacarosa)	4.60 %	4.50 %
Grasas	0.70 %	0.58 %
Materias azoadas	10.50 %	4.72 %
Filamentos brutos	1.20 %	0.17 %
Tanino	22.50 %	0.34 %
Cenizas	3.60 %	0.95 %
Otras materias	16.00 %	0.79 %

La deshidratación la podemos definir de varias formas ya sea como la eliminación ó separación de un líquido que se encuentra contenido en un sólido por medio de procedimientos térmicos.

La deshidratación desempeña un papel muy importante en cuanto a conservación, almacenamiento, transportes y otros muchos factores relacionados con los alimentos.

Las razones por las cuales se deshidrata un producto son múltiples, pero en general son las siguientes:

- 1) Facilitar la manipulación en algún tratamiento posterior.
- 2) Permitir la utilización satisfactoria del producto final.
- 3) Reducir los costos de transporte.
- 4) Aumentar la capacidad de otros aparatos o instalaciones - del proceso.
- 5) Conservar un producto durante su almacenamiento y su -- transporte.
- 6) Aumentar el valor y la utilidad de los desperdicios o los subproductos obtenidos.

CLASIFICACION DE LOS SECADORES.

Para la clasificación de los secadores se emplean dos métodos:

- 1) Se basa en las características y propiedades físicas del producto húmedo manejado. Es más apropiado para utilizarlo como guía en la selección de un grupo de secadores para su estudio preliminar en un problema dado de desecación.
- 2) Se basa en el procedimiento para transmitir el calor al -

producto húmedo y revela diferencias en el diseño y el funcionamiento de los secadores.

Los secadores se clasifican basándose en la transmisión de calor en: secadores directos e indirectos, con subclases de continuos y discontinuos.

Los Secadores Directos utilizan gases calientes en contacto directo con el producto húmedo, para suministrar el calor y -- arrastrar fuera el líquido vaporizado.

Las características fundamentales de los secadores directos son:

1) La desecación del producto depende de la transmisión de calor y el producto húmedo partiendo de un gas caliente hasta obtener un líquido vaporizado.

2) Los gases calientes que se pueden emplear en este tipo de secadores son: aire calentado con vapor producto de la combustión, algún gas inerte ó un vapor recalentado.

3) Se requiere que las temperaturas de desecación del proceso oscilen entre 700 - 800°C; la radiación se convertirá en una fuente de calor importante.

4) Cuando las temperaturas del gas anteriormente mencionado sean inferiores al punto de ebullición, el contenido de vapor - del gas influirá sobre la intensidad de desecación y sobre el - contenido final de humedad del producto. Por otra parte cuando se registren temperaturas que sobrepasen el punto de ebullición de dicho gas, el contenido de vapor del gas ejercerá un ligero efecto retardador sobre la intensidad de desecación y sobre el - contenido final de humedad del producto.

5) Para la desecación del producto a temperaturas bajas, se rá necesario deshumedecer el aire empleado para la desecación - cuando la humedad atmosférica sea excesivamente elevada.

6) El rendimiento de evaporación de agua en el producto -- aumenta cuando se eleva la temperatura del gas suministrado en - el secador, para una temperatura de salida constante entre 700°C y 800°C debido a que se reduce en gran parte el suministro de - gas en el proceso de secado.

En los secadores directos continuos, el producto se despla- za con movimiento uniforme desde la alimentación de las materias primas hasta la salida del producto final y las condiciones del proceso de secado se mantienen constantes con relación al tiempo de desecación.

Los secadores directos discontinuos se emplean para baja - producción y para manejar productos de costo elevado que exigen manipulación especial. Se caracterizan por largos tiempos de desecación. El producto está fijo y las condiciones de tempe- ratura y contenido de humedad varían continuamente de punto a - punto del secador con el transcurso del tiempo.

Los secadores indirectos realizan la desecación de materia les transmitiendo calor por conducción, que se realiza a través de las paredes del secador, del producto húmedo se elimina o - extrae el líquido contenido, vaporizándolo mediante el medio ca - lentador empleado.

Los secadores indirectos se diferencian de los directos me diante dos aspectos importantes; primero la transmisión del ca - lor y segundo la eliminación del líquido vaporizado.

Sus características generales y funcionamiento son las siguientes:

1) El calor se transmite al producto húmedo por conducción a través de una pared del secador. La fuente de calor suministrada por lo general son: vapor que se condensa, agua caliente, gases de combustión, sales derretidas transmisoras de calor, aceite caliente, electricidad, etc.

2) Las temperaturas de la superficie de las paredes del secador pueden variar entre temperaturas inferiores a la de congelación y temperaturas entre los 500 - 600°C, en el caso de los secadores rotatorios indirectos calentados por combustión directa.

3) Los secadores indirectos son apropiados para la desecación a presiones reducidas y en atmósferas inertes debido a que nos permiten la recuperación de los disolventes e impiden la producción de mezclas explosivas o de oxidación de materiales que finalmente se descomponen.

4) Los secadores indirectos que utilizan vapor condensable son por lo general económicas debido a que el consumo de calor, va en proporción con lo que se requiere para secar el producto. Por otra parte su rendimiento disminuye cuando baja el contenido de humedad en el producto final.

5) En los secadores indirectos la recuperación de productos pulverizados se realizan con mayor facilidad.

6) Los secadores indirectos pueden utilizar algún método de agitación para asegurar un buen contacto del producto con la superficie de las paredes calientes del secador, así el producto eliminará humedad desde la alimentación.

Los secadores indirectos continuos pueden trabajar en algunas ocasiones a presiones inferiores a la atmosférica. Teniendo un buen cierre en los puntos de carga y descarga, manteniéndose presiones negativas de 680 a 710 mm Hg, durante el funcionamiento continuo. Esta característica permite realizar la desecación continua y la recuperación del solvente.

Los secadores indirectos discontinuos se emplean para evaporar y secar soluciones, pastas, sólidos granulados y para el secado a alto vacío.

Se dividen en dos grupos, en los cuales:

- 1) El producto permanece fijo durante todo el ciclo.
- 2) El producto se encuentra en movimiento durante el ciclo de la desecación.

El primer grupo está representado por el secador con charolas a vacío; el segundo grupo por el secador con charolas agitadas que puede trabajar con vacío ó sin él.

El costo principal de funcionamiento de los secadores indirectos discontinuos es la mano de obra para la carga y descarga de los secadores y para su limpieza.

Podemos mencionar otro tipo de secadores como son los Infra rojos y Dieléctricos.

Los Secadores Infrarrojos:

Se basan en la transferencia de energía radiante para evaporar la humedad del producto. Esta energía se produce eléctricamente o por medio de refractarios incandescentes calentados con gas. Este último método tiene la ventaja adicional del calentamiento

miento por convección. El calentamiento infrarrojo no ha encontrado la aplicación adecuada en la Industria Química para eliminar la humedad del producto, debido a esto, este tipo de secadores se emplean principalmente en la desecación de películas, de pinturas y en el calentamiento de capas delgadas de algunos materiales. El costo de la energía necesaria empleada en estos secadores es de dos a cuatro veces mayor que el costo del combustible en los secadores descritos anteriormente.

Los Secadores Dieléctricos:

A este tipo de secadores aún no se les ha encontrado la aplicación adecuada. Se basan fundamentalmente en introducir el calor en el interior de un sólido, esto nos indica posibilidades futuras para la deshidratación ó desecación de grandes objetos macizos, como madera, productos cerámicos, objetos de caucho esponjoso, etc. El costo de la energía necesaria empleada en estos secadores puede llegar a ser hasta 10 veces mayor al del combustible necesario, para los secadores descritos anteriormente.

DIAGRAMA (a)

Clasificación del secador de charolas en base a su método de operación

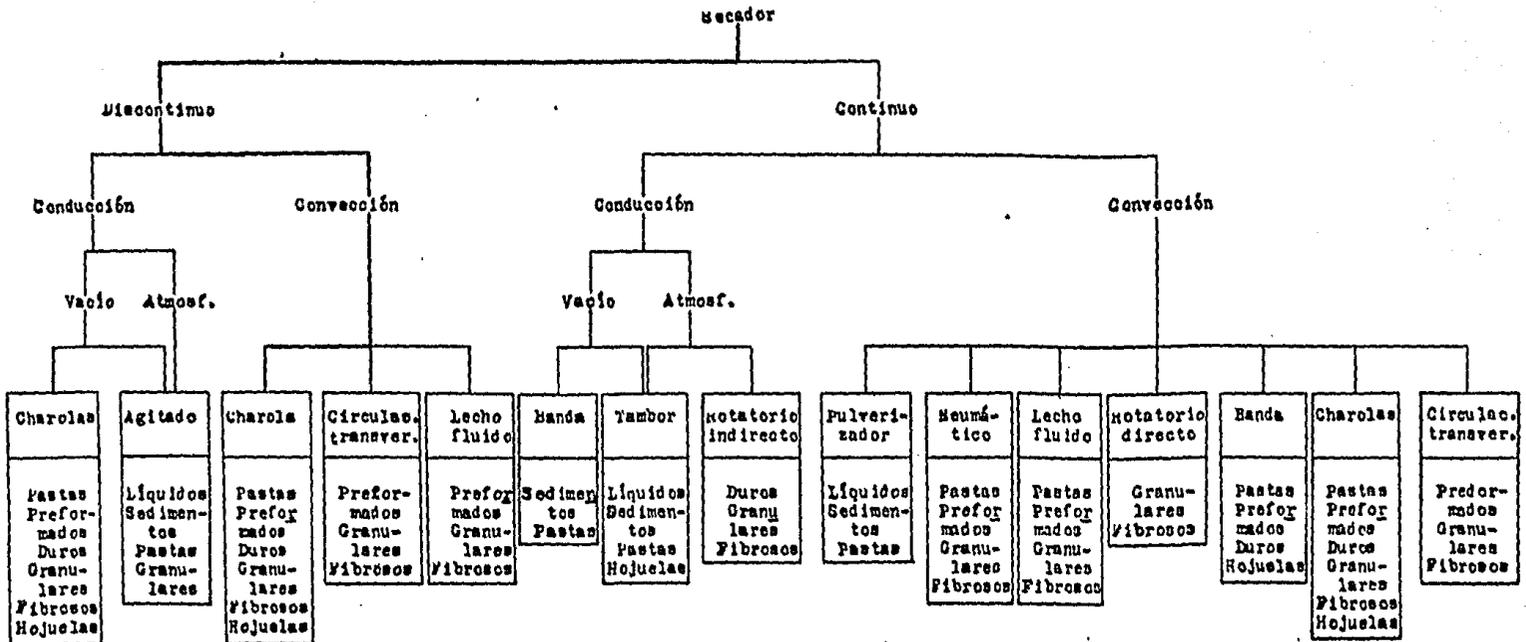


DIAGRAMA (b)

