

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**CONTRIBUCION EXPERIMENTAL AL SECADO DE
PURE DE JITOMATE**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

P r e s e n t a n

**JUAN JOSE CERVANTES GARCIA
MARIO ARTURO RODRIGUEZ RUIZ ESPARZA**

MEXICO, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

TESIS 1979
M. T. 70



JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE

| | |
|--------------|-----------------------------------|
| PRESIDENTE | Profa. Carmen Durán de Bazúa |
| VOCAL | Prof. Eduardo Bárcenas García |
| SECRETARIO | Prof. Salvador Eaduí Derasel |
| 1er SUPLENTE | Prof. Federico Galdeano Bienzobas |
| 2o. SUPLENTE | Profa. Zoila Nieto de Meléndez |

Sitio donde se desarrolló el tema:

Departamento de Alimentos de la División de Estudios Superiores de la Facultad de Química, UNAM.

Nombre completo y firma de los sustentantes:

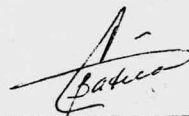
Juan José Cervantes García

Mario Arturo Rodríguez Ruíz Esparza



Nombre completo y firma del asesor del tema:

Profa. Carmen Durán de Bazúa



R E C O N O C I M I E N T O S

A la Maestra Carmen Durán de Bazúa por la dirección y su valiosa -
colaboración en la ejecución de este trabajo.

Al Departamento de Alimentos de la División de Estudios Superiores
de la Facultad de Química de la U.N.A.M., por las facilidades otor-
gadas para la elaboración del presente trabajo. A Salvador Baduí,
Eduardo Bárzana, Zoila Nieto y Angeles Valdivia por su valiosa -
colaboración.

A Lilia por su valiosa ayuda en la transcripción de este trabajo.

Al Taller Mecánico del Laboratorio de Ingeniería Química por las -
facilidades prestadas en la construcción del Secador. A Don Pedro.

DEDICATORIA

A mi madre Francisca con gran
carifio, admiración y gratitud,
por todo el amor y apoyo que
supo darme.

A mi padre José Guadalupe con
carifio y respeto por su cons-
tante ayuda a través de todos
mis años de estudio.

A mis padres Juan y Ma. del Carmen
con cariño y respeto.

A mi esposa Gloria
con amor

Agradecimiento:

A quienes con su apoyo y
confianza hicieron posible
la culminación de mis es-
tudios profesionales.

I N D I C E

PAG.

| | |
|--|-----|
| RESUMEN..... | 1 |
| CAPITULO 1. Introducción..... | 2 |
| CAPITULO 2. Generalidades..... | 6 |
| 2.1. Clasificación..... | 7 |
| 2.2. Variedades..... | 8 |
| 2.3. Importancia nutritiva del tomate o jitoma te..... | 10 |
| CAPITULO 3. La Deshidratación de Alimentos..... | 14 |
| 3.1. Proceso de secado..... | 17 |
| 3.2. Teoría del secado..... | 23 |
| 3.3. Fundamentos teóricos de espumas..... | 30 |
| CAPITULO 4. El proceso Secado por Espumado..... | 46 |
| 4.1. Antecedentes..... | 46 |
| 4.2. Diseño experimental..... | 65 |
| CAPITULO 5. Resultados..... | 79 |
| 5.1. Producción de espumas..... | 79 |
| 5.2. Operación del secador de charolas contí- nuo..... | 85 |
| CAPITULO 6. Conclusiones y Recomendaciones..... | 109 |
| 6.1. Conclusiones..... | 109 |
| 6.2. Recomendaciones..... | 111 |
| APENDICE I | 113 |
| APENDICE II..... | 120 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 126 |
| INDICE DE TABLAS..... | 131 |
| INDICE DE FIGURAS..... | 133 |

RESUMEN

El presente trabajo es un estudio enfocado a contribuir con información y datos experimentales ^{los} sobre el secado de puré de tomate por el método de espumado. En la primera parte se estudió la formación y estabilidad de espumas a partir de pasta de tomate, analizándola en todas sus variables. Las condiciones de proceso más benéficas que se alcanzaron en los experimentos realizados con el segundo lote de pasta de tomate al 30% S.S. fueron las siguientes: Temperatura de la pasta, 10°C; Velocidad del agitador, 300 RPM; Concentración de Surfactantes (Span 60 - Tween 60), 1.31% surfactantes/sólidos totales; Relación lipofílico-hidrofílico, HLB = 6.0 y tiempo de agitación, 4 min. La segunda parte fue el diseño, construcción y operación de un secador de charolas continuo escala laboratorio. En la operación del mismo se obtuvo un polvo libre de olores extraños, de buen sabor y color, a una velocidad de producción de 0.27 Kg/h m² de superficie activa, con una humedad de 0.031 Kg agua/Kg S.T. El polvo seco se reconstituyó en agua (20°C) rápidamente, obteniéndose un puré de buena textura.

CAPITULO 1.

INTRODUCCION

La falta de estudios e información oportuna, veraz y suficiente, sobre las condiciones de los mercados de consumo, es causa de grandes problemas en la planeación de la producción de los productos del campo.

Además de estos problemas, que generalmente enfrentan todos los productos agrícolas, el tomate ó jitomate, como es conocido en el Valle de México, presenta una serie de factores que también influyen determinadamente en la variación de la producción.

De las estadísticas anuales divulgadas por la Dirección General de Economía Agrícola de la SARH (1), es notable observar que casi la totalidad del país cultiva este producto, siendo las zonas Noroeste y Centro las de mayor importancia agrícola con un 45 y 34% respectivamente de la producción nacional. Asimismo su contribución al valor total de la producción es muy importante, siendo del 60% para la zona Noroeste y del 28% para la zona Centro.

De esta información, está claro que la zona Noroeste (Baja California, Sinaloa y Sonora), muestra ventajas apreciables sobre la zona Centro (Guanajuato, Hidalgo, México, Morelos, Puebla y Querétaro) y muy principalmente sobre el resto del país, viéndose reflejado esto en un precio mayor por Kg y rendimientos más altos por hectárea.

Esta situación se debe esencialmente a que la zona Noroeste es un mercado preferentemente internacional o de exportación, con tanto para ello con financiamiento adecuado, tecnología agrícola e industrial apropiada, recursos suficientes, etc., lo que la hace una región de características muy diferentes al resto del país. Sin embargo, la zona Centro y demás regiones productoras cuyo objetivo es el mercado nacional, se ven obligadas a enfrentar una cantidad mayor de problemas tales como: variación en el precio (originado éste, en su mayoría, por el mercado de exportación), precios muy bajos, falta de financiamiento e información para la exportación, carencia casi total de industrias de transformación, medios de transportación, deficientes, etc., lo que conduce a los resultados tan desfavorables de casi todo el campo agrícola nacional como son las pérdidas de casi el 30% de la producción.

Estas pérdidas ocurren tanto en el almacenamiento, como a la falta de transportación adecuada. La descomposición microbiológica, la actividad enzimática, los ataques de insectos y roedores, etc., son solamente algunos de los factores físicos y químicos que ocasionan estas pérdidas.

Como consecuencia, se consideró la necesidad de llevar a cabo estudios de investigación cuyo objetivo fuera precisamente el de resolver estos problemas y contribuir en esta forma a lograr una estabilidad que repercuta positivamente en el campo.

Por ello, el objetivo de esta tesis es precisamente el de

contribuir con datos experimentales en un estudio específico que se considera podría llegar a satisfacer las necesidades del campo agrícola nacional, proporcionando la información indispensable y suficiente para implantar a corto plazo y bajo costo relativamente, pequeñas plantas industriales, esto es, agroindustrias para procesar productos perecederos.

* Las posibilidades de instalar una planta de este tipo, dependen en gran parte del producto que se desea fabricar. Actualmente en México, el tomate procesado se presenta en una gran variedad de formas, siendo las más importantes las siguientes: jugo, puré, salsa (catsup y mexicana) y "consomé" de tomate (contiene de 5 a 9.5% de tomate deshidratado).

La elección de alguno ó algunos de estos productos, enfrentaría un problema común para todos ellos, que es, el poco arraigo que tienen en la dieta del mexicano, debido esencialmente a que el tomate fresco, puede ser adquirido en las grandes poblaciones todo el año, no obstante que su precio se vea incrementado en algunos meses hasta en un 200%. Sin embargo, algunos de estos productos, especialmente el "consomé" con tomate han aumentado considerablemente sus ventas en los últimos meses en las grandes ciudades, gracias a fuertes campañas publicitarias, ya que son elaborados por compañías transnacionales que basan su poder de venta en campañas hacia el consumidor dirigidas profesionalmente.

En este estudio se analiza el proceso de fabricación de

tomate deshidratado. Representa una etapa preliminar para la obtención de información experimental que permita continuar con el trabajo global de implementación de plantas agroindustriales, operadas por los mismos productores. Este producto deshidratado presentaría las siguientes ventajas:

- a) Los costos de transportación y almacenamiento serían reducidos substancialmente al procesar un producto que inicialmente tiene más de 90% de agua y que se reduce casi al 3% en peso.
- b) La posibilidad de que el producto deshidratado obtenido directamente por los productores llegue a todos los estratos sociales para su consumo por medio de alguna o algunas instituciones paraestatales (por ejemplo: CONASUPO, Tiendas Sindicales, tiendas ISSSTE, etc.) sin pasar por intermediarios.
- c) Se podría buscar la exportación a otros países tradicionalmente importadores de tomate fresco y en forma de puré (por ejemplo: Japón y E.E.U.U.). Esta alternativa es de gran importancia, ya que se vendería un producto completamente procesado, beneficiando a los productores y no a intermediarios. También disminuirían los gastos de transportación, debido a su menor peso y volumen y mayores facilidades para su manejo.
- d) El proceso se adaptaría para el secado de otros jugos de frutas y verduras, así como de café, leche, té, etc.

Este trabajo se enfocará directamente a estudiar las posibilidades de deshidratar puré de tomate empleando el método de espuma y secado a bajas temperaturas.

GENERALIDADES.

Las plantas de tomate, actualmente cultivado en el mundo (LYCOPERSICUM ESCULENTUM) son de origen americano, específicamente de las estribaciones occidentales de los Andes (Perú y Ecuador). En el siglo XVI, los botánicos europeos designaban a ésta especie con los nombres vulgares de "Mala Peruviana", "Pomi de Perú", "Manzana Peruana", "Manzana Dorada" y "Manzana del Amor"; y aunque esto hace suponer que el origen de la planta, o cuando menos su cultivo, debe referirse a Perú, hay evidencias de que esta planta se hallaba en México antes de la conquista; los aztecas la conocieron como "Xitomatli" y la cultivaron en gran escala con fines alimenticios (2).

Esta planta fué llevada a España por los conquistadores y de allí se extendió a Francia y demás países europeos. Las primeras referencias del tomate en la literatura europea aparecen en 1554, en el Herbario de Pietro Andrea M. donde se le llama "Mala Aurea" y "Pomidoro". Durante muchos años se le consideró curiosa, decorativa, venenosa y aún de propiedades afrodisiacas.

En España y en Italia, en el siglo XVII, fué donde en Europa, se le aprovechó por primera vez para uso culinario. En los siglos XVIII y XIX fué modificándose el concepto habido sobre el tomate y ya como fruto comestible se incrementó su demanda. En Francia se usaba para formar una pasta que servía a los farmacéuticos para sus preparados en píldoras. En EE.UU., se cultivó por primera vez

para uso culinario, en Virginia, en el año de 1781. (En los últimos 90 años su cultivo ha sido incrementado de tal forma, que es ya mundialmente, uno de los principales productos agrícolas.)

2.1 CLASIFICACION.

El tomate pertenece a la familia de las Solanáceas y al género *Lycopersicum*, que a su vez queda comprendido en el orden de las tubiflorales al igual que la papa y el pimiento. Ese género se divide en dos subgéneros: el *Eulycopersicum*, de fruto rojo, que comprende al *L. Esculentum* y el *L. Pimpinelly follium*. El otro subgénero, *Eriopersicon*, de fruto verde, incluye el *L. Cheesamanii*, el *L. Peruvianum*, *L. Irsutum*, *L. Glandulosum* y *L. Pissisi*.

Estas especies están estrechamente relacionadas en cuanto a morfología, reacciones al medio ambiente y citología. Aún cuando los cruzamientos de algunas especies son difíciles de realizar, se han conseguido casi en todas y con suficiente fertilidad, como para permitir estudios experimentales.

En regiones templadas, el tomate crece como planta anual, o de corta vida, herbácea, en la cual un gran número de tallos se encuentran extendidos, comúnmente rastreros, debilmente ascendentes y de dimensiones variables. Unos cuantos días después de su autopollinización, el ovario, que es súpero con placentación axilar, aumenta de volumen hasta formar un fruto liso, cuando está desarrollada, con amplias oscilaciones en forma y tamaño dependiendo de la variedad.

El fruto, verde o rojo, es una baya de dos ovarios lóculos con placenta carnosa que contiene una gran cantidad de semillas ovaladas cubiertas de pelillo.

2.2 VARIEDADES.

A partir de la total aceptación del jitomate como fruto comestible, se han realizado gran cantidad de experimentaciones de cruas encaminadas a la obtención de variedades con características que hagan más rentable su explotación. Se ha buscado mejorar el tamaño, color, rendimiento, resistencia a las enfermedades, consistencia, etc. A continuación se muestran las variedades con mayor demanda en América en la actualidad.

TABLA 2.2.1

(Ferry Morse S.C.I., 1975) (3).

TOMATE-LYCOPERSICUM ESCULENTUM.

| Variedad o Híbrido | Madurez | Hábito crecimiento | Fruto | Tamaño fruto color-tipo |
|---|-------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| ACE. Para enlatar y consumo fresco. Desarrollado por la Cía. Campbell Soup. | Algo precoz | Determinado | semi-globular | Grande, uniformemente rojo. |
| CHICO III. Tipo pera para ser cosechado mecánicamente, para enlatado. | Precoz | Det. | Termina en punta y apurado. | Verde claro a rojo. |
| EARLY PAK No. 7. Para enlatar. Transporte a largas distancias. | Algo Precoz | Det. | Globo Alargado | Mediano a grande, rojo base verde. |

| Variedad o Híbrido | Madurez | Hábito crecimiento | Fruto | Tamaño fruto color - tipo |
|--|-----------------------------|---|--|---|
| EARLY PAK 707. Para enlatado y resistente al transporte. | Algo Precoz | Determinado | Alargado globo | Medio rojo |
| FIRE BIRD V.F. Para mercado fresco. Mas - rendidor que ACE. | Mediano | Semi-deter- minado | Globo grande | Grande, verde oscuro, pared gruesa. |
| FLORADEL. Resistente a la pudrición de la base y a las rajaduras. | Interme dia. | Hojas gran- des. Inde- terminada. | Redondo | Entre mediano y grande. |
| V.F. 428 F2. Apropriado para enlatar y transporte a larga distancia. | Interme dia. | Determinado | Globo | Mediano a gran de rojo, base verde. |
| GRAND PRIX. Muy grande y firme, rendidor. Para mercado fresco. | Mediano | Grande vigoroso | Globo ligera- mente- acharado | Grande, rojo oscuro. |
| HEINZ 1409. Muy liso. Variedad para ser procesada. | Mediano Tempra- no. | Determinado | Globo li- geramente achatado | Rojo medio Uniforme |
| HEIZ 1350. Para propó- sitos industriales | Interme dia pre- coz. | Determinado | Globo alargado | Mediano, rojo Uniforme. |
| HEINZ 1370. De buena producción | Interme dia. | Determinado | Globo Alargado | Mediano, rojo Uniforme. |
| HOMESTEAD ELITE. Varie- dad para transporte a larga distancia. | Interme dia. | Determinado | Globo In- termedio | Grande, rojo Uniforme |
| HOMESTEAD FM 61. Trans- porte a larga distancia | Interme dia | Determinado | Globo In- termedio | Grande, rojo base verde. |
| ROMA V.F. Tipo para pas- ta. | Interme dia pre- coz. | Determinado | Ovalado profundo | Pequeño, rojo |
| NAPOLI V.F. Tiene buen potencial por alto ren- dimiento. | Interme dio | Medio com- pleto | Pera | Rojo oscuro |

| Variedad o Híbrido | Madurez | Hábito crecimiento | Fruto | Tamaño fruto color - tipo |
|---|-------------|-----------------------|----------------|-------------------------------|
| PICKMASTER. Para enlatado y para ser cosechado a máquina. | Medio | Compacto | Medio rojo | Comparable al Roma V.F. |
| CHERRY LARGE. Ampliamente utilizada para transporte. Ensaladas y adornos. | Intermedia. | Ind. | Globo | Muy pequeño rojo, base verde. |
| RUTGERS. Para enlatar y transportar. | Intermedia | Ind. | Globo | Grande, rojo base verde. |
| TROPI-GRO. Para mercado fresco. Consistente y suave. | Intermedia | Det. | Aglobado | Verde parejo |
| TROPI-RED. De apariencia interna excelente. Para mercado fresco. | Intermedia | Det. | Aglobado | Grande |
| MARION. Para transporte cuando rosado, a larga distancia. | Algo tardía | Ind. | Globo alargado | Grande, rojo base verde. |
| MECHANICAL HARVESTER. Para cosecha mecánica. Uso industrial | Tardía | Det. | Redondo | Pequeño |

2.3 IMPORTANCIA NUTRITIVA DEL TOMATE. COMPOSICION QUIMICA. ^{Tomo}

La significación del lugar que ocupa en nuestra industria, así como el desarrollo alcanzado, encuentran justificación en el elevado poder alimenticio del tomate que, especialmente en su forma de concentrado, posee un alto poder excitante del sistema nervioso simpático y por consiguiente algunos de los actos complementarios más importantes de la nutrición (salivación, motilidad gástrica, secreciones, etc.) son, sin duda, benéficamente influenciados. A la fecha,

la biología y la dietética van aún más allá en la evaluación de las propiedades del tomate: su jugo se da a los lactantes y los pediatras hablan con entusiasmo de este subsidio alimenticio que es perfectamente tolerado y es obtenible en cualquier época.