Clasificación del secador de charolas en base a la forma física de la alimentación

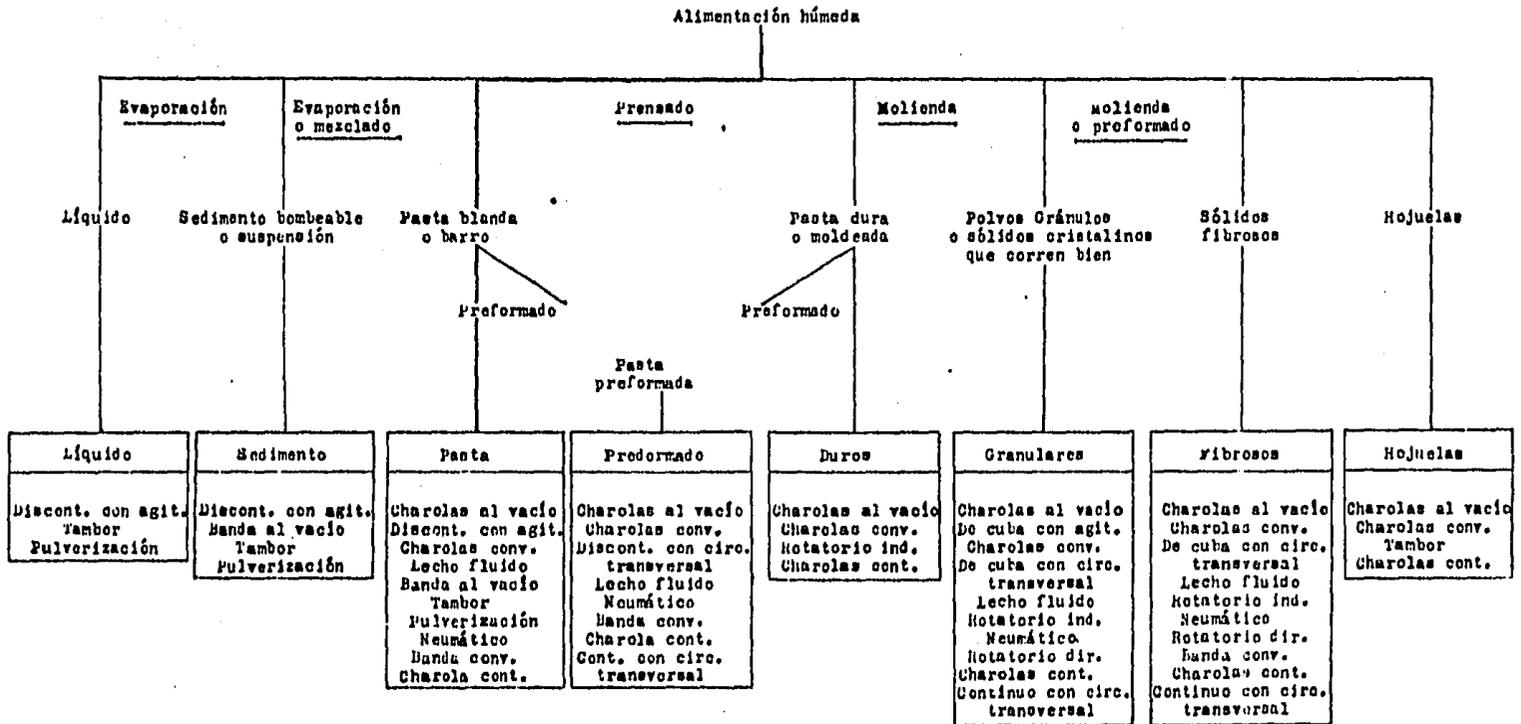
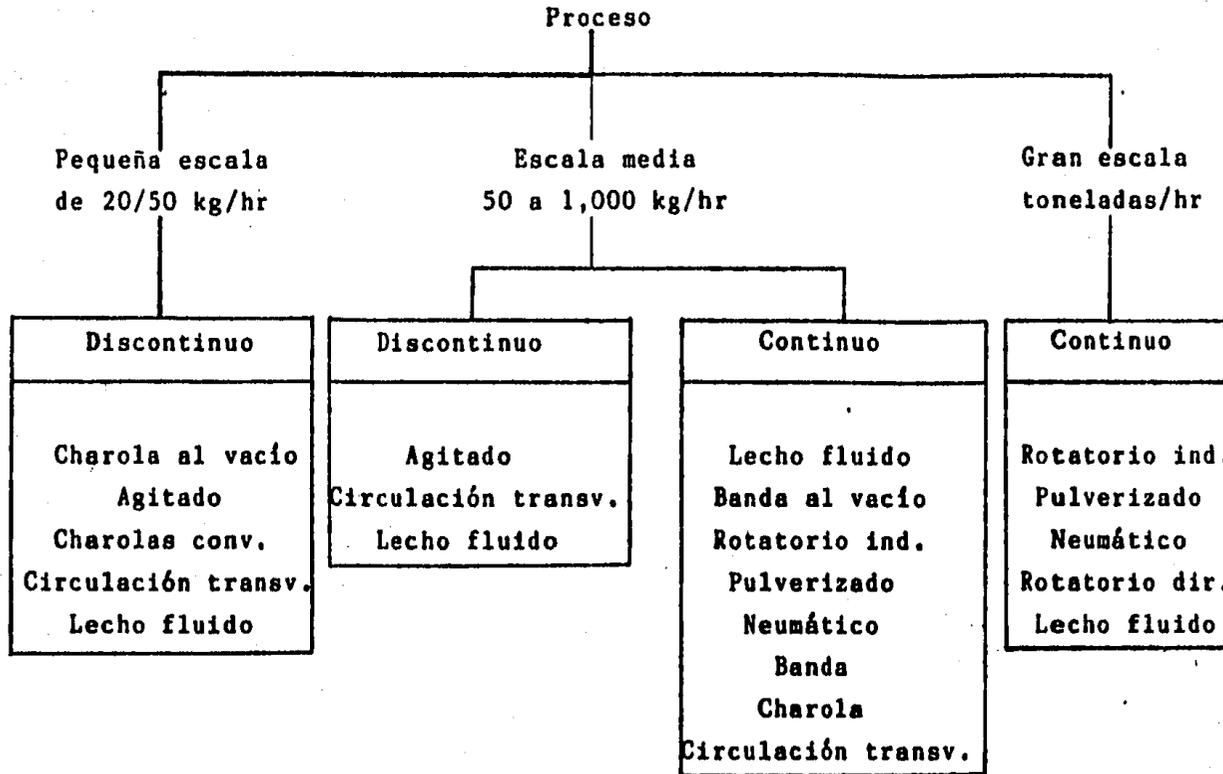


DIAGRAMA (c)

Clasificación del secador de charolas por su escala de producción



En base a la información dada anteriormente se ha clasificado el Secador de Charolas, empleado para la deshidratación del plátano en base a su método de operación como se señala en el diagrama (a). Se trata de un Secador de Charolas directo, ya que el secado se realiza con aire caliente soplado sobre las charolas (por convección natural), mediante un ventilador; discontinuo ya que contiene un compartimento donde se ubican las charolas que contienen el producto a secar.

El diagrama (b) presenta la clasificación del secador en base a la forma física de la alimentación del plátano. Se clasifica como una pasta blanda húmeda y es secada en un Secador de Charolas por convección.

El diagrama (c) presenta la clasificación del Secador de Charolas por su escala de producción. En esta clase de secadores el costo operativo es alto debido a que el trabajo requerido es relativamente grande y esta consideración restringe su uso a producciones inferiores entre 20 - 50 kg/hr de producto seco. En el caso de la deshidratación del plátano, es relativamente pequeña la producción ya que como se menciona anteriormente solo se utilizan los plátanos frescos no aptos para la exportación y aquellos que no pueden venderse en el mercado como fruta fresca.

C A P I T U L O . I V .

DESCRIPCION DE LA TECNICA EMPLEADA

PARA LA DESHIDRATACION DEL PLATANO

C A P I T U L O IV

DESCRIPCION DE LA TECNICA EMPLEADA PARA LA DESHIDRATACION DEL
PLATANO.

Una de las técnicas más adecuadas para realizar el proceso - de deshidratación del plátano es la que a continuación se presenta:

Primeramente los plátanos -como materia prima del proceso- - se separan del racimo y se desprende la cáscara de manera que puedan cortarse en dos o tres secciones, empleando como instrumentos de corte cuchillos de madera ó de algún material metálico inoxidable, debido a que las propiedades químicas de la fruta así lo requiere para evitar que en un corto tiempo está se oxide.

Una vez que se han cortado las secciones del plátano, se colocan en unos bastidores de regilla con marcos de madera, de una forma ordenada evitando que tengan contacto dichas secciones en-

tre si, debido a que posteriormente se sumergiran, en una solución de bisulfito de sodio al 1.25% en peso (concentración), por un lapso de tiempo de tres minutos.

La descripción anterior, es un tratamiento que debe de realizarse al plátano con el objeto de proporcionarle a dicha fruta aproximadamente una cantidad de 200 ppm. de dióxido de azufre - (SO_2), que se impregnan en su tejido superficial para ayudar a evitar el obscurecimiento (oxidación) y gelación (1/) del plátano, cuando en dicho producto se realiza la molienda.

A continuación, el plátano se escurre por un tiempo aproximado de diez minutos, para que posteriormente en condiciones óptimas, dicho producto sea molido hasta obtener un puré característico.

Cabe mencionar que la deshidratación como una de las operaciones unitarias más importantes dentro de la ingeniería, se produce por contacto con aire caliente que previamente ha alcanzado su temperatura óptima de proceso, por medio de un precalentador; por otra parte, dicho precalentador deberá mantener la temperatura en la cámara de secado del equipo propuesto, entre un rango de temperaturas de $70^{\circ}C$ a $80^{\circ}C$.

De no ser así la pulpa, se gelificaría a temperaturas mayores del rango especificado y muy posiblemente existiría una pérdida en el producto final del proceso. La recirculación del aire se activa mediante un ventilador, con la finalidad de obtener la eficiencia de secado deseado del plátano molido llamado -

1/ Gelación: Fenómeno de conversión de una sustancia que presenta consistencia gelatinosa.

"pure", que fue colocado de una forma adecuada en charolas metálicas, en el interior del secador de charolas propuesto, (ver figura no. 1).

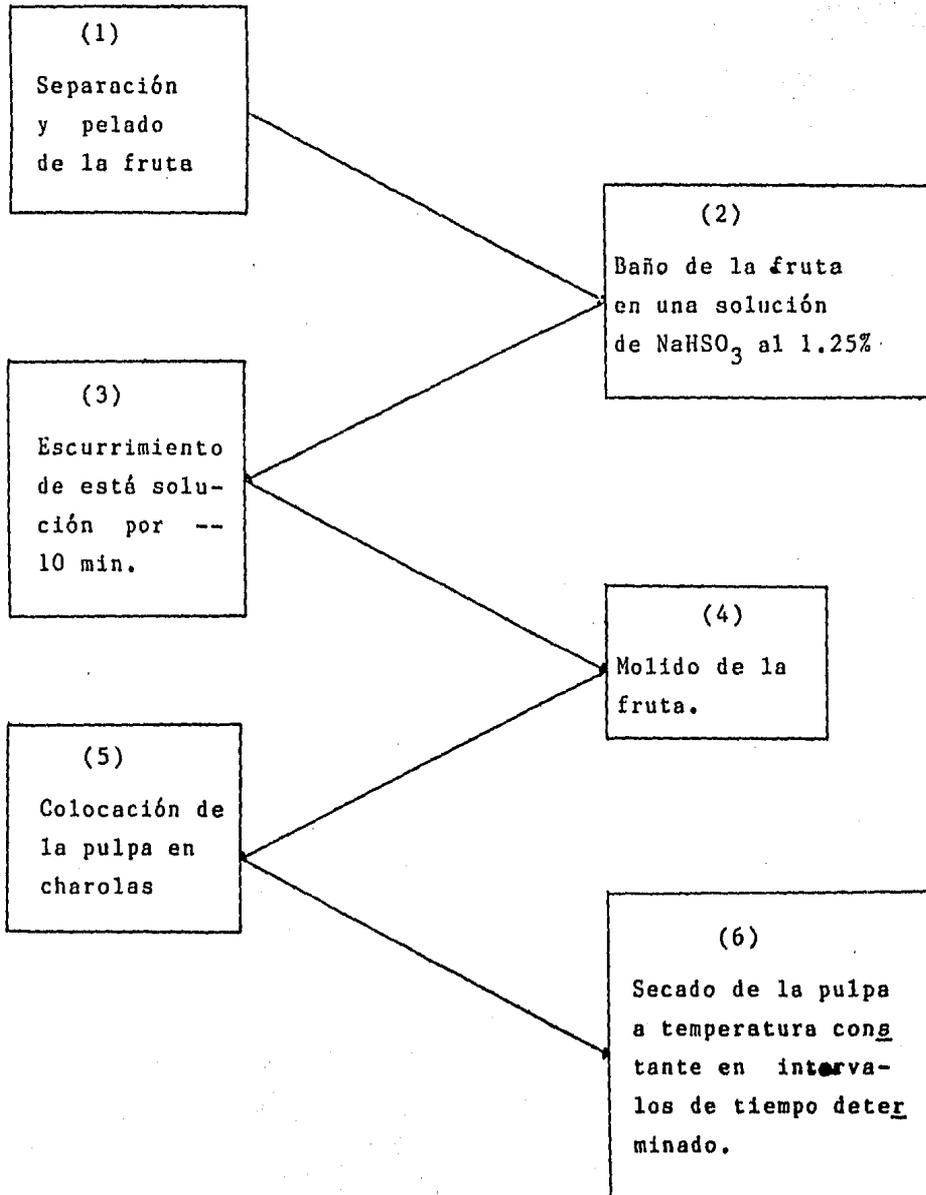
Es de importancia, mencionar que las charolas estan interconectadas a una balanza, la cuál nos permite determinar la perdida de agua -en forma de vapor- que desprende el puré expuesto al secado, en la cuál se pueden registrar sin ninguna interferencia - las lecturas deseadas en el tiempo que se requiera, hasta obtener la humedad relativa óptima del producto, de acuerdo a las especificaciones que presenten los análisis del control de calidad del producto.

Con relación a la experimentación realizada se emplearon -- 0.1504 g. de producto húmedo, efectuandose el proceso con una temperatura del aire de secado de 61°C constante. Está temperatura se determinó de acuerdo al tiempo total de secado del producto - que fue de una hora y a la calidad del producto. Durante el período de desecación, la constante de la velocidad del aire dentro de la cámara de secado del equipo se mantuvo continua a razón de 2.05 m/seg.

La pérdida de humedad del producto durante el proceso, fue determinada a intervalos de tiempo de cinco minutos, con la finalidad de obtener los valores necesarios para la integración de - las curvas de secado; las cuales nos permitirán determinar la capacidad óptima de operación del Secador de Charolas empleado para el presente estudio.

D I A G R A M A I

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TECNICA EMPLEADA



C A P I T U L O V.

DESCRIPCION DEL EQUIPO

C A P I T U L O V

DESCRIPCION DEL EQUIPO

SECADOR DE CHAROLAS.

El equipo propuesto para el presente estudio, es un Secador de Charolas de operación discontinua por convección, dicho equipo se empleará para la deshidratación del plátano (en forma de "puré").

En esté tipo de secadores se requiere de una alimentación de aire caliente, que es generado por un ventilador y precalentado empleando un intercambiador de calor, por el cual se hace pasar una corriente de vapor de agua saturada por medio de un sistema de serpentines que se encuentran ubicados fuera del compartimento de secado. Es de importancia, hacer mención que el intercambiador de calor tiene interconectado un medidor de presión

de vapor para regular la presión y temperatura del aire durante el proceso. Las corrientes de aire caliente a la temperatura - aproximada de 61°C son recirculadas en el interior de la cámara de secado del equipo, para establecer el contacto directo con el producto húmedo expuesto para su desecación.

En la cámara de secado del equipo se encuentran las charolas soportadas mediante un bastidor, el cuál está directamente - suspendido al mecanismo de una balanza que posteriormente nos de terminará la pérdida de humedad relativa del producto que se es tá desecando mediante pesos continuos por intervalos de tiempo - determinados.

Las charolas que soportan el producto húmedo deben ser las adecuadas dependiendo de las características y propiedades físico-químicas que presente el producto; para el caso de los productos granulados, las pastas, las papillas ó dispersiones y los lí quidos; los bastidores pueden ser de dos tipos: de barra fija ó móvil para tener una mejor eficiencia en el colocado de las cha rolas relacionado con el manejo que se proporcione al producto.

Las características generales de las charolas empleadas para esté tipo de secadores son:

- a) La forma de la charola: cuadrada ó rectángular.
- b) Material de construcción: acero inoxidable principalmente ó de cualquier otro tipo de material dependiendo de las condi ciones del secador y tomando en cuenta la corrosión y la tempe ratura del proceso.

Por otra parte, cuando las características del producto que se vaya a deshidratar y su manejo lo permita, las charolas deberán presentar un fondo perforado con el objeto de contar con una superficie adicional para obtener una óptima, eficiencia en la - desecación del producto de que se trate.

Tomando en cuenta las propiedades termodinámicas y la transferencia de calor, es preferible en este tipo de procesos emplear charolas metálicas de acero inoxidable, debido a que dichos - materiales presentan una mejor conducción de calor.

Las cantidades de producto que se pondrá en las charolas deberá ser tal que se obtengan períodos cíclicos compatibles con - facilidad de carga y con relación al programa general de proceso.

La determinación de las temperaturas del proceso se realiza manualmente, empleando para ello termómetros industriales. El secador está diseñado con unos orificios en donde se introduce - el termómetro para ejecutar las lecturas correspondientes de las temperaturas a lo largo del proceso operativo. Las lecturas - que deben efectuarse para fines de los calculos del Balance de - Materia y Energía son: la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de bulbo seco.

Finalmente, el equipo consta de la instrumentación adecuada para controlar la presión de operación del secador, debido a que está debe de mantenerse en condiciones atmosféricas para no alterar los parámetros durante el proceso.

En la figura no. 1, se presenta un diagrama del equipo em-pleado para este estudio.

SECADOR DE CHAROLAS

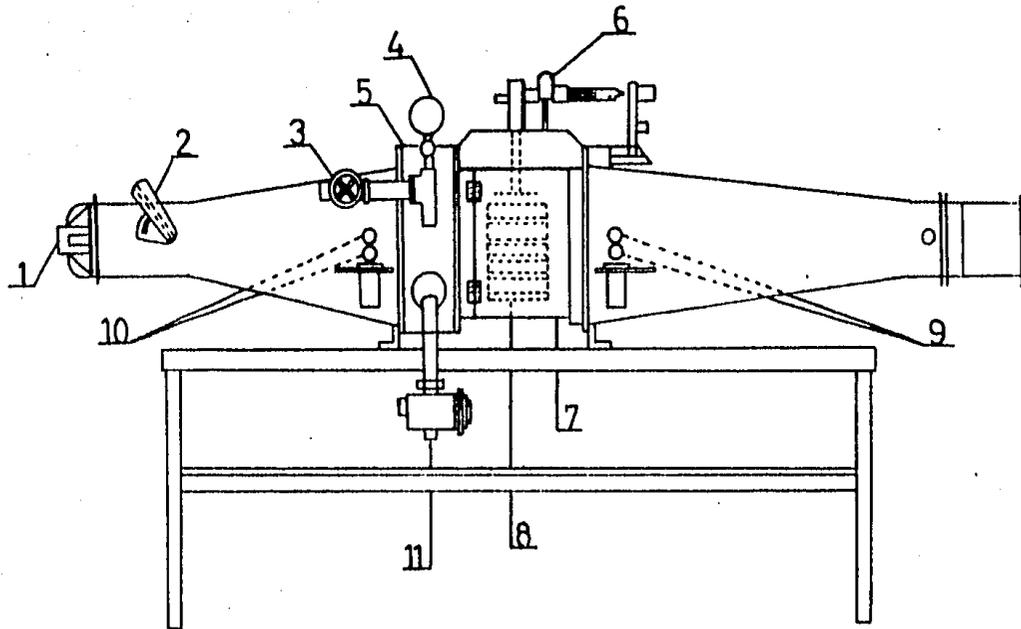


FIG. 1

NOMENCLATURA PARA EL SECADOR DE CHAROLAS (FIGURA no. 1).