La explicación para tales propiedades pueden hallarse en la composición química del tomate, rico en aminoácidos y en ácidos orgánicos (en base seca), que le confiere ventajosas particularidades entre los frutos. Contiene, además, notables cantidades de vitaminas especialmente "C" y "A" (en base seca).

La composición del tomate difiere sensiblemente de una variedad a otra; por término medio es; 3 a 5% de piel y semillas, mientras el resto esta representado por pulpa y jugo.

La composición química del jugo es muy variable, ya que depende de la variedad del fruto, grado de maduración, época de recolección, localidad, cuidados durante el cultivo, condiciones meteorológicas, enfermedades, etc. Algunas de estas causas escapan a nuestras posibilidades de control; otras, sin embargo, son modificables y podemos hacerlas variar favorablemente hacia las necesidades actuales.

Las variaciones en la composición de los frutos durante la maduración son de gran importancia y debe tenerse muy en cuenta para determinar el estado de madurez apropiado, para obtener derivados con características y cualidades particulares. Para ilustrar lo anterior

se presenta la siguiente tabla.

TABLA 2.3.1.

(Towey, F.W. 1970) (4).

| Edad del fruto días. | Agua % | Proteínas (g) | Acido* Citrico (g) | Carbohidratos degradables (g) | Almidón (g) |
|----------------------|--------|---------------|--------------------|-------------------------------|-------------|
| 14 | 93.2 | 1.2 | 0.3 | 1.7 | 1.1 |
| 35 | 94.5 | 0.8 | 0.9 | 2.1 | 0.6 |
| Maduro | 94.5 | 0.7 | 0.4 | 2.6 | 0.1 |

Base 100 gramos.

* Los demás ácidos presentes: málico, oxálico, tartárico y succínico, fueron expresados como ácido cítrico.

El contenido medio de pectina determinado en la fruta madura es de 0.17 %.

Las semillas secas están constituidas por: 7.5% de agua, 22% grasas, 3.85% nitrógeno, 1.3% anhídrido fosfórico, 6.3 cenizas y 6.5 % de potasio.

El residuo de un jugo de tomate de buena calidad está constituído así: 8 a 10% de pulpa y celulosa, 48 a 60% de azúcares reductores, 7 a 10% de ácidos libres, 9 a 10% de cenizas, 6 a 7% de sustancias extractivas no nitrogenadas y 10 a 12% de sustancias nitrogenadas.

Los minerales contenidos por 100 g de tomate expresados en miligramos son: 288 K, 12 Ca, 11 Mg, 0.4 Fe, 0.1 Cu, 21 P, 11 S, 51 Cl y 2.8 Na.

A continuación se presenta una tabla con el valor nutritivo del tomate natural, jugo, puré y salsa.

TABLA 2.3.2

(Tablas uso práctico, INN 1977) (5).

| | Natural | Jugo | Puré | Salsa |
|-----------------------|---------|------|------|-------|
| Porción comestible, % | 86.0 | 100 | 100 | 100 |
| Energía, Kcal | 24 | 24 | 40 | 4.5 |
| Proteínas, g | 1.0 | 0.8 | 1.3 | 2.6 |
| Grasas, g | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.3 |
| Carbohidratos, g | 4.5 | 5.4 | 10.1 | 10.1 |
| Calcio, mg | 18 | 9 | 22 | 19 |
| Hierro, mg | 2.3 | 1.6 | 0.7 | 2.2 |
| Tiamina, mg | 0.08 | 0.11 | 0.07 | 0.07 |
| Riboflavina, mg | 0.04 | 0.03 | 0.00 | 0.06 |
| Niacina, mg | 1.7 | 0.9 | 1.2 | 1.3 |
| Ascórbico, mg | 2 | 12 | 22 | 10 |
| Retinol, mcqEq. | 4 | 39 | 63 | 106 |

Base, 100 gramos.

CAPITULO 3.

LA DESHIDRATACION DE ALIMENTOS.

Se entiende por desecación de los alimentos, la extracción deliberada del agua que contienen, operación que se lleva a cabo en la mayoría de los casos evaporando el agua por adición del calor latente de vaporización.

La deshidratación es uno de los métodos mas antiguos para conservar alimentos, habiendo sido practicado por los pueblos primitivos con anterioridad a la historia escrita para secar carne y pescado al sol; todavía en la actualidad la desecación constituye uno de los métodos más importantes para conservar alimentos. Los alimentos secos se pueden almacenar durante grandes períodos de tiempo sin que se alteren, ya que los microorganismos que causan la destrucción o deterioro de los alimentos no pueden crecer o multiplicarse en ausencia de agua y muchas de las enzimas que provocan cambios indeseables en la composición química del alimento no pueden actuar sin agua.

Aunque la razón principal de la deshidratación sea la de conservar, también puede tener lugar simultáneamente en otros procesos, como por ejemplo: la cocción del pan; durante la cual el calor aplicado expansiona los gases, cambia la estructura de las proteínas y seca la hogaza. A veces también tiene lugar la desecación de los alimentos cuando no se desea, tal como ocurre durante la maduración del queso y el almacenamiento de carne congelada.

La razón principal para deshidratar jugos de frutas y verduras es producir formas estables, fácilmente manejables y almacenables que se reconstituyan rápidamente para crear un producto de alta calidad tan cercano al original como sea posible (ver Figura 1).

La calidad del producto está, no solamente en su atractivo organoléptico (color, aroma, sabor, etc.) sino principalmente en su valor nutritivo. Las pérdidas en sabor y color disminuyen la calidad de cualquier producto alimenticio. Uno de los factores más importantes que afectan la pérdida de sabor original es el calor; otros pueden ser causados por contacto con algunos metales, solventes, materiales de empaque, etc., o por deterioración de algunos componentes del producto cuando se halla almacenado. Es por esto que la estabilidad es quizá una de las ventajas más importantes de los productos secos sobre otros, en períodos largos de almacenamiento a temperaturas ordinarias. La disminución en peso y volumen de los productos secos es un factor que definitivamente contribuye a una reducción en los costos tanto de transportación como almacenamiento.

Los jugos de cítricos son ricos en Vitamina C, pero esta se descompone fácilmente, tanto por oxidación como por acción del calor, siendo este último factor el paso controlante en el diseño del equipo a emplear (Ponting y colaboradores, 1963) (7). El problema planteado por tanto, a nivel de ingeniería, es que los materiales son termolábiles.

VEGETALES

FRUTAS

JUGO DE FRUTAS

CARNE

LECHE

HUEVOS

ZANAHORIA

ALBARICOQUE

NARANJA

POLLO

SIN GRASA

ENTERO

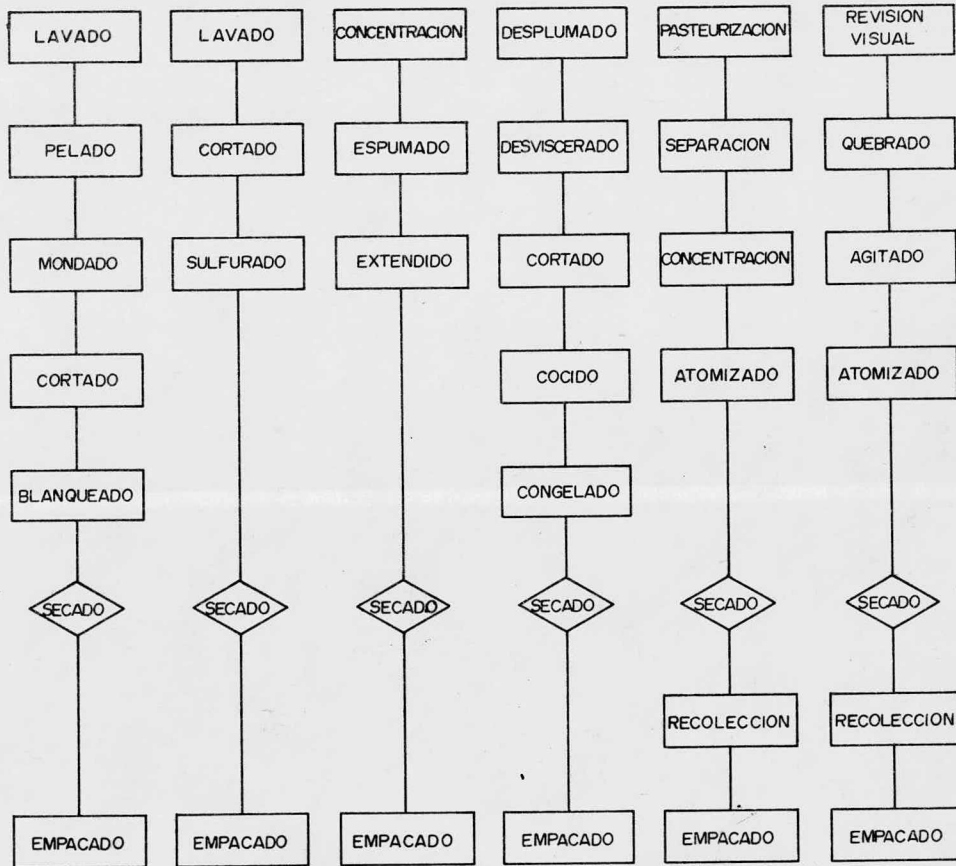


FIGURA 1.- OPERACIONES PRINCIPALES EN LA PRODUCCION DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS (VAN ARSDEL, 1973) (6)

Bajo esta base, las operaciones unitarias que se llevan a cabo en el proceso requerirán equipo y condiciones de operación tales que, al procesar tales materias primas, no se disminuya o elimine su calidad nutritiva y organoléptica.

La estructura del material durante el secado es probablemente la propiedad física más importante a ser considerada en la deshidratación de frutas y verduras. Si esta estructura es porosa y rígida, permitirá que el agua pase más fácilmente a través del material desde el centro a la superficie de evaporación, consecuentemente, disminuirá el tiempo de secado con un gradiente de temperatura menor, lo cual minimiza los daños por calor al producto. Además durante la rehidratación, esta estructura porosa y rígida permitirá que el producto sea rehidratado rápidamente.

Haciendo un análisis de las operaciones unitarias necesarias para obtener el producto, como son la recolección y selección de la materia prima, el lavado, la extracción del jugo, la deshidratación y el empaque, resulta obvio que la deshidratación es la más importante y es por ello que investigaremos las distintas alternativas considerando las cualidades de la materia prima.

3.1 PROCESOS DE SECADO.

Ver primer Anexo de Secado 23

— Los métodos de secado reportados en la literatura hasta la fecha para producir tomate en polvo son los siguientes:

Secado por inflado (Puff-drying; Kaufman y colaboradores, 1955) (8); Secado por aspersión (Spray-drying; Lazar y colaboradores, 1956) (9); Secado en torres (Tower-drying; Lang, 1964) (10); Liofilización o Criodesecación (Freeze-drying; Hamed y Foda, 1966) (11); Secado por espumado (Foam-mat-drying; Ginnette y colaboradores, 1963) (12) y Secado por tambor (Drum-drying; Lazar y colaboradores, 1971) (13).

Agontinuación se hace una descripción breve de cada uno de los procesos de secado antes mencionados y sus efectos sobre la calidad, velocidad de secado, facilidad de rehidratación, etc.

3.1.1. LIOFILIZACION O CRIODESECACION

En este proceso el producto, es primero congelado (-5° a -20°C), y enseguida es secado a un vacío suficiente que mantenga el agua en estado sólido. Durante el secado, el agua abandona el material congelado en estado de vapor, esto es por sublimación. Las ventajas de este método sobre otros, es que evita la desnaturalización de la proteína, así como otras reacciones indeseables y favorece marcadamente la velocidad de rehidratación. Las desventajas son que se requiere de equipo muy costoso y tiempos de secado muy largos. Se ha encontrado que para reducir los tiempos de secado es necesario cambiar la estructura del material, esto es, incrementar la relación área/volumen.

3.1.2. SECADO POR INFLADO.

El secado por inflado, es una variación de secado al vacío

(Strashum y Talburt, 1953) (14), usada para deshidratar jugos de frutas, cuyo aroma y sabor pueden ser rápidamente deteriorados por acción de calor. Este método produce una estructura porosa al aplicar vacío suficiente para expandir, ya sea burbujas de aire o vapor de agua en el concentrado, hasta 20 veces el volumen original. En seguida el producto es secado al mismo vacío, mientras se mantiene la estructura porosa. Normalmente se requiere de una presión de 2 a 6 mm Hg. Utilizando un equipo intermitente, las temperaturas de secado fluctúan entre 60 y 70°C (140 y 160°F), y el tiempo de secado es de 90 minutos a 4 horas. El producto seco debe enfriarse antes de quitar el vacío para evitar el colapso de la estructura porosa, ya que ésta se comporta plásticamente cuando está tibia. Los factores que afectan para que se tenga un buen inflado son la presión, velocidad de reducción de la presión, viscosidad del concentrado, cantidad de gas (aire, N₂, etc.) en el concentrado y la naturaleza física y química de la materia prima.

3.1.3 SECADO POR ASPERSION. — ↓

Es bien sabido el hecho de que por este método no se han obtenido aún productos secos de frutas y verduras de buena calidad, debido a que el objetivo primordial de este proceso, ha sido la alta producción y el bajo costo. El secado por aspersion es un proceso sencillo en principio. El material a secar es atomizado, dentro de una corriente de aire caliente deshumidificado. Las partículas atomizadas caen por gravedad y son secadas mientras éstas alcanzan el fondo, donde son recolectadas. Este proceso presenta venta-

Las atractivas como son: secado rápido, producción continua, alta producción, operación sencilla y bajo costo de mano de obra. Las desventajas principales son: daño en el material a secar por efecto del calor y polvos muy finos, difíciles de rehidratar. Aunque el proceso es simple en esencia, el diseño actual de un secador para producir un producto seco satisfactorio de jugos de frutas y verduras es muy complejo, debido a la gran cantidad de problemas que se presentan desde la atomización, hasta la recolección de los sólidos.

Una variación a este sistema, ha sido el llamado Secado por espersión de espumas, propuesto por Hanrahan y Webb (1961) (15). Esta técnica introduce una nueva operación, el espumado del fluido por inyección de aire a 2000 psi antes de llegar a las espreas. Al entrar al secador, el líquido espumado se expande más que en condiciones normales, permitiéndose la formación de gotas con una pared muy delgada y por lo tanto, tiempos de secado más cortos, con un gradiente de temperatura menor. Este proceso no ha sido usado aún para jugos de frutas y verduras, pero en el caso de la leche, suero de leche, café y té ha dado excelentes resultados.

3.1.4. SECADO POR TAMPOR.

En este método una capa de líquido o puré es aplicada sobre la cara exterior de un tambor o conjunto de tambores girando y calentados en su interior. El secado se lleva a cabo mientras el tambor gira, hasta que el material ya seco es desprendido por medio de una navaja. Este es un método con muy bajo costo de secado, sin

embargo, aunque la producción comercial de algunos jugos de frutas y verduras ha sido reportada desde hace tiempo, el proceso no es usado en la actualidad hasta donde se sabe.

Las siguientes circunstancias han impedido el secado de frutas y verduras por este sistema:

- a) Las altas temperaturas usadas para producir una cantidad razonable de producto seco, es la causa de cambios de color y reacciones indeseables.
- b) El producto seco, es de alta densidad lo cual impide que se reconstituya rápida y completamente en agua.

3.1.5. SECADO DE TORRE.

Este método conocido como secado por aspersion BIRS, es especial para manejar materiales termoplásticos y otros sensibles al calor. Este secador emplea aire seco a unos 30° C y una humedad relativa de 30% a contracorriente. A fin de dar a las gotitas, introducidas por aspersion a la parte superior de la torre, el tiempo que requieren para secarse a esta temperatura relativamente baja, se construye una torre secadora excepcionalmente alta. Puede tener hasta 67 m de altura y 15 m de diámetro. Las gotitas que van descendiendo tardan unos 90 segundos en secarse. Los productos como jugos de naranja, limón y tomate, difíciles de secar por otros sistemas, debido a su termoplasticidad, pueden secarse de esta forma sin detrimento de su calidad. La baja temperatura contribuye a la retención del sabor.

3.1.6. SECADO POR ESPUMADO. ↓

El secado por espumado, fue desarrollado por investigadores del Western Regional Laboratory del Departamento de Agricultura de los EE.UU. Una vez espumado el tomate se esparce ya sea en charolas o en una banda, se seca al hacerla pasar una corriente de aire caliente (Morgan y colaboradores; 1959, 1961, 1962, y Berry y colaboradores; 1965, 1967). (16, 17, 18, 19, 20).

Las ventajas de utilizar este método son las siguientes:

- a) La espuma seca tiene una estructura extremadamente porosa, la cual hace que la rehidratación sea instantánea.
- b) El tomate en polvo obtenido por el método secado por espumado muestra un contenido de humedad menor que el obtenido por el método de secado por aspersión, cuando se encuentra en equilibrio con aire de la misma humedad relativa.

Las desventajas principales son:

- a) Este método se utiliza únicamente para líquidos.
- b) El tomate solo no se puede espumar. Se deben introducir aditivos lo cual aumenta el costo y no puede venderse como sustancia pura.

Como se puede ver, cada uno de estos procesos presentan cualidades que los hace ciertamente ventajosos sobre los demás, sin embargo, para los propósitos de este estudio es posible elegir cuál de estos procesos conviene más, analizando las principales caracte-

rísticas de cada uno de ellos.

En primer lugar, los métodos de secado al vacío requieren de equipo sofisticado y costoso, como consecuencia de la necesidad de bajas presiones de vacío. El secado por aspersión requiere también de equipo costoso, debido a la inyección de aire a 2000 psi. El secado por tambor tiene el inconveniente de que todavía no se han obtenido resultados favorables en el secado de jugos de frutas y verduras. En el secador de BIRS, la desventaja es la necesidad de un equipo que por sus características es demasiado costoso. En el secado por espumado, las condiciones de operación no hacen necesaria la presencia de equipo costoso o sofisticado, además de que los resultados obtenidos hasta la fecha muestran características muy deseables en el producto final y los materiales con los que se trabaja son líquidos (jugos).

Este breve análisis inclina definitivamente a elegir el proceso de espumado como el método que más conviene a las necesidades actuales, por lo que a continuación, se tratará este proceso lo más detalladamente posible y se expondrán también los resultados obtenidos en el trabajo de investigación.

3.2 TEORIA DEL SECADO

El secado implica la transferencia de un líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa no saturada. Este proceso es idéntico al proceso de humidificación, excepto en la influen-

cia ejercida por los sólidos en el proceso mismo. El estudio del secado y los cálculos del tamaño requerido para el secador deben tomar en consideración un cúmulo de problemas de diversas áreas, tales como mecánica de fluidos, química de superficies, estructura de los sólidos, transferencias de masa y calor durante el proceso de humidificación, etc. En muchos casos estos fenómenos fisicoquímicos son tan complicados, y además no están aún enteramente comprendidos que el diseño cuantitativo de los secadores es prácticamente imposible. (21, 22).

En la operación general de secado de cualquier material, intervienen dos factores muy importantes:

- a) Transmisión de calor para suministrar el calor latente de vaporización necesario, y
- b) Movimiento del agua ó vapor de agua a través del producto y su alejamiento del mismo.

En la deshidratación de alimentos, existen tres procesos principales para llevarla a cabo:

- 1.- Desecación por contacto con aire a presión atmosférica. Se transmite calor a la substancia alimenticia bien por medio de aire caliente, ó bien por superficies calientes, mientras que el vapor de agua es extraído junto con el aire.
- 2.- Desecación al vacío. Se saca ventaja de que la evaporación del agua tiene lugar más fácilmente a presiones reducidas. La transmisión de calor es casi siempre por conducción y raras veces por

radiación.

3.- Liofilización o criodesecación. El vapor de agua se extrae por sublimación, siendo necesario mantener en el secador temperatura y presiones adecuadas para asegurar que tendrá lugar la sublimación. La estructura de la sustancia alimenticia se conserva mejor en este proceso.

3.2.1. TRANSMISION DE CALOR DURANTE LA DESHIDRATACION.

[Las velocidades de secado vienen determinadas por la velocidad con que se puede suministrar energía térmica al agua o al hielo a fin de proporcionarles sus calores latentes. Durante el secado tienen lugar los tres mecanismos de transferencia de calor, conducción, radiación y convección. La importancia relativa de cada uno de estos mecanismos varía de un proceso a otro, predominando con frecuencia uno de ellos hasta el punto de que dicho mecanismo es el que gobierna el proceso en conjunto.]

[Por ejemplo, en el secado usando aire caliente, la velocidad de transmisión de calor viene dada por:

$$q = h_s A (T_a - T_s)$$

en que q es la velocidad de transmisión de calor en Kcal/h, h_s es el coeficiente de transmisión de calor superficial, A es el área a través de la que tiene lugar el flujo de calor, T_a es la temperatura del aire y T_s la temperatura de la superficie que se está secando.]

Otro ejemplo lo constituyen los secadores de tambor, en

los que se coloca el material húmedo sobre la superficie de un tambor caliente, con lo que tiene lugar transmisión de calor por conducción desde el tambor hasta el producto alimenticio. El proceso está por ello regido por la ecuación:

$$q = UA (T_1 - T_s)$$

en la que U es el coeficiente global de transmisión de calor, T₁ es la temperatura interior (en general vapor de agua), T_s es la temperatura de la superficie (el punto de ebullición del agua o ligeramente superior) y A es el área de superficie de secado del tambor. En los casos en que se transmitan cantidades notables de calor por radiación debe tenerse en cuenta que la superficie del alimento puede ser superior a la del aire.

A medida que procede la desecación, cambia el carácter de la transmisión de calor. El producto seco empieza a ocupar las capas superficiales y la conducción ha de tener lugar a través de estas capas superficiales para que el calor llegue a la región de desecación.

3.2.2. VELOCIDADES DE SECADO.

La velocidad a la que se seca una sustancia varía con la naturaleza de la sustancia y el proceso de desecación que se utilice.

En la desecación con aire la velocidad de extracción de agua depende de las condiciones del aire, las propiedades del ali-

mento y del diseño del secador. La humedad puede estar ligada al producto en grados diversos. Los dos extremos son: que la humedad simplemente repose sobre la superficie y que la humedad esté combinada químicamente con otros constituyentes. En principio se creyó que el agua contenida en un producto alimenticio era de dos tipos: agua libre y agua asociada. En la actualidad parece que tal división es una simplificación excesiva y que ésta clasificación no es realmente útil. El agua esta retenida por fuerzas cuya intensidad varía desde las fuerzas muy débiles que retienen el agua superficial, a los enlaces químicos muy fuertes. Es evidente que durante la deshidratación se separa más fácilmente el agua que está retenida más débilmente. Cabe esperar por ello que las velocidades de desecación disminuyan a medida que decrece el contenido de humedad y que el agua que queda, este unida más y más fuertemente a medida que su cantidad disminuye.

En muchos casos la mayor parte del agua está retenida débilmente, pudiéndose considerar para fines de desecación como agua libre en la superficie. Los productos alimenticios, contienen agua en su interior y después de cierto tiempo de desecación a velocidad constante se observa que el agua se separa más lentamente.

El cambio de la velocidad de deshidratación constante a una velocidad más lenta tiene lugar a diferentes contenidos de humedad para los distintos productos alimenticios. Este cambio tiene lugar, aunque varía con el contenido en proteína y carbohidratos en

la mayoría de los alimentos, cuando el contenido de humedad en equilibrio con el aire es de 58-65% de humedad relativa, valor que se conoce como contenido crítico de humedad.

El final del período de velocidad constante, el punto de ruptura de las curvas de velocidad de desecación significa que el agua ha cesado de comportarse como una superficie libre y que otros factores distintos a las diferencias de presión de vapor están controlando la velocidad de desecación. A partir de este momento la velocidad de desecación disminuye, lo cual se denomina período de velocidad decreciente. Los factores que regulan la velocidad en el período de velocidad decreciente son complejos y dependen de la difusión a través del producto alimenticio y de la forma en que están unidas, con energía variable, las moléculas de agua. Se dispone de muy poca información teórica para la desecación de alimentos en esta región, por lo que la única guía fidedigna para el diseño de procesos son las curvas de desecación experimentales.

3.2.3. CALCULO DE LAS VELOCIDADES DE DESECACION CONSTANTE.

En el período de velocidad constante se extrae el agua de lo que es equivalente a una superficie de agua exterior. La velocidad de eliminación de agua es por ello regulada por la velocidad de transmisión de calor desde el aire a la superficie del agua y por las presiones de vapor parcial de agua en la superficie y en la corriente de aire.

La velocidad de transmisión de calor, suponiendo que la radiación y la conducción son despreciables, viene dada por

$$q = h_c A (T_a - T_s)$$

donde q es la velocidad de transmisión de calor, h_c es el coeficiente de transferencia por convección, A es el área a través de la que está teniendo lugar la desecación, T_a es la temperatura del aire y T_s es la temperatura de la superficie de desecación.

Cuando se está llevando a cabo el fenómeno de secado, se puede relacionar la velocidad de transmisión de calor y la velocidad de transferencia de masa del agua hacia la corriente de aire. La velocidad de transferencia de materia viene dada por la ecuación

$$W = k_g A (p_s - p_a)$$

siendo W la masa de agua que se transmite por unidad de tiempo, k_g el coeficiente de transmisión de materia, A el área de desecación, p_s la presión parcial del vapor de agua en la superficie y p_a la presión parcial del vapor de agua en el aire.

como $H = 18p/29$, se puede escribir:

$$W = K_g' A (H_s - H_a)$$

en la que H_s es la humedad del aire en la saturación, H_a es la humedad del aire y $K_g' = 1.8 \text{ kg}$.

Desde el momento que se ha de suministrar el calor latente al agua que se está evaporando, se puede también escribir

$$W \lambda = q$$

donde λ es el calor latente de vaporización del agua.

Por combinación de estas tres ecuaciones se tiene por tanto:

$$W = kg A (ps - pa) = hc A (Ta - Ts) / \lambda$$

ecuación que se puede reajustar hasta tomar la forma

$$kg = hc (Ta - Ts) / \lambda (ps - pa)$$

y

$$hc = \lambda kg (ps - pa) / (Ta - Ts)$$

Debido a lo difícil que es normalmente medir coeficientes de transferencia de materia, se les puede predecir por medio del valor adimensional ($hc / kg' Cp$), conocido como número de Lewis. Para el sistema H₂O-aire éste número es aproximadamente igual a la unidad, por lo que:

$$hc / kg' Cp = 1$$

y

$$\begin{aligned} kg' &= hc / Cp \\ &= 4 hc \end{aligned}$$

ya que $Cp = 0.24$ para el aire.

El análisis anterior es válido para los primeros períodos de desecación de los alimentos. A continuación la velocidad disminuye, por lo que para predecir las velocidades de desecación es necesario considerar la forma en que está asociada el agua a los otros constituyentes de la sustancia alimenticia.

3.3. FUNDAMENTOS TEORICOS DE ESPUMAS.

Los agentes de superficie activa están presentes en la mayoría, sino es que en todos los alimentos naturales. Ellos juegan

un papel muy importante en el proceso de su desarrollo y crecimiento. La moderna tecnología de los alimentos utiliza estos "surfactantes" con una enorme variedad de usos, tales como, agentes para la preservación de alimentos que son almacenados durante mucho tiempo para mantener las propiedades físicas de viscosidad y textura de alimentos preparados.

En alimentos, los agentes de superficie activa, presentan una gran variedad de aplicaciones. Actúan como agentes "humectantes", emulsificadores, solubilizadores, detergentes, "floculantes", modificadores de cristalización (ambos en sistemas acuosos y no acuosos) y otras formas.

3.3.1. AGENTES DE SUPERFICIE ACTIVA.

Los "superfactantes", son moléculas orgánicas y metal-orgánicas que exhiben comportamiento polar y solubilidad, que resulta en el fenómeno conocido como actividad superficial. El efecto más común a este respecto, es la reducción de la tensión superficial entre dos líquidos inmiscibles (23).

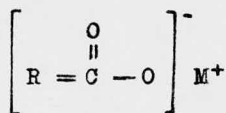
De acuerdo a su estructura y comportamiento se pueden dividir en:

- a) Iónicos.
- b) No iónicos
- c) Anfotéricos.

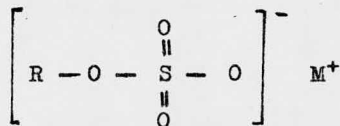
El tipo iónico está compuesto de un grupo lipofílico y un

grupo hidrofílico. Puede ser dividido en aniónico y catiónico, de acuerdo a la naturaleza del grupo ión-activo.

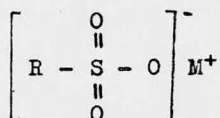
ANIONICO.- Estos poseen una carga negativa y migran hacia el ánodo en solución.



Jabón

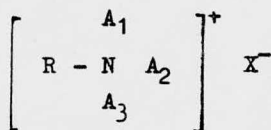


Alkil sulfato



Alkil sulfonato

CATIONICO.- Su actividad superficial es debida a la presencia de un grupo afín al cátodo.



donde R es un grupo hidrofóbico, tal como una cadena larga alifática o un grupo aromático. X es un ión negativo, como Cl^{-} , Br^{-} , I^{-} u otros iones monovalentes y A_1 , A_2 y A_3 representan grupos H_2 , Alkil, aril o heterocíclico.

El tipo no-iónico, es completamente covalente y no muestra tendencia a ionizarse. Por consiguiente, pueden ser combinados con otros agentes de superficie no-iónicos, y agentes aniónicos y catiónicos. Los emulsificantes no-iónicos, son generalmente más inmunes a la acción de electrólitos, que los agentes de superficie aniónicos. Dependen principalmente de los grupos hidroxilo y las ligaduras éter para crear la acción hidrofílica. Estos compuestos alcanzan la estabilidad, cuando son hidratados en soluciones acuosas.

El tipo anfotérico contiene una carga positiva y una negativa. Estas cargas se neutralizan entre sí de tal forma que a un pH dado el surfactante se comporta como no-iónico. Estos surfactantes exhiben propiedades catiónicas en soluciones ácidas y propiedades aniónicas en soluciones alcalinas.

Los principales usos de los agentes de superficie activa en alimentos son: "humectantes", modificadores de la viscosidad, lubricantes, acomplejadores y dispersores.

3.3.2. DISPERSIONES.

Los agentes de superficie activa son generalmente usados por su capacidad dispersora. Todos los tipos de dispersiones, ya sea que involucren gases, líquidos o sólidos, dependen de la reducción de la energía superficial, por el "surfactante". A la fase dispersa como finos glóbulos en otra fase se le llama, fase discontinua.

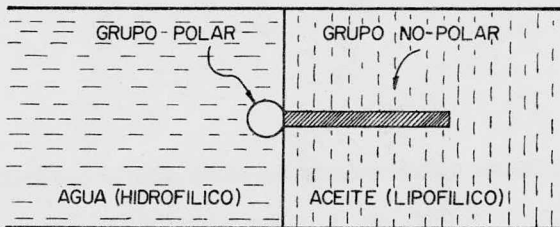


FIGURA 2.- POSICION DEL SURFACTANTE EN LA INTERFASE DE UNA EMULSION. (MATTEW, J. 1974) (24)

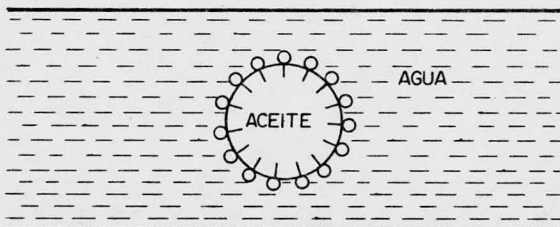


FIGURA 3.- EMULSION ACEITE EN AGUA, O/W. (MATTEW, J. 1974) (24)

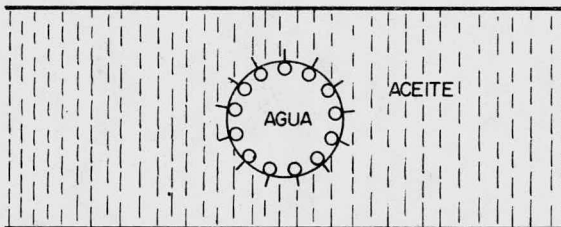


FIGURA 4.- EMULSION AGUA EN ACEITE, W/O. (MATTEW, J. 1974) (24)

nua o interna. A la fase que rodea estos glóbulos se le llama, fase continúa o externa. Ver la siguiente tabla. (24)

TABLA 3.3.2.1

(Kirk, D.F. 1961) (25).

SISTEMAS DISPERSOS.

| TIPO | FASE INTERNA | FASE EXTERNA |
|------------|------------------|--------------|
| Emulsión | Líquido | Líquido |
| Espuma | Gas | Líquido |
| Aerosol | Líquido o sólido | Gas |
| Suspensión | Sólido | Líquido |

Puesto que las espumas y aerosoles involucran la mezcla de un líquido y un gas, pueden considerarse semejantes, sin embargo, mientras que en las espumas los agentes de superficie activa son de vital importancia, en los aerosoles no sucede así. Esto es debido a que la formación del aerosol ocurre tan rápidamente que el "surf^ac^a tante" no tiene tiempo de migrar a la superficie de la partícula y cambiar su tensión superficial.

3.3.2.1. Propiedades de las dispersiones. En general éstas dependen de las propiedades de la fase continúa y de la proporción de la fase continúa a fase interna.

-Apariencia. Depende de los ingredientes empleados, de su color, de su índice de refracción y del tamaño de partícula de la fase dispersa.

-Dispersabilidad. Esta depende del tipo de dispersión, ya sea W/O ó O/W.

-Viscosidad. En general depende de la viscosidad de la fase externa, la relación de fase interna a fase externa, del tamaño de las gotas o burbujas dispersas, del tipo y concentración del surfactante. Cuando la fase interna, es incrementada en concentración, la viscosidad del producto aumenta.

-Tamaño de burbuja o partícula. Depende del tipo y cantidad de emulsificador, del tipo de agitación, del orden de adición de los ingredientes. Una buena indicación de estabilidad, es la uniformidad y tamaño de burbuja.

-Carga de partícula. En emulsiones con tamaño de partícula pequeño, la carga de la partícula es de extrema importancia para mantener la estabilidad. En dispersiones con alta viscosidad, la carga de la partícula es casi despreciable.

-Conductividad. La fase externa es la responsable de ésta.

- pH. Una buena dispersión puede ser lograda ajustando el

pH, para obtener los resultados deseados. Los productos emulsificados no-iónicos, deben ser usados en un rango de 3 a 7, dependiendo de la naturaleza del emulsificador.

3.3.3. FORMACION DE ESPUMAS.

Las espumas son muy parecidas a emulsiones concentradas y solo se diferencian de las emulsiones en que la fase dispersa es un gas y no un líquido, circunstancia que las hace más sensibles a la acción de la gravedad. Se dice también que las espumas son dispersiones de un volumen relativamente grande de gas en un volumen pequeño de líquido (26).

En una espuma verdadera las burbujas se encuentran tan amontonadas que su forma es poliédrica, o sea, que el líquido es reducido a películas muy delgadas que separan las burbujas. En la gran mayoría de las espumas, diferentes burbujas tienen diferentes volúmenes y consecuentemente sus formas se desvían grandemente de la ideal.