- (1) Ventilador.
- (2) Control de flujo de aire.
- (3) Control de presión del Cambiador de Calor.
- (4) Medidor de presión del Cambiador de Calor.
- (5) Cambiador de Calor.
- (6) Balanza.
- (7) Camara de secado.
- (8) Charolas.
- (9) Control de temperatura de entrada.
- (10) Control de temperatura de salida.
- (11) Desagüe.

CAPITULO VI.

CALCULOS

C A P I T U L O VI

CALCULOSVALORES EXPERIMENTALES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA
MUESTRA DE PLATANO

Los valores obtenidos con relación a la experimentación realizada en una muestra de plátano (forma de puré), son los que se presentan a continuación, a condiciones constantes de presión y temperatura. Presión atmosférica, 585 mm Hg; temperatura de secado de 61°C; velocidad del aire de 2.05 m/seg.; con un gasto de aire de 5,682.6 kg/m² hr.; y expuesta dicha muestra en charolas con dimensión de 20 cm X 20 cm X 1 cm.

TIEMPO (hr)	PESO (kg)
0.0000	0.1504
0.0833	0.1306
0.1666	0.1116
0.2500	0.0918
0.3333	0.0779
0.4166	0.0655
0.5000	0.0569
0.5833	0.0502
0.6666	0.0443
0.7500	0.0416
0.8333	0.0390
0.9166	0.0377

CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA EN LA MUESTRA DE PLATANO A
PARTIR DE LOS VALORES OBTENIDOS EN LA PRACTICA

$$H = M_h - M_s$$

donde:

H = Cantidad de agua. (kg agua)

M_h = Producto húmedo.

M_s = Producto seco.

Sustituyendo valores en la ecuación obtenemos los siguientes
resultados:

H (kg agua)

0.1132

0.0934

0.0744

0.0546

0.0407

0.0283

0.0197

0.0130

0.0071

0.0044

0.0018

0.0005

CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA MUESTRA DE PLATANO A
PARTIR DE LOS VALORES OBTENIDOS EN LA PRACTICA

$$X = (M_h - M_s) / M_s$$

donde:

X = Contenido de humedad. (kg agua / kg sólido seco)

M_h = Producto húmedo.

M_s = Producto seco.

Sustituyendo valores en la ecuación obtenemos los siguientes resultados:

X (kg agua / kg sólido seco)

3.0485

2.5155

2.0041

1.4711

1.0969

0.7631

0.5316

0.3513

0.1925

0.1198

0.0498

0.0148

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO A PARTIR DE LOS VALORES
OBTENIDOS EN LA PRACTICA

$$W = S/A [- \Delta X / \Delta \theta]$$

donde:

W = Velocidad de secado. (kg / m² hr)

S = Peso producto seco. (kg)

A = Area de la superficie expuesta. (m²)

Sustituyendo valores obtenemos:

donde:

S = 0.03714 kg.

A = 0.16000 m²

W (kg/m² hr)