Los líquidos que constan de una sola sustancia químicamente pura nunca forman espuma. En cambio las soluciones acuosas de agentes de actividad superficial y de polímeros superiores suelen formar espuma. Las circunstancias de que las soluciones de agentes de actividad superficial ocupen lugar destacado entre los sistemas espumantes indica la importancia de la tensión superficial para la estabilidad de la espuma. Debido a que ésta es un sistema de super

cie sumamente extenso, es evidente que la poca tensión superficial coopera a dar estabilidad a la espuma. Sin embargo, no es el único factor, ni siquiera el más importante de dicha estabilidad.

Las soluciones de agentes de fuerte actividad superficial forman espumas más estables según aumente su concentración, aunque se llegue a un mínimo de tensión de superficie. Según la teoría de Gibbs, la disminución de la tensión superficial se relaciona con la adsorción de solutos de actividad superficial y según la teoría de Langmuir y Harkins las moléculas adsorbidas son orientadas.

En común con otros sistemas coloidales las espumas pueden ser producidas por condensación y por dispersión.

- a) Condensación.- La fase de gas se encuentra inicialmente presente como moléculas separadas, las cuales se unen oportunamente para formar burbujas. La espuma de cerveza es un ejemplo típico.
- b) Dispersión.- La fase gas existe originalmente como una fase global. Enseguida, pequeños volúmenes de éste son introducidos dentro del líquido formando burbujas. Dentro de este método existen varias técnicas: burbujeo capilar (espuma monodispersa), burbujeo a través de un cuerpo poroso (espuma polidispersa), agitación moviendo un plato perforado de arriba a abajo en un cilindro conteniendo líquido.

La facilidad con que se obtenga una espuma no depende solo

del líquido y las impurezas o sustancias disueltas, sino que cuenta mucho la forma como se ha producido. El burbujeo de gas a través de un líquido es sin duda el método más eficaz. En todas las espumas las burbujas se encuentran separadas entre sí por capas delgadas de líquido, ocurriendo la transformación de estas dispersiones de gas en espumas verdaderas por gravitación, o sea, que las burbujas se elevan a través del líquido y se acumulan cerca de la parte superior. En el proceso, cada burbuja tiende a atravesar una distancia de algunos centímetros, deteniéndose cuando existe una capa delgada de pocos micrones entre ella y la burbuja vecina.

3.3.3.1 ESTABILIDAD.

Las espumas se caracterizan en general por ser sistemas inestables. Existen tres procesos que pueden causar su destrucción:

a) Redistribución del tamaño de burbuja. Es causado por la dependencia de la presión del gas dentro de la burbuja en la curvatura de su pared. Considerando dos burbujas (Figura 5):

De la ecuación de Laplace se obtiene:

$$P_1 = P_a + \frac{4Y}{R_1}$$

$$P_2 = P_a + \frac{4Y}{R_2}$$

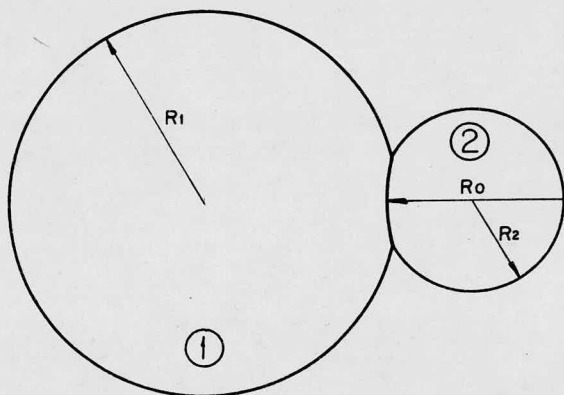
donde: P_a = Presión atmosférica

Y = Tensión superficial

R_o = Radio común a ambas burbujas

R_1 = Radio de la burbuja (1)

R_2 = Radio de la burbuja (2)



R_1 = RADIO DE LA BURBUJA ①
 R_2 = RADIO DE LA BURBUJA ②
 R_0 = RADIO COMUN A AMBAS BURBUJAS

FIGURA 5 : DOS BURBUJAS DE AIRE DE DIFERENTE TAMAÑO SEPARADAS POR UNA PELICULA DE LIQUIDO (BIKERMAN, J.J. 1965) (26)

El factor 4 de γ es a causa de que la burbuja tiene dos interfaces gas-líquido, la interna y la externa. Para lograr el equilibrio mecánico, la pared entre las dos burbujas debe ser cóncava hacia la burbuja más pequeña y su radio de curvatura está dado por la ecuación:

$$\frac{4\gamma}{R_0} = \frac{4\gamma}{R_2} - \frac{4\gamma}{R_1}$$

$$\text{ó} \quad R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2}$$

El equilibrio mecánico sería estable si la pared de líquido fuera impermeable al gas, pero como tal fenómeno no sucede, el gas se difunde a través de la pared desde la región de alta a baja presión, razón por la cual la burbuja pequeña se hace más pequeña y la grande crece. Esto explica porque la polidispersión de espumas tiene a disminuir la estabilidad.

- b) Adelgazamiento de la película. El efecto macroscópico de este fenómeno es el "drenado" o asentamiento del líquido. Si un recipiente se llena con una espuma, se puede observar que después de un cierto tiempo una capa de líquido aparece en el fondo y continúa creciendo hasta que muy poco líquido permanece en la película o hasta que estalla. La gravitación es una razón del adelgazamiento de la pared. Si una película vertical de espesor δ y ancho ω se considera como una banda llena de líquido entre dos paredes planas paralelas, entonces el volumen de líquido fluyendo hacia abajo por unidad de tiempo será (Figura 6):

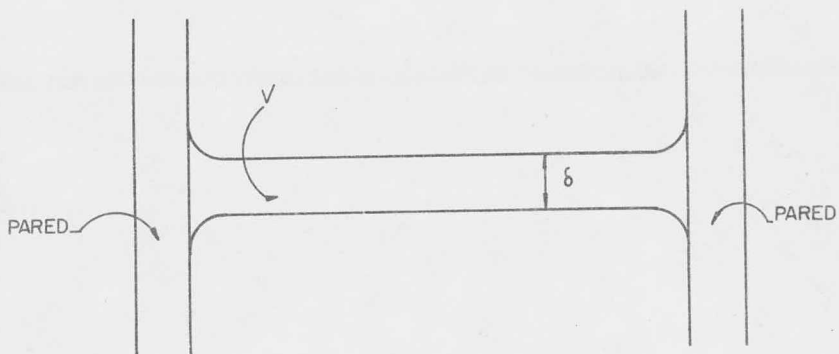


FIGURA 6 - ADELGAZAMIENTO DE LA PELICULA (BIKERMAN, J.J. 1965) (26)

$$\frac{dv}{dt} = \kappa g \omega \int^3 / 12 \eta$$

donde:

V = volumen de líquidos que fluye hacia abajo

g = aceleración de la gravedad

ρ = diferencia de densidades entre el líquido y el gas

η = viscosidad del líquido

\int = espesor de la película

ω = ancho de la película

c) Ruptura de la película. Las burbujas y las películas estallan a causa de que el área (y por consiguiente la energía superficial) de las burbujas resultantes es más pequeño que el sistema inicial. Si bien en muchos casos la estabilidad es la única propiedad de la espuma que se mide, hay otras características igualmente importantes, una de las cuales es la superficie específica, que se puede determinar por el examen microscópico o midiendo la transmisión de luz. Las propiedades mecánicas de la espuma, que es un cuerpo plástico que tiene viscosidad, elasticidad, resistencia a la tracción, son también importantes en muchas aplicaciones, pero rara vez se miden.

3.3.4. METODO DE SELECCION HLB.

Varios métodos han sido desarrollados para seleccionar el ó los emulsificadores para alcanzar una tarea particular. En la mayoría de los sistemas, la mejor respuesta será una mezcla de "surfacc

tantes". Un sistema de selección basado en principios empíricos es el sistema HLB (Balance hidrofílico-lipofílico). Está basado en el hecho de que dispersiones O/W son mejor preparadas con "surfactantes" solubles en agua y dispersiones W/O, son mejor preparadas con agentes de superficie activa solubles en aceite (Figura 7) (11).

El sistema HLB es aplicado únicamente con emulsificadores de HLB conocido. El sistema de selección consiste en lo siguiente:

- 1) Determinar el "HLB requerido" de la combinación elegida de ingredientes en el producto.
- 2) Tratar una serie diferente de tipos químicos de emulsificadores en el "HLB requerido", determinado en la primera etapa.
- 3) Hacer un ajuste final del HLB.

Quando dos o más "surfactantes" van a ser mezclados, el HLB de la mezcla puede ser fácilmente calculado. Si X es la proporción de un "surfactante" teniendo un HLB de A y el otro un HLB de B, el HLB resultante puede ser expresado como:

$$\text{HLB mezcla} = XA + (1-X)B$$

En este procedimiento, los "surfactantes" que presentan un HLB diferente al requerido pueden ser automáticamente rechazados.

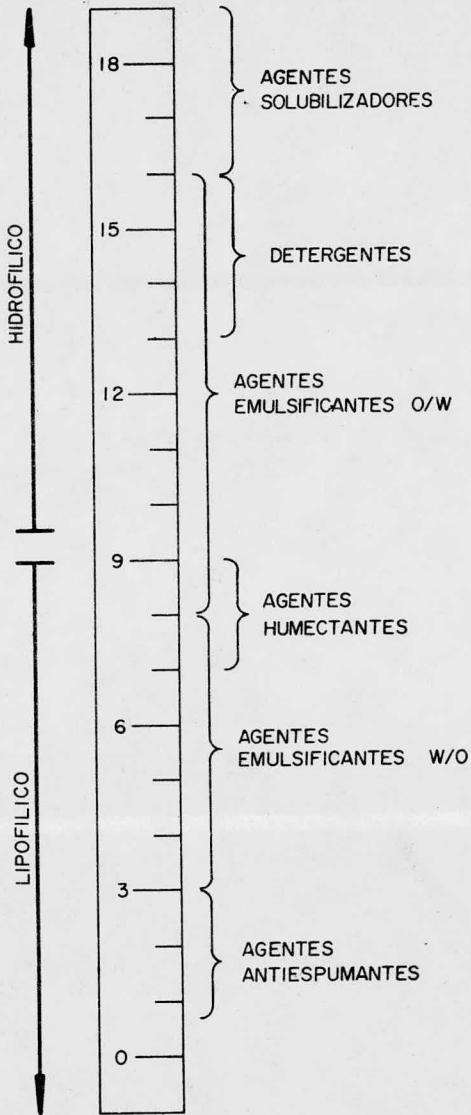


FIGURA 7: LA ESCALA MUESTRA LA CLASIFICACION DE LOS SURFACTANTES EN FUNCION DE SU HLB. (MARTIN, N.A. 1969) (27)

CAPITULO 4.

PROCESO SECADO POR ESPUMADO

4.1. ANTECEDENTES.

Los primeros estudios sobre el proceso de secado por espumado (Foam-mat drying) fueron reportados por Morgan y colaboradores (1959) del Western Regional Research Laboratory de Albany, Calif. (16).

El proceso que utilizaron para el secado de tomate fue el siguiente (Figura 8): Primero prepararon una dispersión de tomate, mezclando pasta de tomate comercial 30°Brix y monoestearato de glicerilo en una proporción en peso de 97 y 3% respectivamente y calentando a 180°F. Enseguida una parte de esta dispersión se mezcló con pasta de tomate fresca en una proporción que dió 0.7% de monoestearato de glicerilo en base seca. Esta mezcla se agitó durante 4 min en una batidora casera, obteniendo una espuma con 0.4g/cm^3 de densidad. Esta espuma se extendió sobre la banda del secador en un espesor de 3.2 mm (1/8 in). El 80% del secador estaba a una temperatura de 71°C (160°F) y el otro 20% a 48.9°C (120°F). El tiempo total de secado fue de 65 min y la humedad del producto final obtenido fue de 2.5%. El polvo seco se comprimió a una densidad de 0.6g/cm^3 . Los estudios sobre las condiciones de almacenamiento de los productos secos no están completos, pero dicen que no difieren de aquellos que se tienen para los mismos productos secados por otros procesos. Los productos secos de jugos de tomate y cítricos pueden requerir el uso de un gas inerte. El tomate secado por este proceso mostró un conte

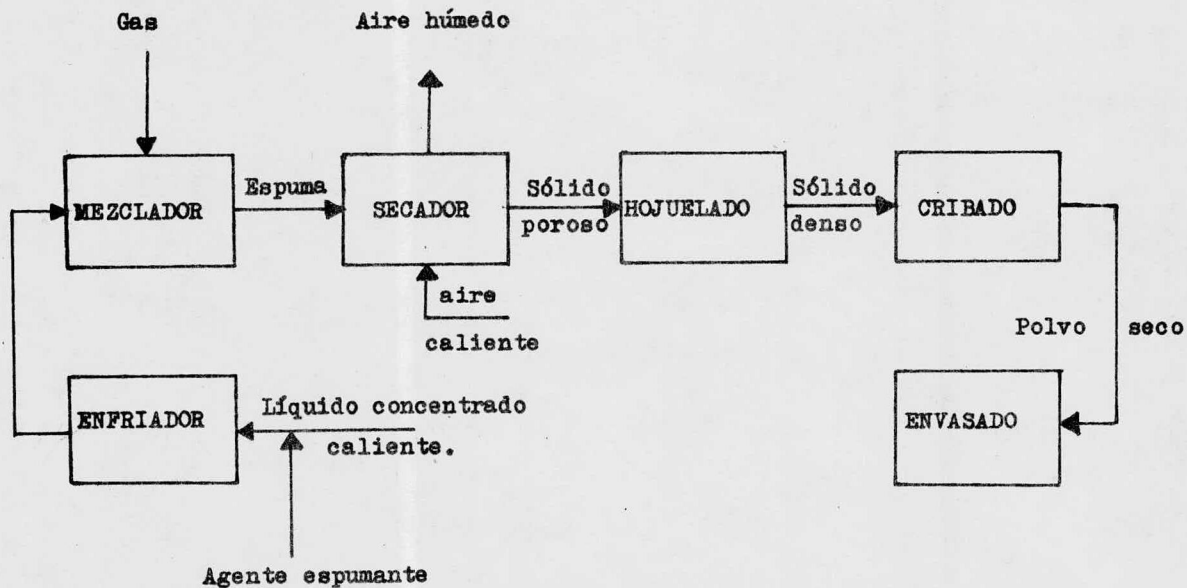


FIGURA 8. Diagrama de bloques del proceso utilizado por Morgan y Colaboradores (1959) (16).

ido de humedad más bajo que el secado por aspersión, en equilibrio con aire de la misma humedad relativa.

En 1961, Morgan y colaboradores (17) presentaron el proceso anterior con cambios sustanciales. La primera innovación fue la reparación de la dispersión de surfactante, para lo cual, el espumante se añadió a nueve partes de agua a 170°F y se agitó violentamente durante varios segundos. Esta emulsión se mantuvo en buenas condiciones durante varios días a temperatura de 120-130°F. Otra de las innovaciones fue la técnica de formación de cráteres ("cratering"). En ella, una capa de espuma se esparció sobre charolas de metal perforadas y enseguida éstas se pasaron por encima de una serie de boquillas con aire a temperatura ambiente a 4,500 cm/seg (150 ft/seg) para formar los cráteres (Figura 9). De aquí las charolas con espuma se enviaron al secador (Figura 10). En la primera etapa el aire caliente fluía a una temperatura de 93°C (200°F) y 91 cm/seg (3 ft/seg) a contracorriente eliminando el 80% de la humedad en 3 min aproximadamente. En la segunda etapa el aire entraba a contracorriente a una temperatura de 54°C (130°F) y 61 cm/seg (2 ft/seg). El contenido de humedad del producto seco fue de 2% en promedio. El rendimiento que se obtuvo fue de 0.1 lb/hr ft² de área activa. Las perforaciones en las charolas se hicieron de 3 mm (1/8 in) de diámetro, separadas 4.8 mm (3/16 in) de centro a centro, obteniéndose un área activa del 60%. Los productos sometidos al proceso y que se obtuvieron buenos resultados fueron los siguientes: jugo de naranja con 55-65% de sólidos, pasta de tomate con 30% de sólidos y jugo de piña con 40% de

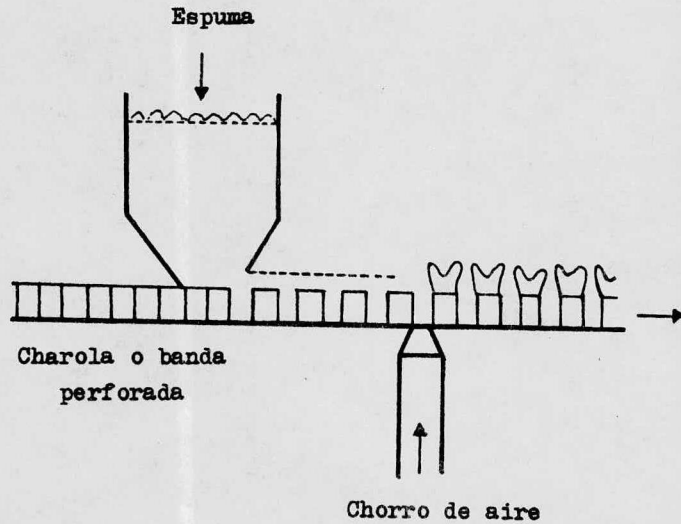


FIGURA 9. Técnica usada para formar cráteres (Morgan, 1961).

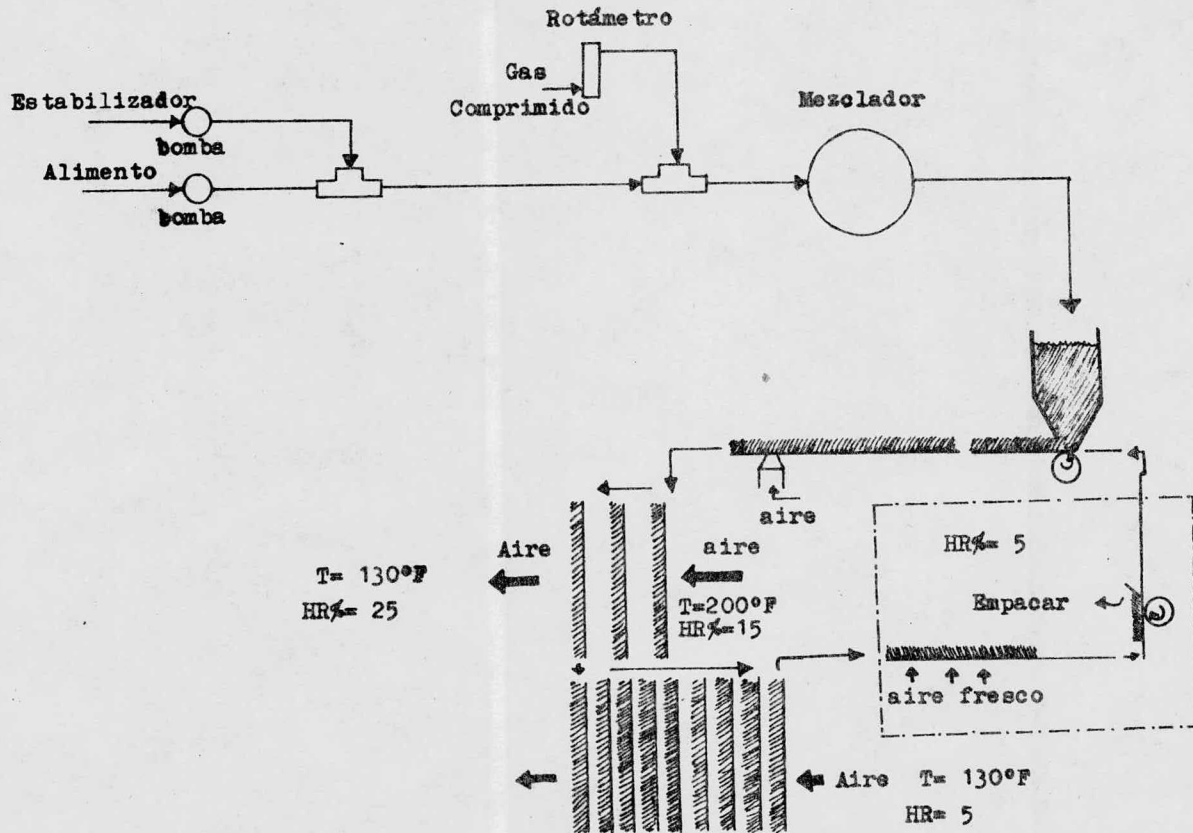


FIGURA 10. Esquema del secador con la técnica de formación de cráteres.
(Morgan y Colaboradores, 1961) (17).

sólidos, todos ellos espumados con una dispersión de monoestearato de glicerilo. Jugos de uva, limón, manzana, ciruela y albaricoque, fueron también secados, aunque no con los mismos buenos resultados.

Lawler en 1962 (32), presentó la primera aplicación comercial del proceso de secado por espumado. Este secador se instaló en Pasadena, Calif. y fue totalmente automático y de operación continua. Media aprox. 15 x 30 x 15 ft y fue diseñado para producir 200 lb/hr de polvo seco (2% de humedad), con la presencia de un solo operador. Los materiales que tienen contacto con el alimento se fabricaron de acero inoxidable. La calidad de los productos secos fue superior a los de los procesos de aspersion y rodillos y el costo muy similar a éstos.

La siguiente contribución al proceso la hicieron Morgan y colaboradores en 1962 (18). Ellos presentaron el equipo completo a escala piloto construido para sus experimentos (Figura 11). Las operaciones que este equipo contenía fueron: espumado, cargado de las charolas, secado, descargado de polvos y empaclado. Para el cargado de las charolas idearon un alimentador que esparciera la espuma uniformemente sobre las charolas y a un espesor determinado, ya que estas características son muy importantes tanto para la formación de cráteres, como para el secado. En esencia este aparato consistía en una tolva con un rodillo en la parte inferior, el cual medía volumétricamente la espuma esparcida sobre la charola. El secador tenía una capacidad de 15 lb/hr de producto seco. En operación continua, el

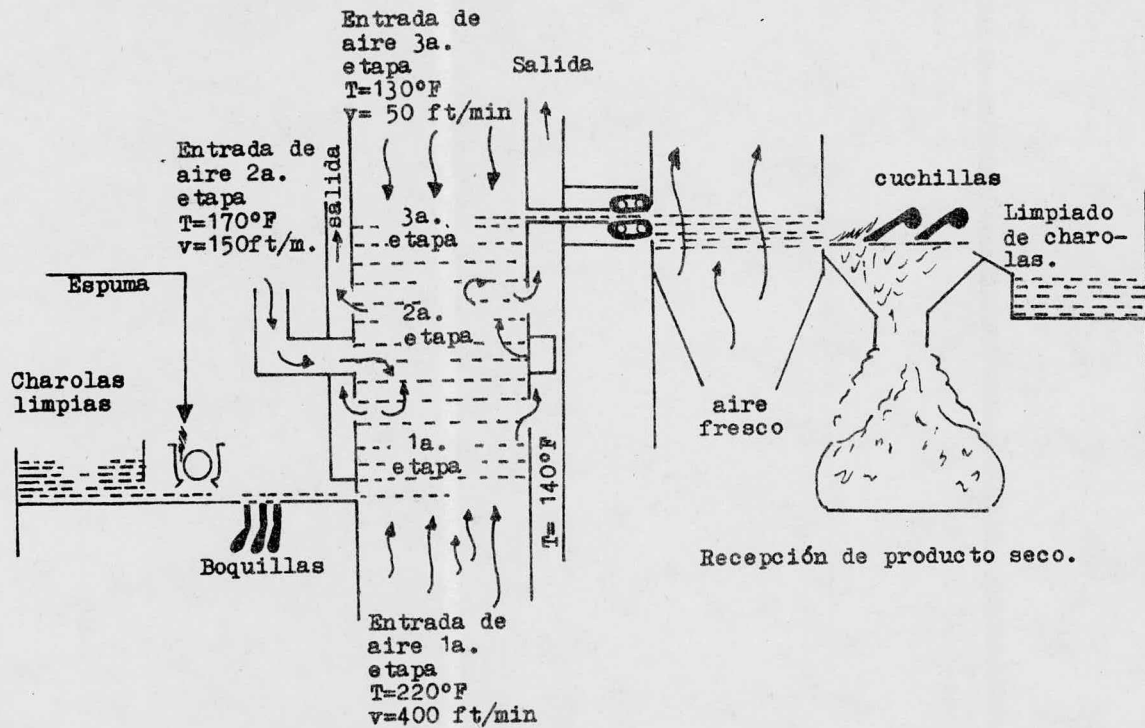


FIGURA 11. Diagrama de flujo de la planta piloto utilizada por Morgan y Colaboradores (1962) (18).

secador contenía 24 charolas de 15 x 23 in en su interior. Las condiciones del aire se pueden ver en la Figura 11. En el caso de materiales higroscópicos, ellos señalaron la necesidad de que esta operación se lleve a cabo en un cuarto con humedad relativa del 15% aproximadamente y que los polvos sean empacados en bolsas de poliuretano previamente purgadas con nitrógeno, para prevenir la adsorción de humedad.

Bisset y colaboradores en 1963 (28) realizaron experimentos de secado a varias temperaturas con jugo de naranja. La Tabla 4.1.1. muestra la correlación entre tiempos de secado, temperatura, contenido de vitamina C, acidez total, humedad final del producto y resultados con paneles de sabor (pruebas organolépticas). En esta Tabla se puede observar que a 71°C (160°F) el tiempo de secado es de 26 min y a 82°C (180°F) es de 13 min para casi la misma humedad final. En las pruebas organolépticas los productos secados a más altas temperaturas son menos adecuados. Para realizar estos estudios, utilizaron una banda transportadora y un secador en el cual el aire caliente fluía cruzado (Figuras 12 y 13).

Ginnette y colaboradores en 1963 (12), estudiaron el método secado por espumado en producción continua para obtener tomate en polvo. Ellos utilizaron la planta piloto mostrada en la Figura 11. Obtuvieron polvos sin olor y sabor a quemado a una velocidad de producción de 0.3 lb/hr ft² de superficie activa de charola. Las condiciones de operación fueron las siguientes: Puré de tomate al 30% de sólidos, velocidad de alimentación 40 lb/hr, tiempo de residencia

- 14 -

| SECADO | | PRODUCTO | | | Pruebas organolépticas |
|---------------------|----------|-----------|--|--|------------------------|
| Temperatura | Tiempo | % Humedad | Acido ascórbico (mg/g sólidos naranja) | Acidez como acido cítrico (mg/g sólidos) | |
| Concentrado de jugo | | 41.2 | 2.75 | 0.0558 | agradable |
| 160°F | 11.7 min | 4.55 | 2.75 | 0.0564 | |
| 160 | 13.1 | 3.99 | 2.79 | 0.0564 | |
| 160 | 15.0 | 3.72 | 2.77 | 0.0568 | |
| 160 | 17.5 | 3.50 | 2.79 | 0.0568 | |
| 160 | 21.0 | 3.02 | 2.72 | 0.0566 | |
| 160 | 26.2 | 2.71 | 2.72 | 0.0566 | |
| 170 | 10.5 | 3.99 | 2.75 | 0.0570 | |
| 170 | 11.7 | 3.59 | 2.74 | 0.0567 | |
| 170 | 13.1 | 3.37 | 2.77 | 0.0568 | |
| 170 | 15.0 | 3.10 | 2.73 | 0.0569 | desagradable |
| 170 | 17.5 | 2.56 | 2.71 | 0.0571 | |
| 180 | 8.8 | 4.03 | 2.76 | 0.0564 | agradable |
| 180 | 9.5 | 3.28 | 2.74 | 0.0569 | |
| 180 | 10.5 | 3.05 | 2.72 | 0.0569 | |
| 180 | 11.7 | 2.64 | 2.77 | 0.0569 | |
| 180 | 13.1 | 2.46 | 2.72 | 0.0573 | |
| 180 | 15.0 | 2.13 | 2.70 | 0.0574 | desagradable |
| 180 | 17.5 | 1.99 | 2.70 | 0.0577 | |

Tabla 4.1.1. Correlación de variables durante el secado de espumas (Bissett y colaboradores, 1963).

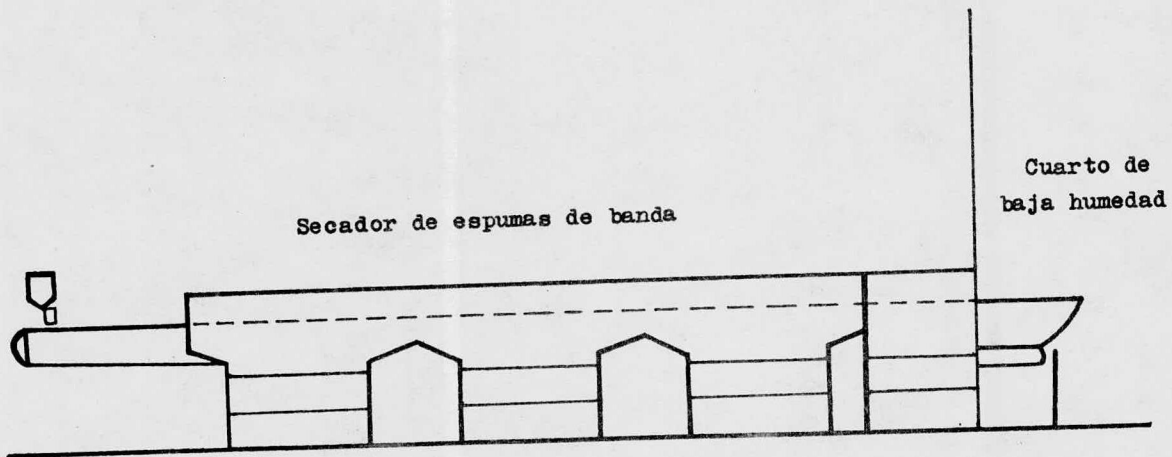


FIGURA 12. Vista lateral del secador de espumas de banda (Bissett y colaboradores, 1963) (28).

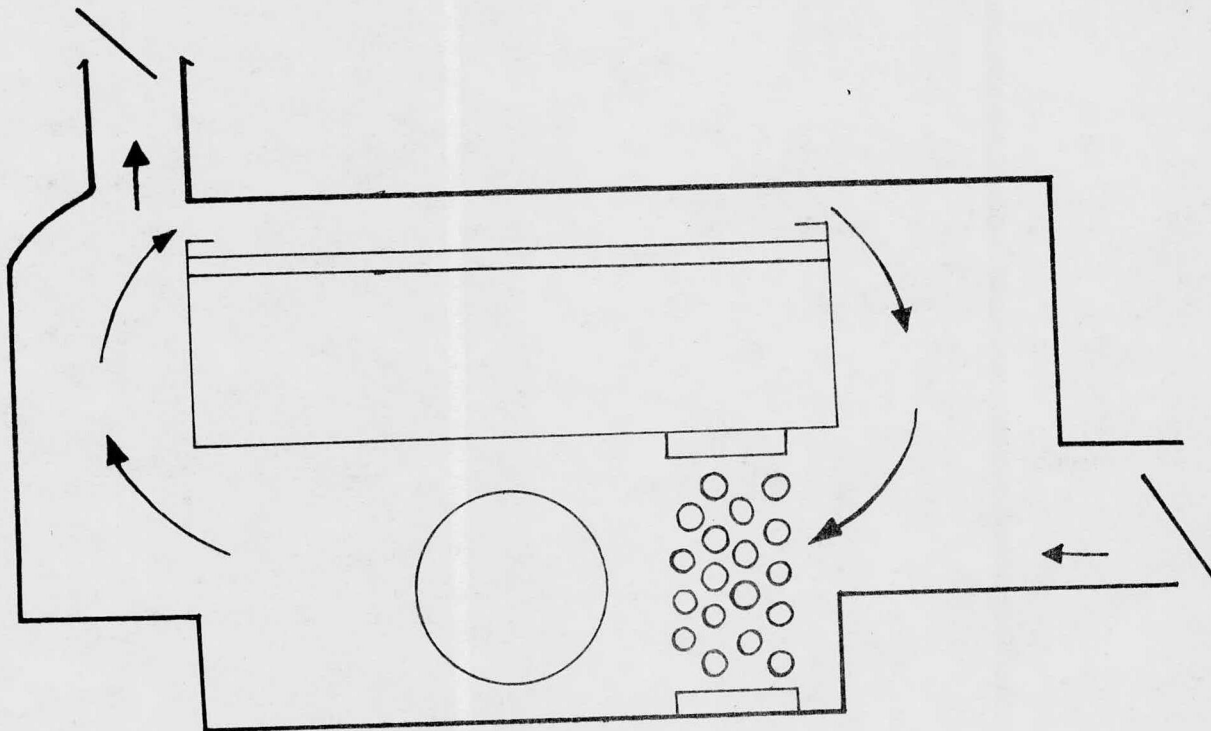


FIGURA 13. Vista de un extremo de un secador para espumas que muestra la circulación de aire caliente sobre la banda. (Bissett y colaboradores, 1963) (28).

15 min, temperaturas de entrada del aire 98.9°C (210°F), 76.7°C (170°F) y 54.5°C (130°F) en las tres etapas respectivamente. La velocidad del aire en cada una de las etapas fue: 9150, 3050 y 1525 cm/min respectivamente. La figura 14 muestra un perfil de temperaturas para el aire y la espuma.

En 1963 Hart y colaboradores (29), probaron un número de aditivos comestibles tanto en producción continua como en batch. En la Tabla 4.1.2. aparecen las condiciones usadas en la producción continua de espumas y en la Figura 15 aparecen los resultados de las pruebas intermitentes. En las pruebas continuas utilizaron tres tipos de mezcladores: Mezcladora Oakes de 15 cm de diametro, un "Votator" (cambiador de calor con aspas, de tubo concéntrico) y una mezcladora para helado suave Mills de 8 litros (2 galones). En las pruebas intermitentes utilizaron 2 mezcladoras: Una "Hobart" modelo N-50 y una "Hamilton" model G. Ellos indican que el comportamiento de un alimento en las pruebas intermitentes, son afectadas por el tipo y cantidad de agitación, la temperatura y gas espumante. La velocidad de formación de espuma depende en general de la velocidad de agitación. La temperatura puede afectar la formación de espuma y la cantidad de espumante requerido. En muchos casos, se requiere menos aditivo a bajas temperaturas. En el caso de pasta de tomate, su alta viscosidad permite una buena formación y estabilidad de espuma a temperatura ambiente.