1.4856

1.4253

1.4856

1.0429

0.9303

0.6452

0.5025

0.4426

0.2026

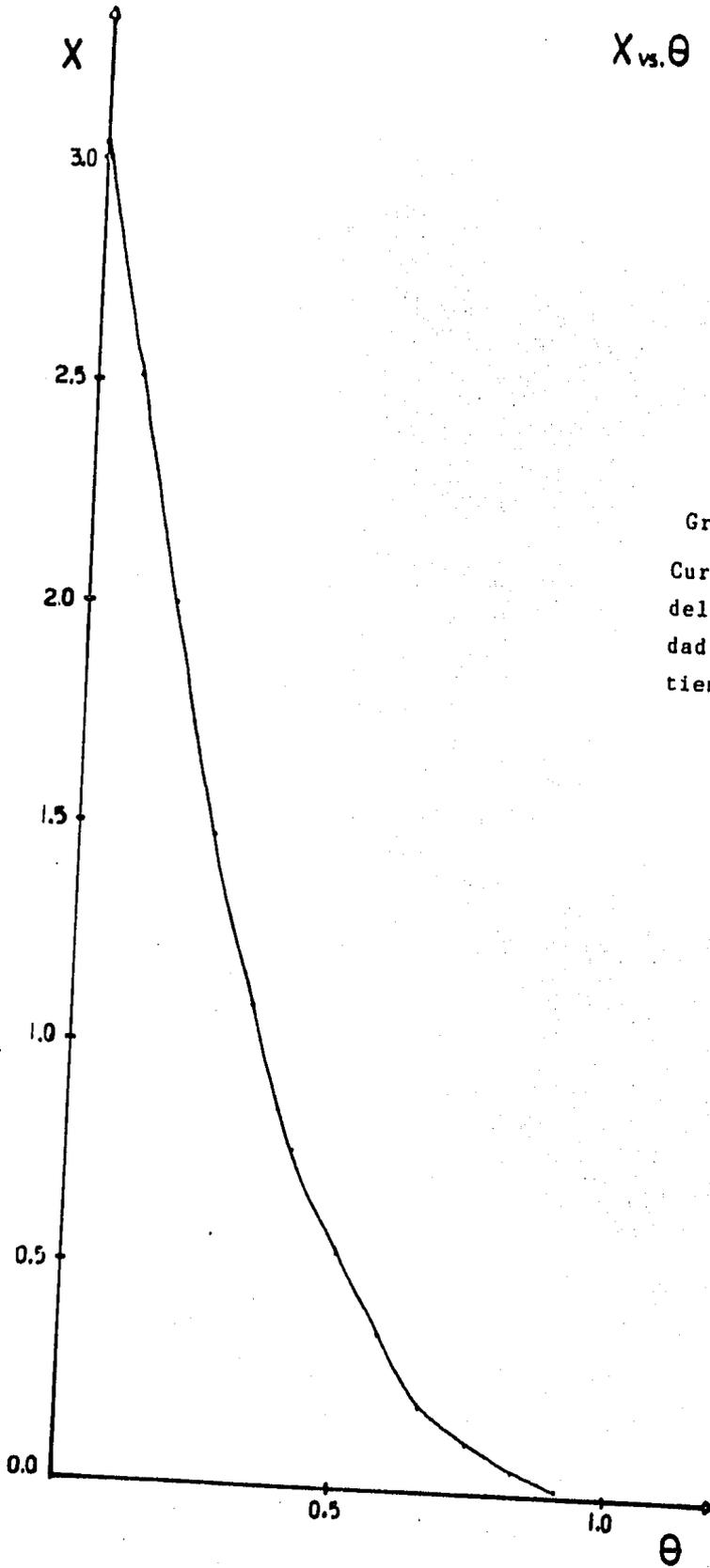
0.1951

0.0975

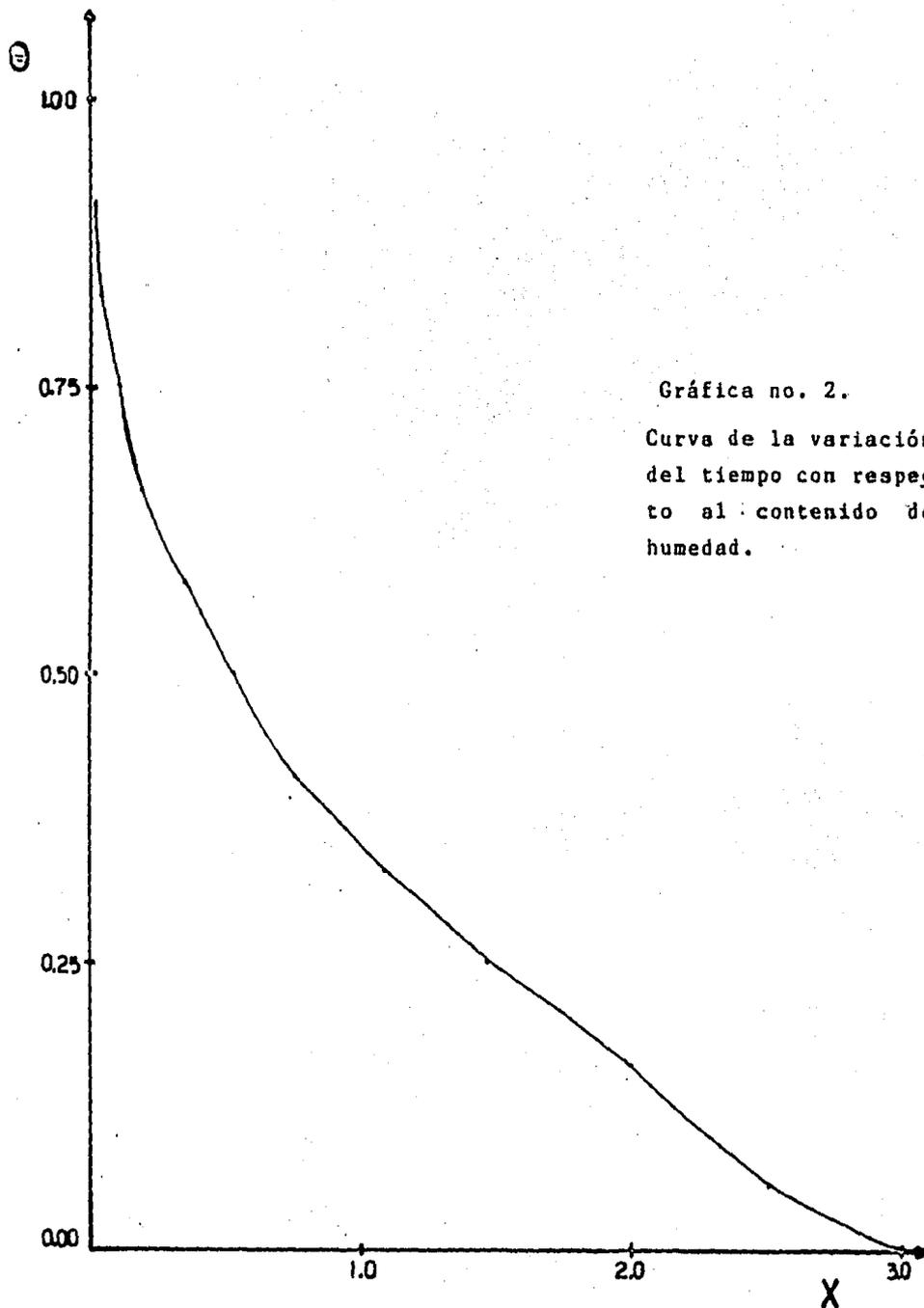
T A B L A I

Valores obtenidos para la integración de las curvas de secado

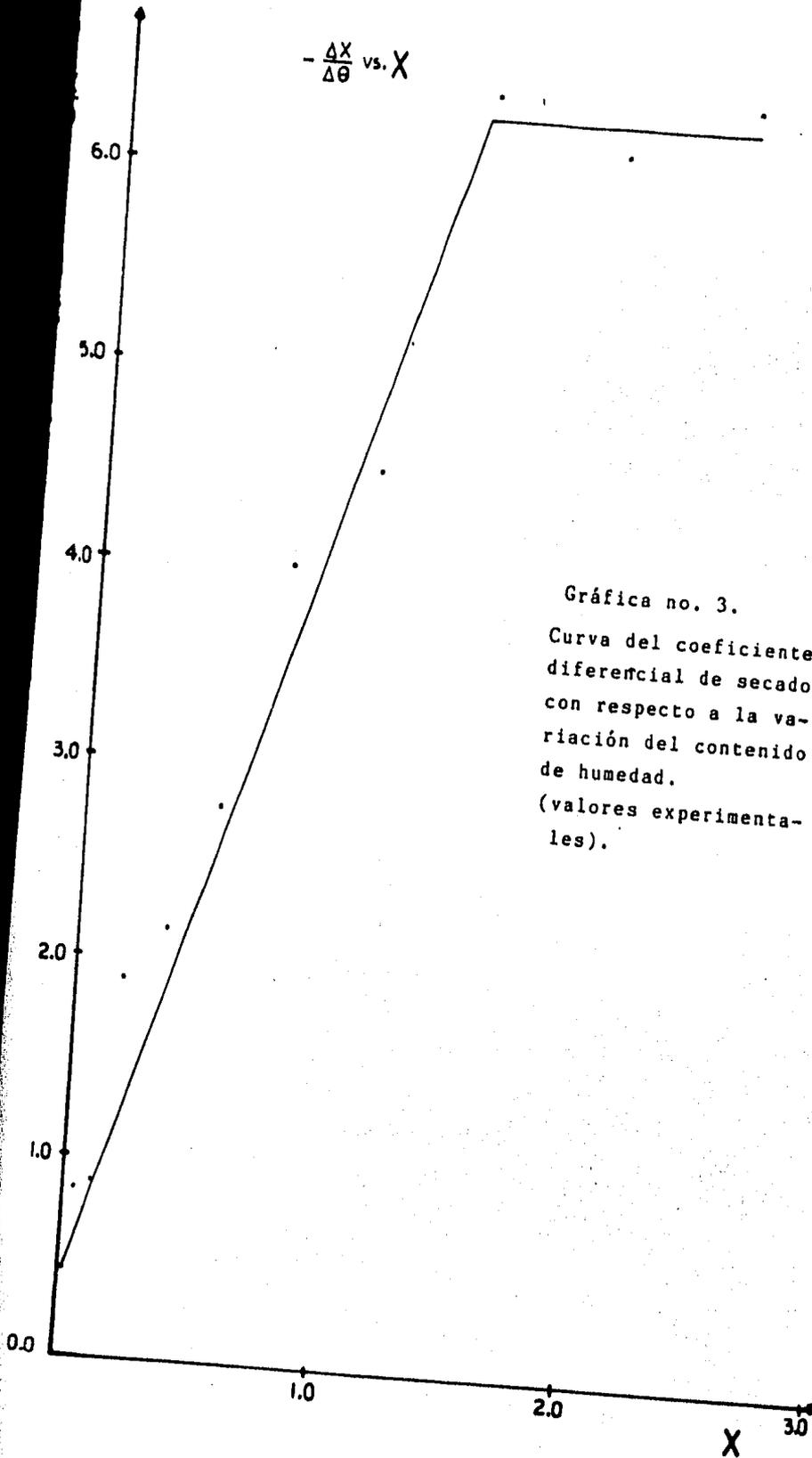
Tiempo (hr)	Peso (kg)	X	ΔX	$-\Delta X/\Delta \theta$	$-\Delta X/\Delta \theta$ (Correg.)	W	W (Correg.)
0.0000	0.1504	3.0485					
			0.5330	6.3985	6.3099	1.4856	1.4649
0.0833	0.1306	2.5155					
			0.5114	6.1392	6.3117	1.4254	1.4654
0.1666	0.1116	2.0041					
			0.5330	6.3985	6.3137	1.4856	1.4660
0.2500	0.0918	1.4711					
			0.3742	4.4921	4.8824	1.0429	1.1333
0.3333	0.0779	1.0969					
			0.3338	4.0072	3.6088	0.9303	0.8377
0.4166	0.0655	0.7631					
			0.2315	2.7791	2.7255	0.6452	0.6326
0.5000	0.0569	0.5316					
			0.1803	2.1644	2.0376	0.5025	0.4730
0.5833	0.0502	0.3513					
			0.1588	1.9063	1.4317	0.4426	0.3323
0.6666	0.0443	0.1925					
			0.0727	0.8727	1.1543	0.2026	0.2679
0.7500	0.0416	0.1198					
			0.0700	0.8403	0.8873	0.1951	0.2060
0.8333	0.0390	0.0498					
			0.0350	0.4201	0.7537	0.0975	0.1750
0.9166	0.0377	0.0148					



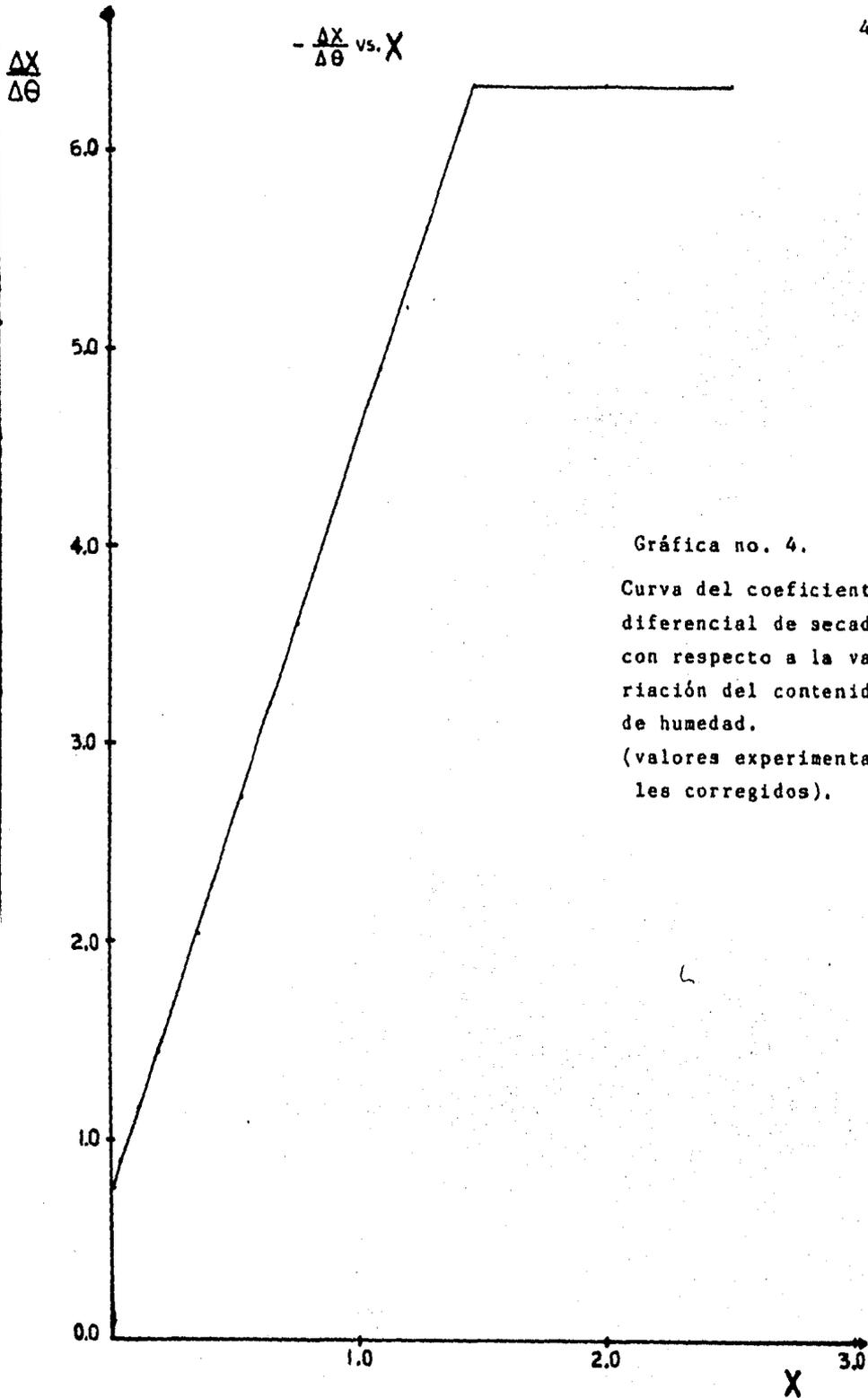
Gráfica no. 1.
Curva de la variación
del contenido de hume
dad con respecto al
tiempo.