La Belle, en 1966 (30), preparó espumas a partir de alimen

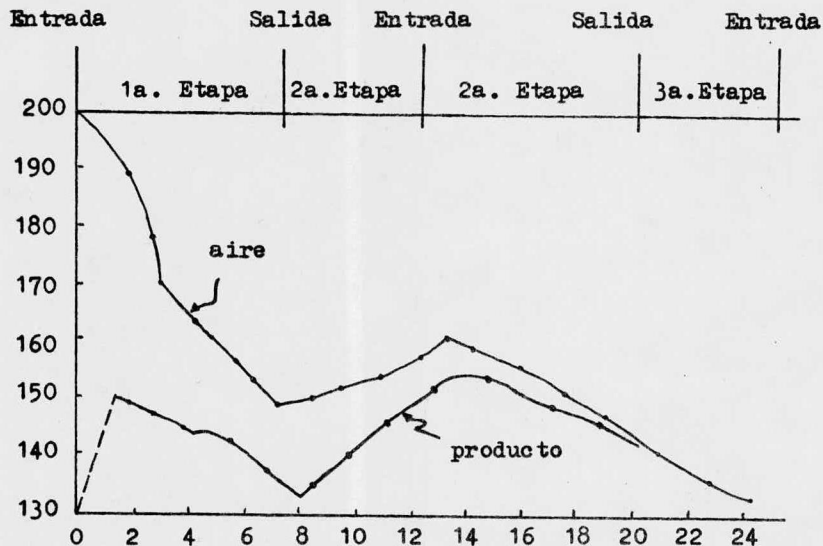


FIGURA 14. Perfiles de temperatura para el aire y el producto en el secador continuo. (Ginnette y colaboradores, 1963) (12).

| Alimentación lb/hr | Producto | Sólidos sbles (%) | Composición aditivo* | Aditivo total (% dsb) | Temp. (°F) | Presión (psi) | Densidad de la espuma (g/ml) | Aparato | rpm | Tiempo reside (mi) |
|--------------------|----------|-------------------|--|-----------------------|------------|---------------|------------------------------|------------------------|-----|--------------------|
| 35-40 | Tomate | 30 | Monoestearato de glicerilo (100%) | 0.6-1.25 | 35-70 | 20-50 | 0.55 | Mezclador Oakes | 900 | 0.17- |
| 35-40 | Tomate | 30 | M.E.G. (100%) | 1.0 | 70 | 30-40 | 0.4-0.5 | votator | 800 | 1. |
| 35-40 | Tomate | 30 | Monoestearato de sorbitán (92 %) Polioxietileno monoestearato de sorbitán (8%) | 1.0-1.25 | 70 | 20-50 | 0.5 | Mezclador Oakes | 900 | 0.17- |
| 25-30 | Naranja | 53 | Proteína de soya solubilizada (80%) Metocel 10 cp (20%) | 1.0 | 40 | 0 | 0.35 | Mezcladora para helado | 120 | 10- |
| 25 | Limón | 60 | M.E.G. (100%) | 1.0 | 70 | 20-50 | 0.3 | Mezclador Oakes | 900 | 0.17- |

* Aditivo comercial. Se puede usar aire o nitrógeno como el gas espumante. Los gastos de gas deben ser ajustados para la densidad de espuma deseada.

Tabla 4.1.2. Condiciones para la producción de espumas. (Hart y colaboradores, 1963)

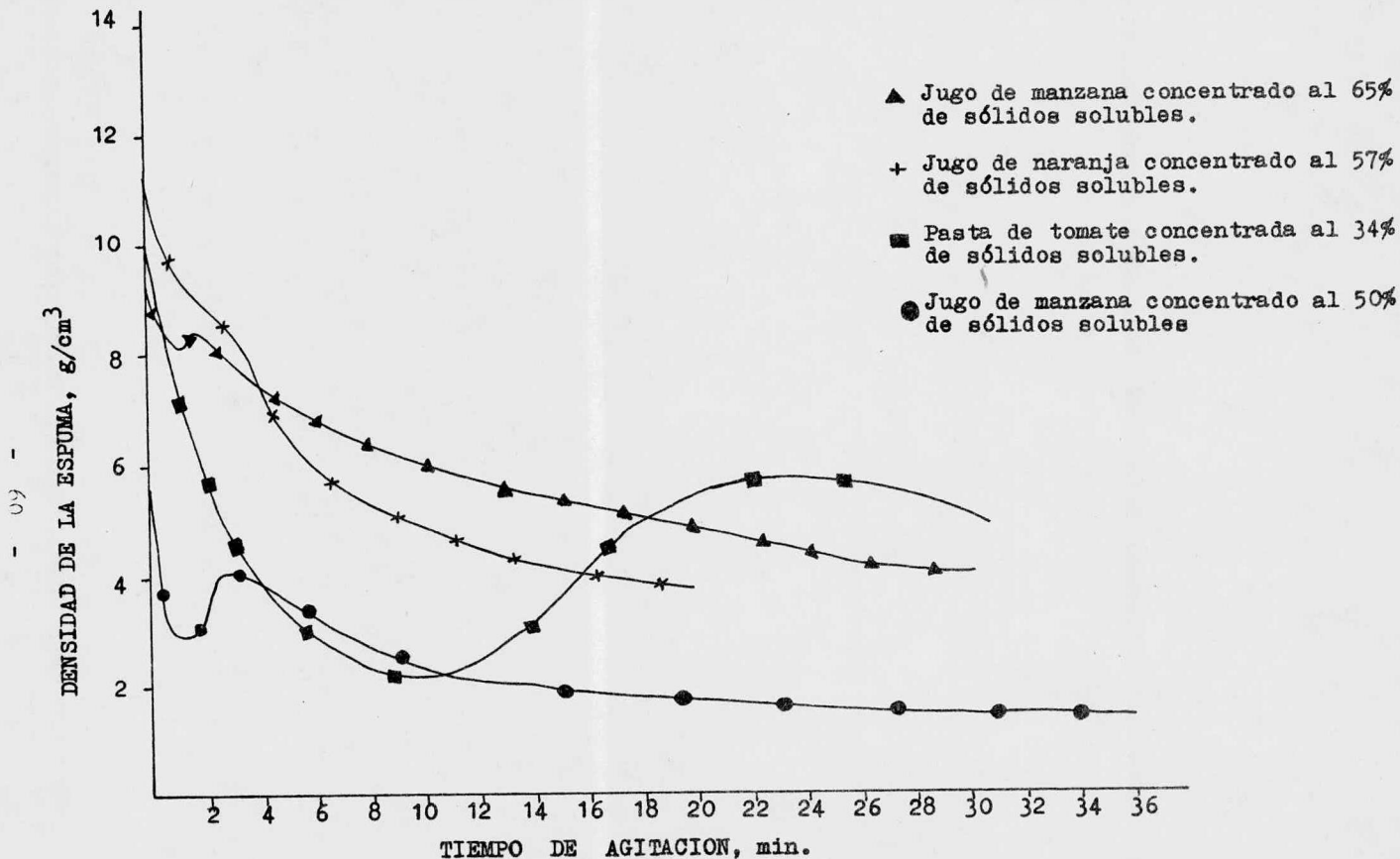


FIGURA 15. Resultados de las pruebas intermitentes (Batch) (Hart y Colaboradores, 1963) (29).

tos en forma de jarabe, pasta y concentrados, con la ayuda de un mezclador de cocina "Hamilton" modelo E. A las espumas obtenidas se les determinó la densidad, viscosidad, velocidad de drenado, distribución de tamaño de burbuja y transmisión de luz con la ayuda de equipos altamente confiables. Para una espuma de concentrado de naranja obtuvo los siguientes resultados: densidad 0.31 g/cm^3 , viscosidad plástica 5 poise (a 25°C y velocidad de corte de 150 seg), velocidad de drenado 6%/hr a 70°C , diámetro de burbuja relacionado a la interfase específica de 85μ y un coeficiente de estabilidad de 35 (el coeficiente de estabilidad es inversamente proporcional a la velocidad de crecimiento de la burbuja).

Berry y colaboradores en 1967 (20), reportaron los resultados de sus experiencias sobre el secado de uva en un secador similar al desarrollado por Morgan y colaboradores en 1962 (18). Las materias primas empleadas fueron jugo de uva concentrado y monoestearato de glicerilo como espumante. El secador trabajó en dos etapas: en la primera el aire se encontraba a una temperatura de 76.7°C (170°F) y en la segunda a 65.5°C (150°F). El tiempo de residencia en el secador fue de 12 min (2 min en la primera etapa). La humedad del producto final fue de 1.0 a 1.25%. Después se comprimió el producto a una densidad de 0.6 g/cm^3 .

El efecto de los agentes de superficie activa sobre las características del secado con aire de un sistema compuesto de celulosa, aceite y agua fue reportado por Salas y Iabuzza en 1968 (31). La

velocidad de secado de estos sistemas con "surfactantes" adicionados, fue medida como una función del contenido de humedad. La velocidad de secado se compuso de un período de velocidad constante y dos períodos de velocidad decreciente. La presencia de "surfactantes" no iónicos (Span y Tween) afectaron el período de velocidad constante, acortando su longitud. Este efecto, lo relacionaron con la disminución de la tensión superficial del agua en los poros por la presencia del "surfactante" (Figura 16). De sus estudios concluyeron que la capilaridad y la tensión superficial controlan fuertemente el periodo de velocidad constante.

De estos resultados, queda claro que no se podía proceder a la instalación y operación de una planta secadora por el método "Secado por Espumado", debido a que los datos reportados son muy superficiales en todos aspectos, ya que solo señalan características muy generales sobre todas las operaciones del mismo. Hablando del secado de tomate, este problema es aún más acentuado, por lo que se consideró necesario llevar a cabo el estudio de este proceso, partiendo desde sus operaciones más simples, hasta llegar a lo más sofisticado esto es, el "secado óptimo del tomate natural".

En este trabajo se estudiará la operación de espumado, analizándola en todas sus variables, con el objeto de que los resultados alcanzados sirvan de base fundamental para la continuación de este proyecto hasta su culminación.

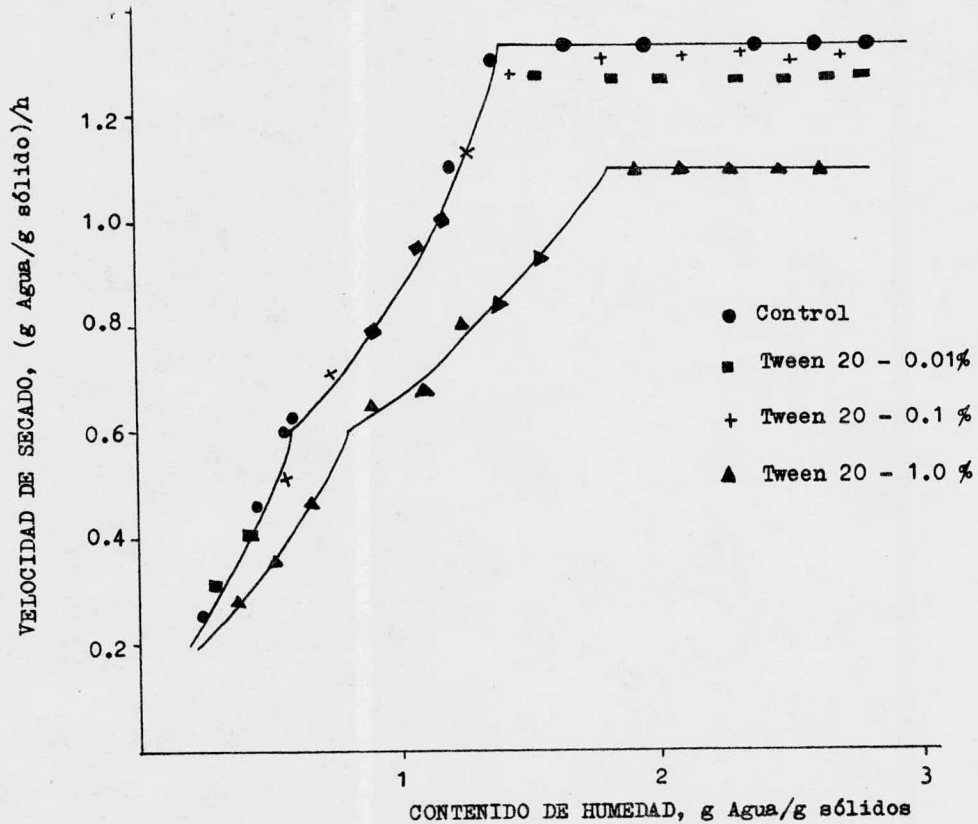


FIGURA 16. Efecto del Tween 20 sobre la velocidad de deshidratación de un sistema celulosa-lípido. (Salas y Labuza, 1968) (31).

Se diseñó y construyó un secador continuo a escala laboratorio, para que en él se establecieran las variables más importantes que permitan la instalación, ya sea de una planta piloto, y/o industrial.

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.

El desarrollo experimental de este trabajo se dividió en dos etapas. En la primera se estudió la producción de espumas y en la segunda, el diseño y la operación de un secador de charolas continuo a escala laboratorio.

4.2.1. MATERIALES Y EQUIPO.

En la producción de espumas se utilizó una Mezcladora CAFRAMO RZR1-64 (Motor E50) y agitador de (4.5 x 7.0) cm, con velocidad variable (0-1000 revoluciones por minuto). Para la determinación de la densidad de las espumas obtenidas, se utilizaron vasos de precipitado de 10 ml, previamente tarados.

La segunda parte de este trabajo fué hecha en un secador de charolas a escala laboratorio diseñado para este estudio (Ver Apéndice I). Las temperaturas de rocío y bulbo seco, se determinaron con un "YSI Model 91 Dew Point Hygrometer, Type HC". Este aparato cuenta con un aditamento para determinar la temperatura de rocío (YSI 900 Series Lithium Chloride Probes) y otro para la temperatura de bulbo seco (YSI Series 700 Thermilinear Thermistor Probe).

4.2.2. MATERIA PRIMA Y REACTIVOS.

Las pruebas iniciales de producción de espumas se llevaron a cabo con un jugo de tomate comercial al 10% de sólidos. Un concentrado de tomate comercial al 30% de sólidos se utilizó en la fase complementaria de producción de espumas. En la operación del seca-

dor de charolas se utilizó un concentrado de tomate comercial al 30% de sólidos. Los reactivos usados como agentes espumantes fueron Kermol 345 (mezcla de mono y diestearatos de glicerilo), Span 60 (Monoestearato de sorbitan) y Tween 60 (Monoestearato de sorbitan polioxietileno). Estos dos últimos fueron usados en forma simultánea.

4.2.3. METODO EXPERIMENTAL.

La preparación de una dispersión de los agentes espumantes es necesaria debido a que su aplicación directa no es recomendable por los pobres resultados que se obtienen (17). La técnica para la preparación de la emulsión Span 60 - Tween 60 fue la siguiente: Se pesaron "surfactantes" (según la relación lipofílico-hidrofílico deseada) y agua (9 veces el peso de los "surfactantes"). Se calentó el agua a 60°C y se agregó el Tween 60 (hidrofílico). Se agitó hasta lograr la dispersión. Se añadió el Span 60 (lipofílico) a la dispersión anterior y se agitó violentamente 15 seg. Se dejó reposar hasta que se formó una dispersión lechosa y espesa (temperatura aproximada 30°C) (Figura 17).

La preparación de la dispersión de Kermol 345 es más sencilla, ya que solo requiere de agitar violentamente durante 15 seg, una vez que éste ha sido añadido al agua (previamente calentada a 60°C y en una proporción en peso de 9 a 1). (Figura 18).

4.2.3.1. PRODUCCION DE ESPUMAS.

Esta parte se dividió en dos fases. En la primera, se ana

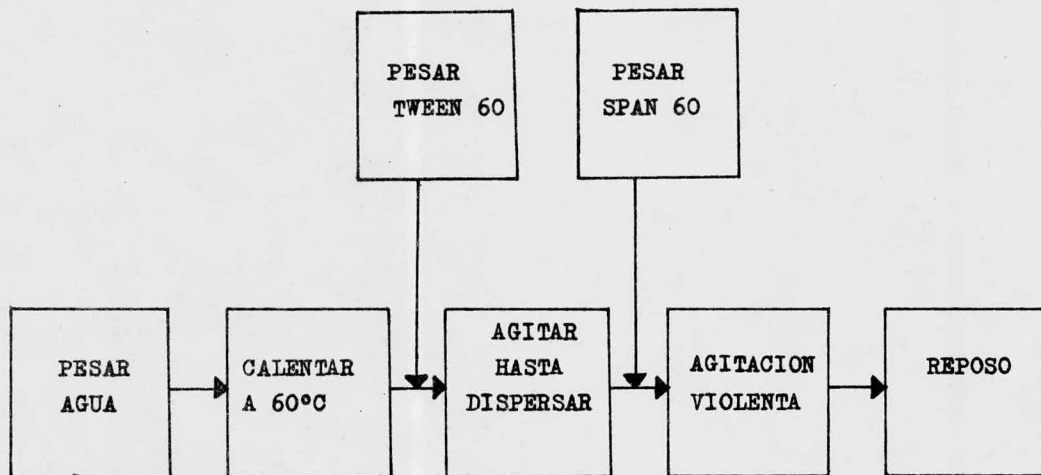


FIGURA 17. Diagrama de bloques de la dispersión de surfactantes Span 60 - Tween 60.

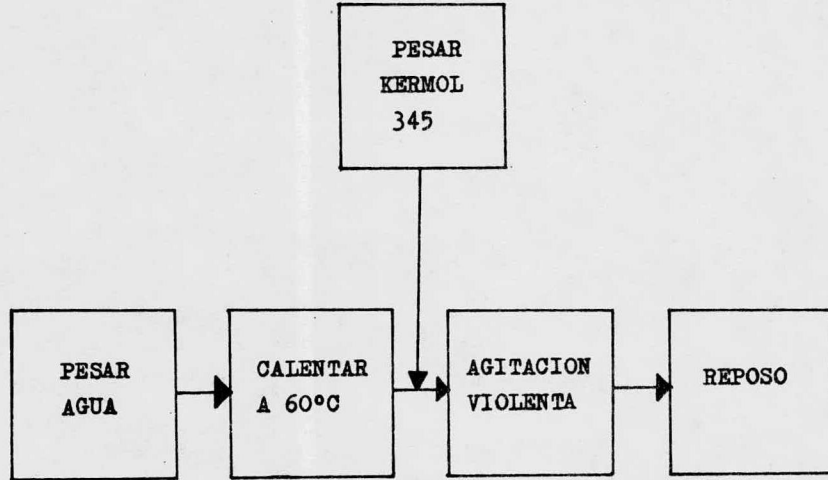


FIGURA 18. Diagrama de bloques de la dispersión del surfactante Kermol 345.

lizó la producción de espumas partiendo de jugo de tomate con 10% de sólidos aproximadamente. En principio se creyó que si esta primera fase daba buenos resultados podría pensarse en un estudio de factibilidad para el secado de espumas de tomate que no incluyera la operación de concentración.

Esta primera fase se llevó a cabo con una dispersión de surfactantes Span 60 - Tween 60. La técnica experimental y las condiciones para esta parte fueron las siguientes:

- La dispersión de surfactantes se preparó a una relación lipofílico-co-hidrofílico que da 82.35% de Span 60 y 17.65% de Tween 60.
- Se pesaron muestras de 6, 11, 13, 16.5 y 18.5 g de esta dispersión y cada una se mezcló con 100 g de jugo de tomate.
- Se agitaron en la mezcladora CAFRAMO a una velocidad de 800 rev/min durante 18 min. Se tomaron muestras en vasos de 20 ml cada 3 min. Se determinó la densidad de cada una de las muestras de espuma.
- Estas espumas se secaron en estufa a una temperatura de 60°C.

La segunda fase experimental de la producción de espumas, se llevó a cabo partiendo de un concentrado de tomate comercial al 30% de sólidos. En este estudio se tomaron en cuenta aquellas variables que se consideró podrían afectar, en un momento dado, favorable o desfavorablemente la producción de espumas. Las variables que se analizaron y que se consideró podrían determinar las características finales de la espuma son las siguientes:

- Agente espumante. Esta es acaso la variable de mayor importancia, debido a que es la que determinará en alto grado las características de la espuma. Ya se vió, que la naturaleza de los grupos activos presentes (lipofílicos e hidrofílicos) en estos compuestos es el punto controlante para el buen funcionamiento de éstos como espumantes.
- Tiempo de mezclado. Esta variable es de gran importancia ya que es la que facilitará la inclusión de pequeños volúmenes de aire dentro del concentrado de tomate y formará la estructura porosa.
- Relación lipofílico-hidrofílico. Esta relación será válida únicamente para el caso de Span 60 - Tween 60, ya que el Kermol 345 tiene una relación constante.
- % Espumante/sólidos totales. Este porcentaje es de gran importancia en el producto final, ya que, en pruebas organolépticas se encontró una textura poco aceptable cuando este porcentaje era elevado. Ya vimos también que la velocidad de secado, depende directamente de la cantidad de espumante presente en el material.
- Velocidad de mezclado. Esta variable es también de gran importancia, ya que, influye considerablemente en el tamaño de las burbujas presentes en la espuma y por lo tanto, en la estabilidad de ésta.
- Temperatura. Las espumas como se sabe se ven favorecidas con la disminución de la temperatura, motivo por el cual se puso especial atención sobre esta variable.

El efecto de estas variables sobre el aspecto o estado

físico de las espumas es muy diverso. Para algunas de ellas es necesario un cambio apreciable en su valor, con el fin de poder determinar algún efecto. No así para otras, como es el caso del tiempo de mezclado, en el cual el cambio se puede detectar rápidamente. Este aspecto o estado físico de que se habló puede medirse o evaluarse por alguna de las propiedades físicas siguientes: La densidad, viscosidad, tamaño de burbuja, distribución de tamaño de burbuja, drenado, etc. Todas éstas pueden ser medidas con aparatos y equipos confiables. En este estudio se hizo una estimación de algunas de estas propiedades: el drenado, densidad y un efecto combinado de viscosidad y tamaño de burbuja interpretado como dureza.

Esta segunda fase experimental incluyó los objetivos siguientes:

- a) El efecto de la temperatura en la producción de espumas.
- b) El efecto de la velocidad de mezclado.
- c) Determinar el efecto del tiempo de agitación y la cantidad de surfactante por contenido de sólidos solubles totales.
- d) Determinar el estado físico de las espumas al cambiar la relación lipofílico-hidrofílico de los surfactantes.
- e) Estimar el efecto que produce el aumento del % de surfactante/sólidos totales sobre la relación lipofílico-hidrofílico.

El desglose de cada uno de estos puntos es:

- a) La técnica experimental y las condiciones para determinar el efecto de la temperatura sobre la producción de espumas fue la siguiente

- te: Una muestra de 100 g de concentrado de tomate al 30% de sólidos a temperatura $T_1=10$ C, se mezcló con 5 g de dispersión de surfactantes de $HLB = 6.0$. Esta mezcla se agitó a 800 rev/min durante 6 min. Enseguida se determinó la densidad de la espuma obtenida. Esta corrida se realizó tres veces y se calculó la densidad promedio. La operación anterior se repitió a $T_2=30^\circ\text{C}$ y $T_3=50^\circ\text{C}$.
- b) Para determinar el efecto de la velocidad de agitación sobre la producción de espumas se llevo a cabo la siguiente técnica experimental: Una muestra de 100 g de concentrado de tomate al 30% de solidos a temperatura de 22°C , se mezcló con 5 g de dispersión de "surfactantes" de $HLB = 6.0$. Esta mezcla se agitó a una $V_1=300$ rev/min durante 6 min. Enseguida se determinó la densidad de la espuma obtenida. Esta corrida se repitió tres veces y se calculó la densidad promedio. La operación anterior se repitió a $V_2=600$ rev/min, $V_3=800$ rev/min y $V_4=900$ rev/min.
- c) La técnica experimental y las condiciones para evaluar el efecto del tiempo de agitación y el aumento del % surfactante/sólidos totales fue la siguiente: Una muestra de 100 g de concentrado de tomate al 30% de sólidos a temperatura de 20°C , se mezcló con $W_1= 4$ g de dispersión de "surfactantes" de $HLB = 5.8$. Esta mezcla se agitó durante 10 min a 800 rev/min. Cada 2 min se tomó una muestra y se le determinó la densidad. Esta corrida se realizo 4 veces y se calculó la densidad promedio. La operacion anterior se repitió a $W_2= 5$ g, $W_3= 6$ g, $W_4= 7$ g, $W_5= 8$ g y $W_6= 9$ g.
- d) Para determinar el estado físico de las espumas al cambiar la re-

lación lipofílico-hidrofílico de la mezcla de surfactantes la técnica experimental seguida fue: Una muestra de 100 g de concentrado de tomate al 30% de sólidos a temperatura de 20°C, se mezcló con 5 g de dispersión de "surfactantes" (% surfactantes/sólidos totales = 1.63) con un % Span 60 = 97.05. Esta mezcla se agitó durante 10 min a 800 rev/min. Cada 2 min se tomó una muestra y se le determinó la densidad. Esta corrida se realizó 4 veces y se calculó la densidad promedio. La operación anterior se llevó a cabo también, a los porcentajes de Span 60 siguientes: 92.15; HLB = 5.5, 89.22; HLB = 5.8, 87.25; HLB = 6.0, 82.35; HLB = 6.5 y 77.45; HLB = 7.0.

- e) Con el objeto de determinar la influencia del % surfactante/sólidos totales sobre la variación de la relación lipofílico-hidrofílico de la mezcla de "surfactantes" se realizaron una serie de pruebas con la siguiente técnica experimental: Una muestra de 100 g de concentrado de tomate al 30% de sólidos a temperatura de 20°C, se mezcló con 9 g de dispersión de "surfactante" (% "surfactante"/sólidos totales = 2.91) con un % Span 60 = 97.05. Esta mezcla se agitó durante 10 min a 800 rev/min. Cada 2 min se tomó una muestra y se le determinó la densidad. Esta corrida se realizó 4 veces y se calculó la densidad promedio. La operación anterior se llevó a cabo también, a los porcentajes de Span 60 siguientes: 92.15; HLB = 5.5, 89.22; HLB = 5.8, 87.25; HLB = 6.0, 82.35; HLB = 6.5 y 77.45; HLB = 7.0.

4.2.3.2. OPERACION DEL SECADOR DE CHAROLAS CONTINUO.

Esta segunda parte experimental se realizó con un tomate comercial concentrado al 30% de sólidos solubles, de diferente procedencia al utilizado en la producción de espumas. Esta circunstancia obligó a repetir algunas pruebas de producción de espumas para determinar el efecto de la temperatura, velocidad de agitación y cantidad de surfactante sobre este nuevo producto. Las pruebas se realizaron en las condiciones y técnica de los experimentos anteriores con el objeto de tener un patrón de comparación.

La técnica experimental para determinar el efecto de la temperatura fue la siguiente: Una muestra de 100 g de concentrado de tomate al 30% de sólidos a temperatura $T_1 = 10^\circ\text{C}$, se mezcló con 5 g de dispersión de surfactante de HLB= 6.0. Esta mezcla se agitó a 800 rev/min durante 6 min. Enseguida se determinó la densidad de la espuma obtenida. Esta corrida se realizó tres veces y se calculó la densidad promedio. La operación anterior se repitió a $T_2 = 30^\circ\text{C}$ y $T_3 = 50^\circ\text{C}$.

El efecto de la velocidad de agitación se determinó con la siguiente técnica experimental: Una muestra de 100 g de concentrado de tomate al 30% de sólidos a temperatura de 22°C , se mezcló con 5 g de dispersión de surfactante de HLB= 6.0. Esta mezcla se agitó a una velocidad $V_1 = 300$ rev/min. durante 6 min. Enseguida se determinó la densidad de la espuma obtenida. Esta corrida se realizó tres veces y se calculó la densidad promedio. La operación anterior se repitió

a $V_2 = 100$ rev/min, $V_3 = 600$ rev/min, $V_4 = 800$ rev/min y $V_5 = 900$ rev/min.

La técnica experimental y las condiciones para evaluar el efecto del tiempo de agitación y el aumento del % surfactante/sólidos totales fue la siguiente: Una muestra de 100 g de concentrado de tomate al 30% de sólidos a temperatura de 20°C, se mezcló con $W_1 = 1.5$ g de dispersión de surfactantes de HLB= 5.8. Esta mezcla se agitó durante 10 min a 300 rev/min. Cada 2 min se tomó una muestra y se le determinó la densidad. Esta corrida se realizó dos veces y se calculó la densidad promedio. La operación anterior se repitió a $W_2 = 4$ g y $W_3 = 7$ g.

Obtenidos los resultados de estos experimentos se procedió a la operación del secador. Los objetivos tratados fueron los siguientes:

- A. Determinar bajo qué condiciones de gasto y temperatura el secador trabaja más eficientemente.
- B. Determinar la capacidad máxima en g/hcm^2 de producto seco, bajo las condiciones establecidas en el punto anterior.
- C. Análisis organoléptico comparativo del producto obtenido en esta primera fase inicial y un tomate comercial deshidratado por aspersión.

A. Para determinar las condiciones de gasto y temperatura bajo las cuales el secador trabaja más eficientemente, se corrieron

seis pruebas intermitentes (Tabla 4.2.3.2.1.), con duración de 30 min cada una. La espuma de tomate comercial concentrado al 30% se preparó en la siguiente forma: 100 g de pasta de tomate, 4 g de dispersión de "surfactantes" con 87.25% Span 60 (HLB= 6.0); temperatura de la pasta, 22°C; 5 min de agitación y la velocidad del agitador, 600 rev/min. Ya preparada la espuma, se tomó una muestra de $40 \pm 1g$ se esparció sobre una charola en un área total de 324 cm^2 ($18 \times 18 \text{ cm}$) y se formaron los cráteres. Enseguida, se colocó la charola con espuma dentro del secador bajo las condiciones de la corrida No. 1 contenida en la Tabla antes citada. A cada una de las espumas, después de someterlas al secado, se le determinó la humedad.

TABLA 4.2.3.2.1. CONDICIONES DE GASTO Y TEMPERATURA DEL AIRE, PARA LAS PRUEBAS INTERMITENTES.

| Corrida No. | % Gasto aire | Temperatura aire, °C |
|-------------|-----------------|-------------------------|
| 1 | 100 | 48 |
| 2 | 100 | 34 |
| 3 | 100 | 22 |
| 4 | 50 | 57 |
| 5 | 50 | 40 |
| 6 | 50 | 22 |

B. Determinadas las condiciones de gasto y temperatura del aire en las que la transferencia de masa era mayor, se procedió a trabajar el secador en estas condiciones para evaluar la capacidad del mismo en g/hcm^2 , de producto seco (1 a 4% de humedad) en régimen continuo. La espuma de tomate comercial concentrado al 30% se preparó en la siguiente forma: 100 g de pasta de tomate, 4 g de dispersión de surfactantes con 87.25% Span 60 (HLB = 6.0); temperatura de la pasta, 22°C; 5 min de agitación a 600 rev/min. Ya preparada la espuma, se tomó una muestra de 40 ± 1 g, se esparció sobre una charola en un área total de 324 cm^2 (18 x 18 cm) y se formaron los cráteres. Enseguida se colocó la charola con espuma dentro del secador. Esta operación se repitió cada 15 min. Cuando se colocó la octava charola, la primera de éstas se extrajo para seguir conservando 7 charolas dentro del secador. Otras dos charolas, para completar un total de diez, fueron introducidas al secador cada 15 min, conservando siempre 7 charolas en el interior. A cada una de las espumas-después del secado se le determinó la humedad. Transcurridos 15 min, después de colocar dentro del secador la décima charola, se detuvo la operación y se determinó la humedad a cada una de las espumas. Esta corrida experimental se realizó también con intervalos de alimentación de las charolas de 10 y 13 min.

C. El análisis organoléptico comparativo se hizo por medio de métodos de preferencia subjetivos (39). Se usaron pruebas triangulares en las que se determinaron olor, color, sabor y textura. Las muestras de tomate deshidratado se prepararon a una concentración de 9 partes de agua y una de tomate deshidratado. Las pruebas triangu-

lares tenían muestras del polvo de tomate obtenido en este trabajo, muestras de tomate secado por aspersión y puré de tomate comercial (10% de sólidos).

El panel tenía 13 jueces. A cada juez se le presentaron tres grupos de muestras I, II y III, cada una con tres productos (A, C y E). El patrón fue el siguiente:

I : ACC

II : ECC

III : AAE

Los jueces ignoraban qué muestras se tenían en cada grupo y si éstas eran iguales o diferentes.

También se usaron pruebas escalares hedónicas en las que se calificaron cuatro muestras A, B, C y D de sopas de pasta preparadas con puré de tomate comercial, sólidos de tomate obtenidos por aspersión y espumado y con un cubo comercial de tomate deshidratado con "consomé de pollo". En éstas se calificó la apariencia general de la muestra.

Los métodos seguidos para llevar a cabo estas pruebas organolépticas están presentados en el Apéndice II.



CAPITULO 5

RESULTADOS

En base a los experimentos descritos se obtuvieron los siguientes resultados.

5.1. PRODUCCION DE ESPUMAS.

Los resultados de la fase inicial se muestran en la Figura 19. En estas espumas se observó una velocidad de drenado de agua muy marcada, disminuyendo este fenómeno con el aumento en el porcentaje de surfactante/sólidos totales y en menor grado, con el incremento en el tiempo de agitación. De esta información se observa también que se requiere un porcentaje de espumante/sólidos totales del orden del 12 al 16% y tiempos de agitación mayores de 12 min para lograr espumas de cualidades aparentemente deseables para la operación de secado, tales como: estabilidad (ausencia de drenado y uniformidad de burbuja) y una relación volumen/peso muy grande (baja densidad). Las espumas que se obtuvieron a un porcentaje de "surfactante"/sólidos totales menor que 10%, mostraron un excesivo drenado de agua en períodos muy cortos de tiempo.

La Tabla 5.1.1. contiene los resultados de las pruebas experimentales para determinar el efecto de la temperatura sobre la producción de espumas. De estos resultados, presentados en la Figura 20, se puede observar que la formación de espumas es favorecida con la disminución de la temperatura. La explicación más factible de este comportamiento, es que las fuerzas que mantienen la estruc-

tura porosa y permiten la formación de las espumas tienen una magnitud de 3 a 10 Kcal/gmol. circunstancia que las hace sensibles al aumento de la temperatura (33).

Los resultados de las pruebas para evaluar el efecto de la velocidad de agitación sobre la formación y estabilidad de espumas se encuentran en la Tabla 5.1.2. En la Figura 21, están graficados los valores de la densidad promedio contra la velocidad de agitación. La característica más importante de la velocidad de agitación, es que determina en gran parte la estabilidad de la espuma, debido a que el tamaño de las burbujas de aire ocluidas en la estructura porosa dependen directamente de dicha velocidad.

La Tabla 5.1.3. contiene los resultados de las pruebas realizadas para evaluar el efecto del tiempo de agitación y del porcentaje de surfactante/sólidos totales. En las Figuras 22 y 23 están contenidos estos resultados. Las espumas obtenidas en estas pruebas, mostraron características muy diferentes a las obtenidas en las espumas de jugo de tomate. La principal diferencia se notó, en que, a cualquier concentración de surfactante y tiempo de agitación las espumas formadas, presentaron mayor estabilidad. La ausencia de drenado de agua y mayor uniformidad de burbuja fueron las causas principales de dicha estabilidad. En la Figura 22, se puede ver, que el incremento en el tiempo de agitación favorece la formación de espumas. En la Figura 23 se observa que el incremento en el porcentaje de surfactante/sólidos totales favorece tanto la formación como la

estabilidad de la espuma.

Los resultados de las pruebas para evaluar el estado físico de las espumas al cambiar la relación lipofílico-hidrofílico de la mezcla de "surfactantes" se presentan en la Tabla 5.1.4. y Figura 24. De estos resultados se puede ver que la formación de espumas se incrementó con la mezcla de "surfactantes" a un % Span 60 = 89.22. Sin embargo, no existe diferencia apreciable en comparación con los resultados logrados con la mezcla de surfactantes a % Span 60 = 97.05, que en la gráfica aparece como la de menor formación de espuma. El cambio más importante que se apreció fue la variación de la dureza. En estas pruebas la disminución del porcentaje de Span 60 en la mezcla de "surfactantes" (menos grupos lipófilos), provocó una disminución de la dureza de las espumas formadas.