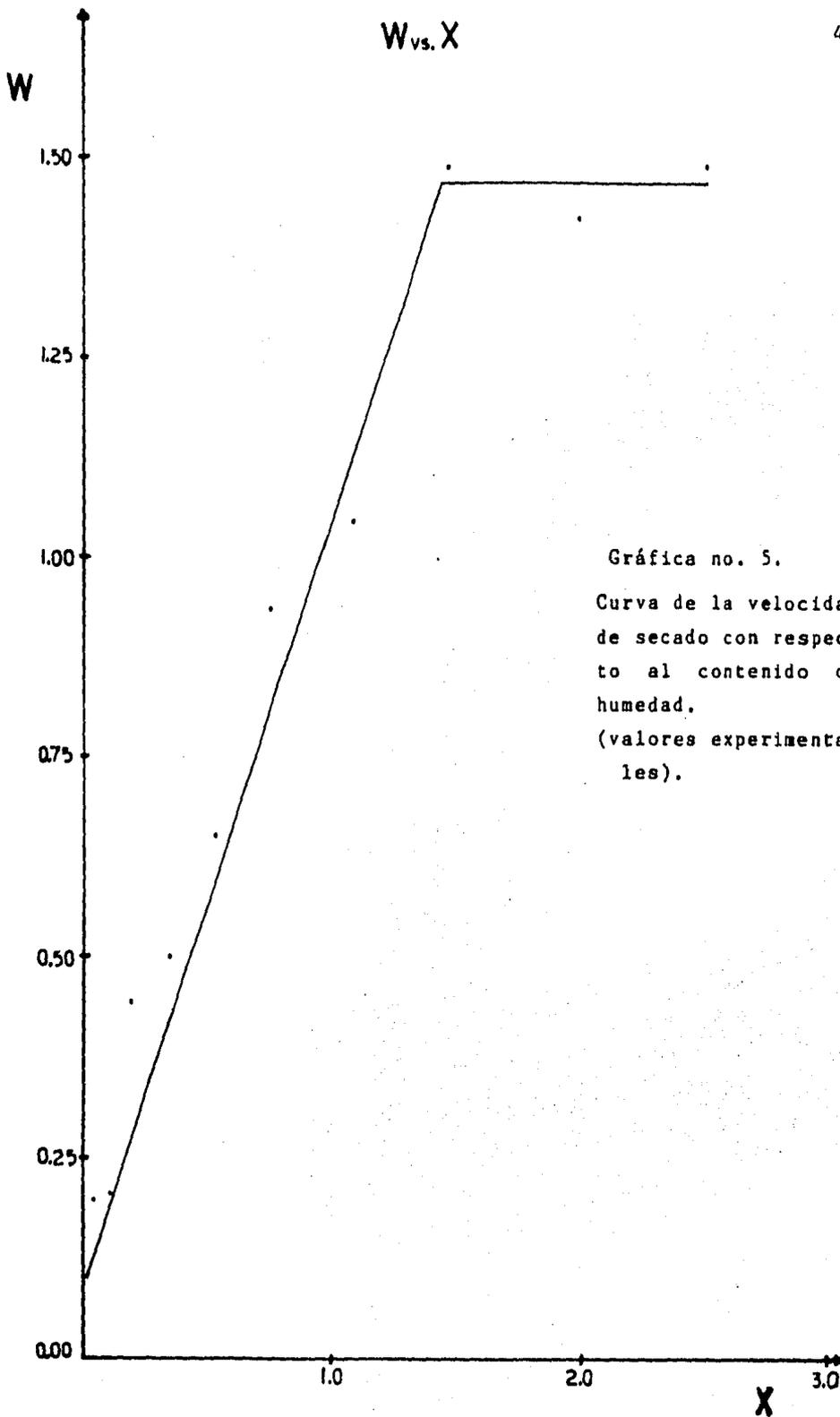
θ vs. X .

$-\frac{\Delta X}{\Delta \theta}$ vs. X

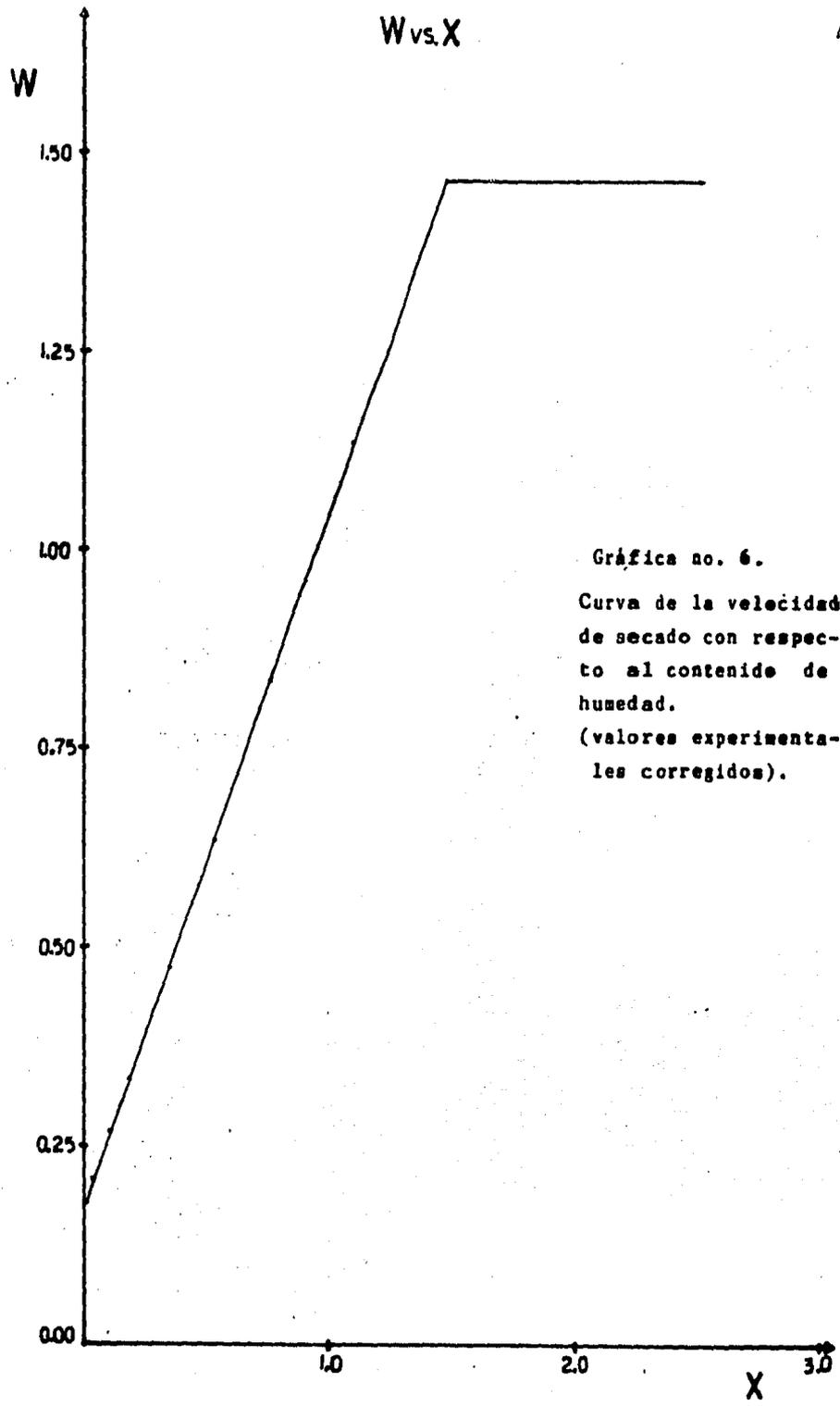


Gráfica no. 3.
Curva del coeficiente
diferencial de secado
con respecto a la va-
riación del contenido
de humedad.
(valores experimenta-
les).





Gráfica no. 5.
Curva de la velocidad de secado con respecto al contenido de humedad.
(valores experimentales).



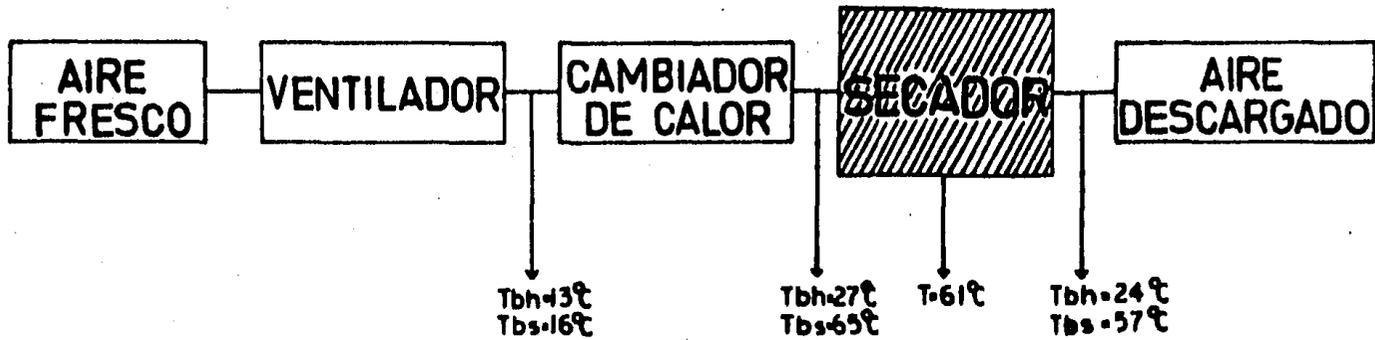
Gráfica no. 6.
Curva de la velocidad de secado con respecto al contenido de humedad.
(valores experimentales corregidos).

En las gráficas no. 1 y no. 2, se observa la variación de la cantidad de humedad del producto (puré de plátano) con respecto al tiempo, operando en condiciones constantes de secado y circulando el aire sobre el producto (puré de plátano) a secar, la humedad del producto (puré de plátano) disminuye linealmente con el tiempo; un período constante de secado con una velocidad representada por $[- \Delta X / \Delta \theta]$. Es de mencionarse que el secado se efectúa a velocidad constante de aire hasta que la humedad del producto (puré de plátano) alcanza un valor crítico, a partir del cuál la velocidad de secado disminuye, anulándose cuando la humedad del producto (puré de plátano) alcanza el valor de equilibrio con el aire en las condiciones constantes de operación.

En las gráficas no. 3, no. 4, no. 5 y no. 6, se presentan dos secciones, que corresponden a un período de velocidad constante con respecto a la pérdida de la cantidad de humedad en el producto (puré de plátano) y un período de velocidad decreciente.

El período de velocidad constante transcurre desde una humedad inicial hasta una humedad crítica. El período de velocidad decreciente se extiende desde la humedad crítica hasta una humedad final, cuyo valor límite es de (0.18) que corresponde a la humedad de equilibrio.

DIAGRAMA DE PROCESO



CAIDA DE PRESION : 28 mm H₂O

PRESION DE VAPOR : 18 Lbf / in²

T_{bh} : TEMPERATURA DEL BULBO HUMEDO.

T_{bs} : TEMPERATURA DEL BULBO SECO.

SECADOR DE CHAROLAS DISCONTINUO POR CONVECCION

BASES DE DISEÑO

. Cantidad de producto alimentado por hora	(W)	0.15040 kg/hr.
. Producción final por hora	(W _f)	0.05753 kg/hr.
. Tiempo total de secado	(θ _t)	0.4166 hr.
. Velocidad del aire de secado	(v)	2.05 m/seg.
. Gasto total del aire de secado	(G)	5,682.60 kg/m ² hr.
. Humedad inicial del producto	(H _i)	75.30 %.
. Humedad final del producto	(H _f)	18.00 %.
. Temperatura del aire caliente	(T ₁)	65.00°C.
. Temperatura de secado	(T ₂)	61.00°C.
. Temperatura ambiente	(T _a)	16.00°C.
. Temperatura del producto alimentado	(T _c)	23.00°C.
. Temperatura del producto final	(T _s)	31.00°C.
. Calor específico del aire	(C _{p_a})	0.24 BTU/lb °F.
. Calor específico del agua líquida	(C _{p_l})	1.00 BTU/lb °F.
. Calor específico del agua vapor	(C _{p_v})	0.46 BTU/lb °F.
. Calor específico del producto	(C _{p_s})	1,020.00 BTU/lb °F.
. Calor latente del agua	(λ)	1,000.00 BTU/lb °F.

CALCULOS DEL BALANCE DE MATERIA

- Cantidad de producto alimentado (W):

$$W = 0.1504 \text{ kg/hr.}$$

- Cantidad de sólido seco alimentado (W_o):

$$W_o = W \times \% \text{ sólido en la muestra.}$$

$$\begin{aligned} W_o &= 0.1504 \times 0.247 = 0.03714 \text{ kg.} \\ &= 0.08189 \text{ lb.} \end{aligned}$$

- Cantidad de agua alimentada ($\underline{A}w_t$):

$$\underline{A}w_t = W \times \% \text{ agua en la muestra}$$

$$\begin{aligned} \underline{A}w_t &= 0.1504 \times 0.753 = 0.11325 \text{ kg.} \\ &= 0.24967 \text{ lb.} \end{aligned}$$

- Cantidad de agua evaporada ($\underline{A}w$):

$$\underline{A}w = \underline{A}w_t \times \% \underline{A}w$$

$$\begin{aligned} \underline{A}w &= 0.11325 \times 0.82 = 0.09286 \text{ kg.} \\ &= 0.20473 \text{ lb.} \end{aligned}$$

- Cantidad de agua residual en el producto final (Ar):

$$Ar = \underline{A}w_t - \underline{A}w$$

$$Ar = 0.11325 - 0.09286 = 0.02039 \text{ kg.}$$

- Cantidad de producto final con 18% de agua (W_f):

$$W_f = W_o + Ar$$

$$W_f = 0.03714 + 0.02039 = 0.05753 \text{ kg.}$$

CALCULO DEL BALANCE DE ENERGIA

- Calor sensible para calentar el agua del producto (Q_1):

$$Q_1 = \underline{A}w_t \times C_{p_1} \times (T_s - T_c)$$

$$Q_1 = 0.24967 \times 1.0 \times (31.0 - 23.0) \times 1.8 =$$

$$Q_1 = 3.5952 \text{ BTU/hr.}$$

- Calor sensible para calentar el sólido del producto (Q_2):

$$Q_2 = W_o \times C_{p_s} \times (T_s - T_c)$$

$$Q_2 = 0.08189 \times 1,020.0 \times (31.0 - 23.0) \times 1.8 =$$

$$Q_2 = 12,029.0313 \text{ BTU/hr.}$$

- Calor latente para evaporar el agua del producto (Q_3):

$$Q_3 = \underline{A}w \times \lambda$$

$$Q_3 = 0.20473 \times 1,000.0 = 204.73 \text{ BTU/hr.}$$

- Calor sensible del agua del producto (Q_4):

$$Q_4 = \underline{A}w \times C_{p_v} \times (T_2 - T_s)$$

$$Q_4 = 0.20473 \times 0.46 \times (61.0 - 31.0) \times 1.8 =$$

$$Q_4 = 5.0854 \text{ BTU/hr.}$$

- Calor necesario para evaporar el agua del producto (Q_5):

$$Q_5 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_5 = 3.5952 + 12,029.0313 + 204.73 + 5.0854 =$$

$$Q_5 = 12,242.4419 \text{ BTU/hr.}$$

CALCULO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR

- Calculo de la transmisión de calor efectuado por convección.

$$h_c = 0.0175 G^{0.8}$$

h_c = Coeficiente de convección en las condiciones de trabajo. (Kcal / hr m² °C).

G = Gasto total de aire. (g / m² seg).

donde:

$$G = \rho v \times 10^3$$

$$\rho = 0.77 \text{ g / m}^3$$

$$v = 2.05 \text{ m / seg.}$$

$$G = 0.77 \text{ g/m}^3 \times 2.05 \text{ m/seg} \times 10^3 = 1,578.5 \text{ g/m}^2 \text{ seg.}$$

$$G = 5,682.60 \text{ kg / m}^2 \text{ hr.}$$

sustituyendo valores tenemos:

$$h_c = 0.0175 \times [5,682.60]^{0.8} = 17.6471 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ °C.}$$

$$h_c = 17.6471 \text{ Kcal / hr m}^2 \text{ °C.}$$

- Cálculo de la transmisión efectuada por conducción.

$$R_m = \frac{10^3 [H_i - H_f] W_f}{A \times \theta}$$

donde:

R_m = Velocidad total de secado por conducción. (g/m^2 seg).

H_i = Humedad inicial del producto. (kg/kg).

H_f = Humedad final del producto. (kg/kg).

W_f = Peso del producto final. (kg).

A = Area de secado. (m^2).

θ = Tiempo de secado. (seg).

$$R_m = \frac{1,000 [0.753 - 0.18] 0.05753}{0.1635 \times 1,440} = 0.14 \text{ g/m}^2 \text{ seg.}$$

$$h_g = \frac{R_m \lambda}{T_h - T_b}$$

donde:

h_g = Coeficiente de conducción. (Kcal / hr m^2 °C).

R_m = Velocidad total de secado por conducción. (g / m^2 seg).

λ = Calor latente del agua a 65°C.

T_h = Temperatura de vapor saturado a 2 bar manométricos de presión. (°C).

T_b = Temperatura de ebullición del agua en el secador. (°C).

$$h_g = \frac{0.504 \times 345.0}{132 - 65} = 2.557$$

$$h_g = 2.557 \text{ Kcal / hr } m^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

- Cálculo de la transmisión de calor efectuado por radiación.

$$h_r = \sigma \frac{[(T_r + 273)^4 - (T_s + 273)^4]}{T_r - T_s}$$

donde:

h_r = Coeficiente de radiación en las condiciones de trabajo.
(W / m² °C).

σ = Constante de Stefan Baltzmann. (56.7 x 10⁻⁹ W / m² K⁴).

T_r = Temperatura de la superficie radiante. (°C).

T_s = Temperatura de la superficie de secado. (°C).

sustituyendo valores tenemos:

$$T_r = 61^\circ\text{C}.$$

$$T_s = 27^\circ\text{C}.$$

$$h_r = 56.7 \times 10^{-9} \frac{[(61 + 273)^4 - (27 + 273)^4]}{61 - 27}$$

$$h_r = 7.2454 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$h_r = 6.2295 \text{ Kcal / hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

En el caso particular del Secador de Charolas empleado para esté estudio, a la superficie de las charolas llega calor por convección desde el aire, por radiación de la charola superior y por conducción a través del material. Considerando que los coeficientes h_c y h_r son los mismos para las superficies de las charolas y el material.

$$U = (h_c + h_r) \left[1 + \frac{1}{1 + \frac{L}{k} (h_c + h_r)} \right]$$

donde:

h_c = Coeficiente de convección.

h_r = Coeficiente de radiación.

L = Espesor del material húmedo.

k = Conductividad calorífica.

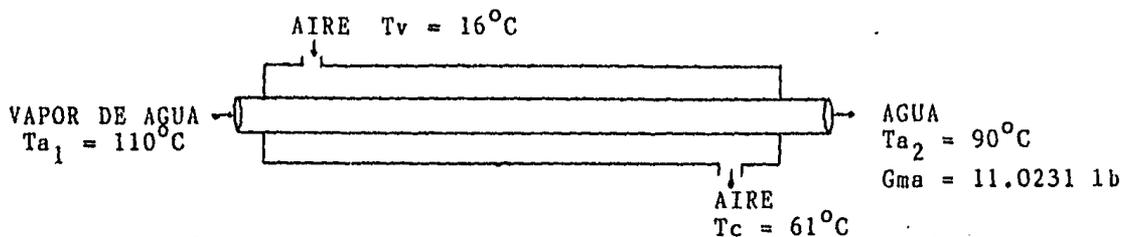
U = Coeficiente de transferencia de calor. (Kcal/hr m^2 $^{\circ}C$).

sustituyendo valores tenemos:

$$U = (17.6471 + 6.2295) \left[1 + \frac{0.17}{1 + 0.001 (17.6471 + 6.2295)} \right]$$

$$U = 27.8409 \text{ Kcal / hr } m^2 \text{ } ^{\circ}C.$$

BALANCE DE ENERGIA PARA EL CAMBIADOR DE CALOR



En régimen permanente $G_{ma_1} = G_{ma_2} = G_{ma}$ (AGUA) y -
 $G_{mv} = G_{mc}$ (AIRE), de manera que al efectuar el balance de en-
 talpías a través del cambiador se obtiene:

$$G_{ma} H_{a_1} + G_{mv} H_v = G_{ma} H_{a_2} + G_{mc} H_c \quad \dots (1)$$

$$G_{mv} H_v - G_{mc} H_c = G_{ma} H_{a_2} - G_{ma} H_{a_1} \quad \dots (2)$$

$$G_{mv} (H_v - H_c) = G_{ma} (H_{a_2} - H_{a_1}) \quad \dots (3)$$

El lado izquierdo de la ecuación (3), representa el calor
 recibido por el aire (Q_v) y el lado derecho el calor cedido -
 por el vapor de agua que se condensa (Q_a).

$$G_{mv} = \frac{G_{ma} [H_{a_2} - H_{a_1}]}{[H_v - H_c]}$$

$$G_{mv} = \frac{11.0231 [161.26 - 1,167.10]}{[134.5518 - 243.5040]}$$

$$G_{mv} = 101.7645 \text{ lb aire.}$$

Calculo del calor específico del agua.

$$H_{a_2} - H_{a_1} = C_{p_{\text{agua}}} (t_{a_2} - t_{a_1})$$

$$C_{p_{\text{agua}}} = \frac{H_{a_2} - H_{a_1}}{t_{a_2} - t_{a_1}}$$

$$C_{p_{\text{agua}}} = \frac{161.26 - 1,167.10}{90 - 110} = 50.292 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{C}.$$

Calculo del calor que cede el vapor de agua al aire, (Q_a):

$$Q_a = G_{\text{ma}} C_{p_{\text{agua}}} [t_{a_2} - t_{a_1}]$$

$$Q_a = (11.0231) \times (50.292) \times (90 - 110)$$

$$Q_a = 11,087.4749 \text{ BTU / hr.}$$

Calculo del calor especifico del aire.

$$H_c - H_v = C_{p_{\text{aire}}} [t_c - t_v]$$

$$C_{p_{\text{aire}}} = \frac{H_c - H_v}{t_c - t_v}$$

$$C_{p_{\text{aire}}} = \frac{243.504 - 134.5518}{61 - 16} = 2.42116 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{C}.$$

Calculo del calor que recibe el aire del vapor de agua, (Q_{aire}):

$$Q_{\text{aire}} = G_{\text{maire}} C_{p_{\text{aire}}} [t_c - t_v]$$

$$Q_{\text{aire}} = (101.7645) \times (2.42116) \times (61 - 16)$$

$$Q_{\text{aire}} = 11,087.4661 \text{ BTU / hr.}$$

Calculo de la perdida de calor, (Q_p):

$$Q_p = Q_{\text{aire}} - Q_5$$

$$Q_p = 11,087.4661 - 12,242.4419$$

$$Q_p = - 1,154.9758 \text{ BTU / hr.}$$

CALCULO DEL TIEMPO DE SECADO PARA OBTENER UN PRODUCTO
CON 18% DE HUMEDAD

- Período Antecrítico:

$$\theta_a = S/A [(X_i - X_f) / W_c]$$

donde:

θ_a = Tiempo de secado en el período antecrítico.

S = Peso del sólido con 18% de humedad.

A = Area de la superficie expuesta.

X_i = Humedad inicial.

X_f = Humedad final.

W_c = Velocidad de secado crítica.

$$\theta_a = (0.057534/0.16) \times [(0.753 - 0.18) / 1.46]$$

$$\theta_a = 0.1411 \text{ hr.}$$

- Período Poscrítico:

$$\theta_p = S/A \left[\frac{(X_1 - X^*)}{W_c} \ln \left(\frac{(X_1 - X^*)}{(X_f - X^*)} \right) \right]$$

donde:

θ_p = Tiempo de secado en el período poscrítico.

S = Peso del sólido con 18% de humedad.

A = Área de la superficie expuesta.

X_1 = Humedad inicial.

X^* = Humedad de equilibrio.

X_f = Humedad final.

W_c = Velocidad de secado crítica.

$$\theta_p = \frac{0.057534}{0.16} \times \frac{0.753 - 0.0053}{1.46} \ln \frac{0.753 - 0.0053}{0.180 - 0.0053}$$

$$\theta_p = 0.2677 \text{ hr.}$$

$$\theta_t = \theta_a + \theta_p$$

donde:

θ_t = Tiempo total de secado.

θ_a = Tiempo de secado en el período antecrítico.

θ_p = Tiempo de secado en el período poscrítico.

$$\theta_t = 0.1411 + 0.2677$$

$$\theta_t = 0.4088 \text{ hr.}$$

CALCULO DEL AREA TOTAL DE SECADO

$$\theta_t = S/A [((X_i - X_f)/W_c) + ((X_i - X^*)/W_c) \ln ((X_i - X^*)/(X_f - X^*))]$$

donde:

θ_t = Tiempo total de secado.

S = Peso del sólido con 18% de humedad.

A = Area de la superficie expuesta.

X_i = Humedad inicial.

X^* = Humedad de equilibrio.

X_f = Humedad final.

W_c = Velocidad de secado crítica.

$$0.4088 = \frac{0.057534}{A} \left[\frac{0.753 - 0.18}{1.46} + \frac{0.753 - 0.0053}{1.46} \ln \frac{0.753 - 0.0053}{0.180 - 0.0053} \right]$$

$$A = 0.160027 \text{ m}^2$$

C A P I T U L O VII.

RESULTADOS

C A P I T U L O VII

RESULTADOS

- De acuerdo al tratamiento previo que se realiza a nivel laboratorio del proceso de deshidratación del plátano, - el fruto- conservo su color, sabor y su apariencia, sin perder sus propiedades.
- Dicho tratamiento del fruto, citado en el parrafo anterior, se realiza con una solución de bisulfito de sodio con una concentración de 1.25 % en peso, que es empleada para evitar el obscurecimiento de la pulpa del plátano. Por otra parte se observo que -el fruto- al termino del tratamiento - absorbe menos de 200 ppm. de dióxido de azufre (SO_2), que contiene la solución.
- Con base en los datos experimentales obtenidos de la muestra

del plátano en forma de puré, se realizaron los calculos correspondientes a la velocidad de secado, tiempo de secado y contenido de humedad en -el fruto-, para la obtención posterior de las curvas de secado reales para esté tratamiento. Como se observa en las curvas de secado, el proceso de secado primeramente presenta un período de velocidad continua y posteriormente un período de velocidad decreciente.

- Las condiciones óptimas de proceso que permiten obtener el producto a las condiciones que se requieren, es manteniendo una relación de temperatura de búlbo seco de 61°C y una velocidad de aire en el secador de 2.05 m/seg.

C A P I T U L O V I I I .

CONCLUSIONES

C A P I T U L O VIII

CONCLUSIONES

- En la presente investigación se utilizó el método de inmersión del plátano con una solución acuosa de bisulfito de sodio, obteniendo un buen resultado mientras se encuentra la materia prima en presencia de dióxido de azufre, previniendo el oscurecimiento de la misma.
- Según los resultados obtenidos y bajo las condiciones utilizadas, a nivel de pequeña y mediana industria, el procedimiento más adecuado para transformar el plátano fresco es la deshidratación. El mejoramiento de dicho procedimiento estriba principalmente en el control de la velocidad y la temperatura de bulbo seco del aire caliente para reducir el tiempo de secado.

- Se recomienda hacer el corte de la fruta con cuchillos de madera, cobre, plata ó acero inoxidable, para prevenir el oscurecimiento y la contaminación.
- El tratamiento previo del fruto mediante una solución química fue con el objeto de evitar su oscurecimiento, no alterando sus condiciones para el proceso, ya que sigue manteniendo su sabor y color. Por otra parte se debe evitar que la temperatura de proceso se eleve a más de 80°C, ya que ocasionaría la alteración ó descomposición del fruto, perdiendo algunas de sus propiedades.
- El producto obtenido por la deshidratación, es pasado por un molino, para así obtener la harina. Y así esté producto puede ser transportado más fácilmente ya que ocupa poco volumen.

C A P I T U L O IX.

BIBLIOGRAFIA

C A P I T U L O IX

BIBLIOGRAFIA

- Brekke J. F. and Allen L.
Deahidrated Bananas.
Food Technology 21, (1967).
- B. Jacobs Morris, Ph. D.
The Chemical Analysis of Foods and Food Products.
- Brekke, J. E., Tonaki, K. I., Cavaletto, C. G., and
Frank, H. A.
Stable Banana pure from long-term refrigerated storage.
J. Sci. Fd. Agric. 20, (1969).
- Celis A. Polo.
El plátano en México.
Secretaría de Agricultura y Fomento (1942).

- Desrosier W. Norman.
Conservación de los Alimentos.

- Foust S. A.
Principios de Operaciones Unitarias.
Decima primera Impresión 1978.
Ed. C.E.C.S.A.

- Joslyn, M. A.
Methods in food analysis.
2nd edition.
New York, 1970.

- Kern Q. Donald.
Procesos de Transferencia de Calor.
Edición (1979).
Ed. C.E.C.S.A.

- New Product ideas from bananas.
Food Engineering International.
January 1980, Vol. 5, No. 1.

- Nonhebel G. y Moss H. A. A.
El secado de sólidos en la Industria Química.
Edición 1979.
Editorial Reverté, S. A.

- Ocon García Joaquín y Tojo Barreiro Gabriel.
Problemas de Ingeniería Química.
Tomo II, Edición 1970.
Ed. Aguilar.

- Oro no es, Plata no es.

La revista de negocios de México y Centro América.

Revista Expansión 29, mayo 1974.

- Perry H. John.

Chemical Engineers' Handbook.

Fourth Edition.

Ed. Mc. Graw-Hill.

- Potter N. Norman Ph. D.

La ciencia de los alimentos.