La Tabla 5.1.5. y la Figura 25, contienen los resultados de las pruebas para determinar la influencia del % "surfactante"/sólidos totales sobre la variación de la relación lipofílico-hidrofílico de la mezcla de "surfactantes". Comparando estos resultados con los de la Figura 24, se nota claramente que el aumento del % "surfactante"/sólidos totales de 1.63 a 2.91, provocó una disminución de la influencia de la relación hidrofílico-lipofílico sobre la formación de espumas y un aumento en la estabilidad de éstas.

Como se mencionó en la Sección 4.2.3.2., las pruebas de secado se llevaron a cabo con una pasta de un lote distinto que, aunque

contenía también 30% de sólidos, tenía una viscosidad mayor.

Los resultados de los experimentos realizados para determinar el efecto de la temperatura sobre la nueva pasta de tomate están contenidos en la Figura 26. En estos resultados se puede observar que las temperaturas más bajas contribuyen a la mayor formación de espuma, comportamiento similar al ya obtenido en los primeros experimentos. Sin embargo, las espumas obtenidas con la nueva pasta, mostraron densidades más bajas en todas las temperaturas. En estos experimentos se observó también que, cuando la temperatura de la pasta era de 10°C, solo fue posible agitarla durante escasos 30 seg a 800 rev/min, teniendo que disminuir la velocidad al mezclador a 600 rev/min, para poder seguir agitando (A menor velocidad aumenta el torque del agitador). A la temperatura de 30°C, se agitó durante 2 min a 800 rev/min. A la temperatura de 50°C, sí fue posible agitar los 6 min a 800 rev/min, debido a que a esta temperatura la formación de espumas es muy pobre y hay una disminución notable de la viscosidad de la pasta.

De igual manera, los resultados obtenidos de los experimentos para determinar el efecto de la velocidad de agitación sobre la formación y estabilidad de espumas a partir de la nueva pasta, mostraron resultados diferentes a los de la segunda fase experimental. En la Figura 27 están contenidos estos últimos. En ellos se puede ver que la formación de espumas a partir de la nueva pasta, también tienen un rango de velocidades de agitación que la favorece. Se

puede ver también que, los últimos resultados se encuentran desplazados hacia la menor densidad (mayor formación de espuma) y más bajas velocidades de agitación. Las densidades a 800 y 900 rev/min no fue posible obtenerlas debido a que la viscosidad de la pasta y la espuma formada en los primeros minutos impidió el movimiento del agitador.

En la Figura 28, están contenidos los resultados de los experimentos para estimar el efecto del tiempo de agitación sobre la formación de espumas a partir de la nueva pasta de tomate. En estos resultados se puede ver que el aumento del % de "surfactante"/sólidos totales favorece marcadamente la formación de espumas, comportamiento similar al encontrado en los experimentos de la primera parte. En la Figura 28 se puede ver también, que las características de la nueva pasta permitieron obtener resultados muy superiores a los obtenidos en los primeros experimentos. Un ejemplo de ello, son las condiciones necesarias, menos severas, para alcanzar la misma formación de espuma.

El resultado de los experimentos para evaluar el efecto del aumento del % surfactante/sólidos totales, sobre la formación de espumas a un tiempo constante de agitación está contenido en la Figura 29. Estos resultados exhiben un comportamiento semejante a los de la primera parte, con la diferencia de que, al igual que los resultados de la Figura 28, se necesitaron condiciones menos severas para lograr la misma formación y estabilidad de espuma.

La causa principal de los resultados antes citados, se debe a que la viscosidad de la pasta de estos experimentos, era mayor a la de la pasta utilizada en la segunda fase, no obstante que el contenido de sólidos era el mismo. Esta diferencia tan notable en la viscosidad de las pastas, se debe a las condiciones de proceso a las que son sometidas durante su manufactura. En general las pectinas (PECTINESTERASA Y POLIGALATURONASA) del tomate son las que determinan la viscosidad o consistencia de la pasta. De aquí que si el proceso de inactivación de las enzimas pécticas se lleva a cabo en forma lenta, éstas actuarán sobre las pectinas bajando la consistencia de la pasta. Si esta inactivación se lleva a cabo en forma rápida, los productos obtenidos tendrán una consistencia más adecuada. El medio más rápido de llevar a cabo esta inactivación es la inyección de vapor vivo. Desafortunadamente, esta técnica no se recomienda para jugo de tomate porque lo diluye con los condensados y además está prohibido por los estándares de identidad. Su mayor ventaja es que retiene un mínimo de 95% de la viscosidad potencial del tomate fresco. En la literatura se reporta que, elevando la temperatura del jugo a 104°C en un tanque con serpentín rotatorio, seguido de un cambiador de calor, puede conseguirse una retención de casi 90% de la viscosidad potencial del tomate fresco. La viscosidad del jugo procesado variará, pues en proporción a la viscosidad potencial retenida por el tratamiento térmico dado.

Wagner y colaboradores (1967, 1968 y 1969) (34, 35, 36), encontraron que la consistencia del jugo de tomate puede aumentarse

si se agregan ácidos al tomate inmediatamente antes, o durante la molienda y el calentamiento. Miers y colaboradores (1967) (38) y Becker y colaboradores (1968) (37) también reportan que estos ajustes del pH durante el procesamiento del tomate afectan no solo la consistencia sino que modifican el contenido total de pectina y las características de ésta.

Considerando pues, que en nuestro país, la mayoría de las plantas que procesan tomate no tienen controles muy estrictos, ni de temperatura ni de pH, no es de extrañar que entre lote y lote se tengan diferencias en consistencia, ya que el único control que se tiene es el contenido de sólidos.

5.2. OPERACION DEL SECADOR DE CHAROLAS CONTINUO.

En la Tabla 5.2.1. están contenidos los resultados de las pruebas experimentales realizadas para evaluar las condiciones de gas to y temperatura de aire, en las que el secador trabaja más satisfactoriamente. En estos datos se puede observar que la transferencia de calor es el factor determinante para alcanzar un secado más rápido (corrida 4 y 5). La transferencia de masa, tiene un efecto casi despreciable en el proceso de secado, como puede verse en los resultados obtenidos de las corridas 3 y 6 de la misma tabla. Las pruebas para determinar la productividad del secador a diferentes tiempos de alimentación, se tomaron de las condiciones de la corrida 4, esto es, 50% de gasto de aire y temperatura del aire 57°C.

Las Tablas 5.2.2., 5.2.3. y 5.2.4. contienen los resultados experimentales de las pruebas para determinar la capacidad del secador, con tiempos de alimentación de las charolas de 10, 13 y 15 min respectivamente.

La productividad de las corridas con alimentación de las charolas cada 13 y 15 min, en régimen continuo, fueron las siguientes:

$$\left[\text{Productividad} \right]_{13 \text{ min}} = 0.270 \frac{\text{Kg}}{\text{h m}^2} ; \text{ este producto tuvo una humedad de } 0.0314 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg sólidos Tot.}} \quad \text{o } \% \text{ H}_2\text{O} = 3.03$$

$$\left[\text{Productividad} \right]_{15 \text{ min}} = 0.245 \frac{\text{Kg}}{\text{h m}^2} ; \text{ este producto tuvo una humedad de } 0.0245 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg sólidos Tot.}} \quad \text{o } \% \text{ H}_2\text{O} = 2.34$$

Comparando estos resultados con los reportados por Ginnette y colaboradores (1963) (12), sobre secado de pasta de tomate a nivel planta piloto;

$$\text{Productividad} = 1.45 \frac{\text{Kg}}{\text{h m}^2} ; \text{ con una humedad por ciento de } 2.5 \text{ a } 3.0$$

se encontró que estos resultados fueron muy superiores a los obtenidos en el secador diseñado, sin embargo, hay que hacer notar que estas pruebas son iniciales y se espera que una vez optimizado el equipo se alcance una productividad comparable a la alcanzada en los estudios ya citados.

TABLA 5.1.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PARA EVALUAR EL EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA FORMACION DE ESPUMAS.

| TEMPERATURA INICIAL DEL CONCENTRADO DE TOMATE, °C | D E N S I D A D, g/cm ³ | | | |
|---|------------------------------------|-------|-------|----------|
| | Corrida No. | | | PROMEDIO |
| | 1 | 2 | 3 | |
| 10 | 0.571 | 0.558 | 0.560 | 0.561 |
| 30 | 0.596 | 0.581 | 0.587 | 0.588 |
| 50 | 0.772 | 0.762 | 0.773 | 0.769 |

TABLA 5.1.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PARA EVALUAR EL EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACION SOBRE LA FORMACION DE ESPUMAS.

| VELOCIDAD DE AGITACION, rev/min | D E N S I D A D, g/cm ³ | | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------|-------|----------|
| | Corrida No. | | | PROMEDIO |
| | 1 | 2 | 3 | |
| 300 | 0.782 | 0.795 | 0.793 | 0.790 |
| 600 | 0.568 | 0.571 | 0.571 | 0.570 |
| 800 | 0.571 | 0.572 | 0.572 | 0.573 |
| 900 | 0.590 | 0.595 | 0.597 | 0.594 |

TABLA 5.1.3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PARA EVALUAR EL EFECTO DEL TIEMPO DE AGITACION Y CONCENTRACION DE SURFACTANTE SOBRE LA FORMACION DE ESPUMAS.

| DISPERSION DE SURFACTANTE g | SURFACTANTE % SOLIDOS TOTALES | D E N S I D A D, g/cm ³ | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | Tiempo, min | | | | |
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 4 | 1.31 | 0.800 | 0.698 | 0.659 | 0.591 | 0.550 |
| 5 | 1.63 | 0.730 | 0.635 | 0.573 | 0.515 | 0.480 |
| 6 | 1.96 | 0.680 | 0.571 | 0.505 | 0.449 | 0.427 |
| 7 | 2.26 | 0.654 | 0.539 | 0.470 | 0.433 | 0.410 |
| 8 | 2.59 | 0.625 | 0.516 | 0.447 | 0.419 | 0.392 |
| 9 | 2.91 | 0.592 | 0.484 | 0.454 | 0.420 | 0.398 |

TABLA 5.1.4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PARA EVALUAR EL EFECTO DEL HLB SOBRE LA FORMACION DE ESPUMAS.

| % SURFACTANTE/SOLIDOS TOTALES = 1.63 | | | | | | |
|--------------------------------------|-----|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| % SPAN | HLB | D E N S I D A D, g/cm ³ | | | | |
| | | Tiempo, min | | | | |
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 97.05 | 5.0 | 0.815 | 0.680 | 0.585 | 0.551 | 0.524 |
| 92.15 | 5.5 | 0.767 | 0.640 | 0.535 | 0.505 | 0.502 |
| 89.22 | 5.8 | 0.700 | 0.545 | 0.483 | 0.428 | 0.410 |
| 87.25 | 6.0 | 0.705 | 0.582 | 0.491 | 0.465 | 0.435 |
| 82.35 | 6.5 | 0.766 | 0.618 | 0.523 | 0.487 | 0.460 |
| 77.45 | 7.0 | 0.740 | 0.590 | 0.510 | 0.480 | 0.452 |

TABLA 5.1.5. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PARA EVALUAR EL EFECTO DEL HLB SOBRE LA FORMACION DE ESPUMAS.

| % SURFACTANTE/SOLIDOS TOTALES = 2.91 | | | | | | |
|--------------------------------------|-----|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| % SPAN | HLB | D E N S I D A D, g/cm ³ | | | | |
| | | Tiempo, min | | | | |
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 7.05 | 5.0 | 0.737 | 0.526 | 0.424 | 0.380 | 0.356 |
| 2.15 | 5.5 | 0.695 | 0.510 | 0.410 | 0.367 | 0.351 |
| 9.22 | 5.8 | 0.600 | 0.470 | 0.395 | 0.350 | 0.325 |
| 7.25 | 6.0 | 0.613 | 0.487 | 0.397 | 0.354 | 0.330 |
| 2.35 | 6.5 | 0.618 | 0.490 | 0.398 | 0.356 | 0.331 |
| 7.45 | 7.0 | 0.635 | 0.500 | 0.401 | 0.357 | 0.336 |

FIGURA 19. Efecto del tiempo de agitación sobre la formación de espumas a partir del jugo de tomate.

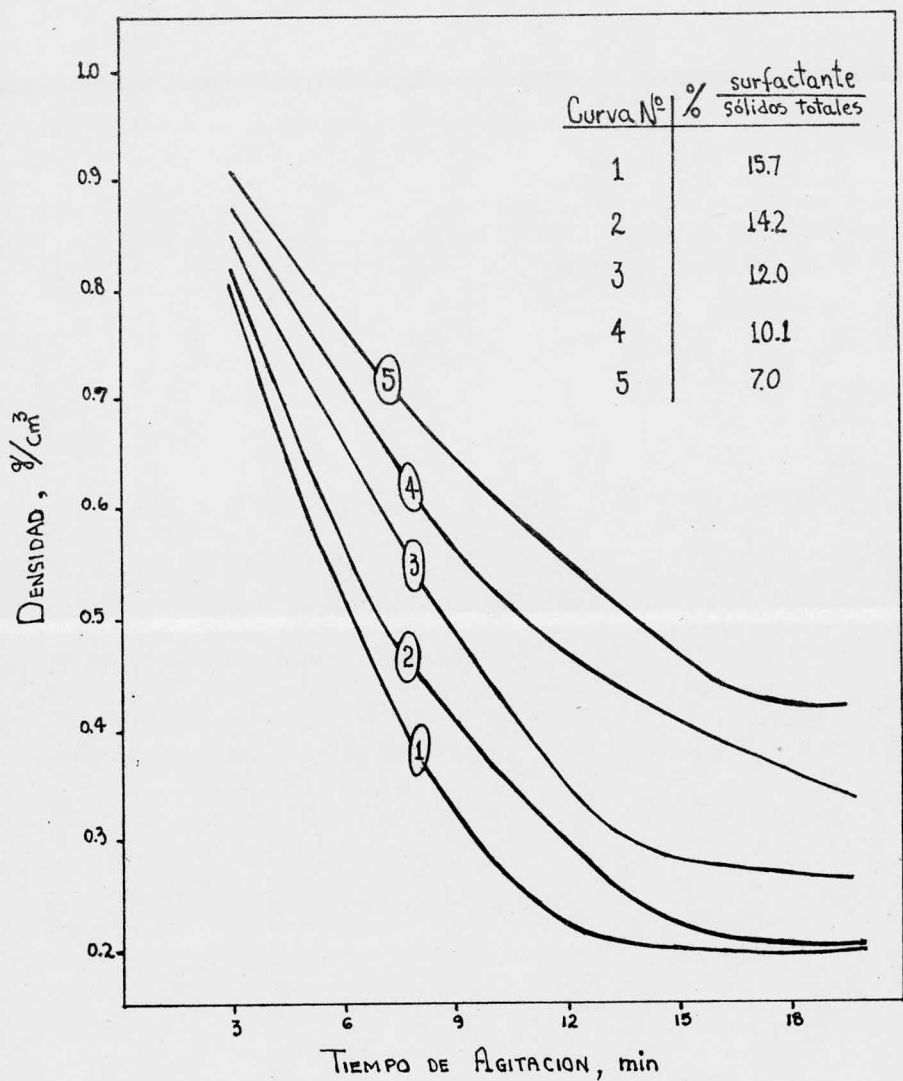


FIGURA 20. Efecto de la temperatura sobre la formación de espumas, a partir de un concentrado de tomate al 30% de sólidos solubles.

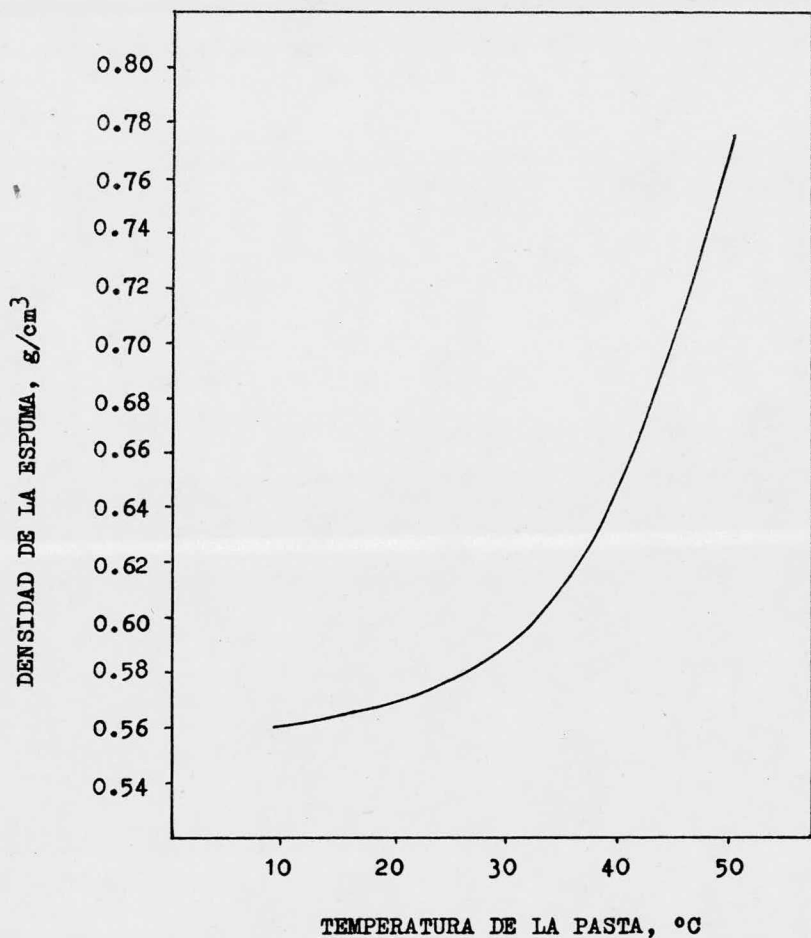


FIGURA 21. Efecto de la velocidad de agitación sobre la formación de espuma a partir de un concentrado de tomate al 30% de sólidos solubles.

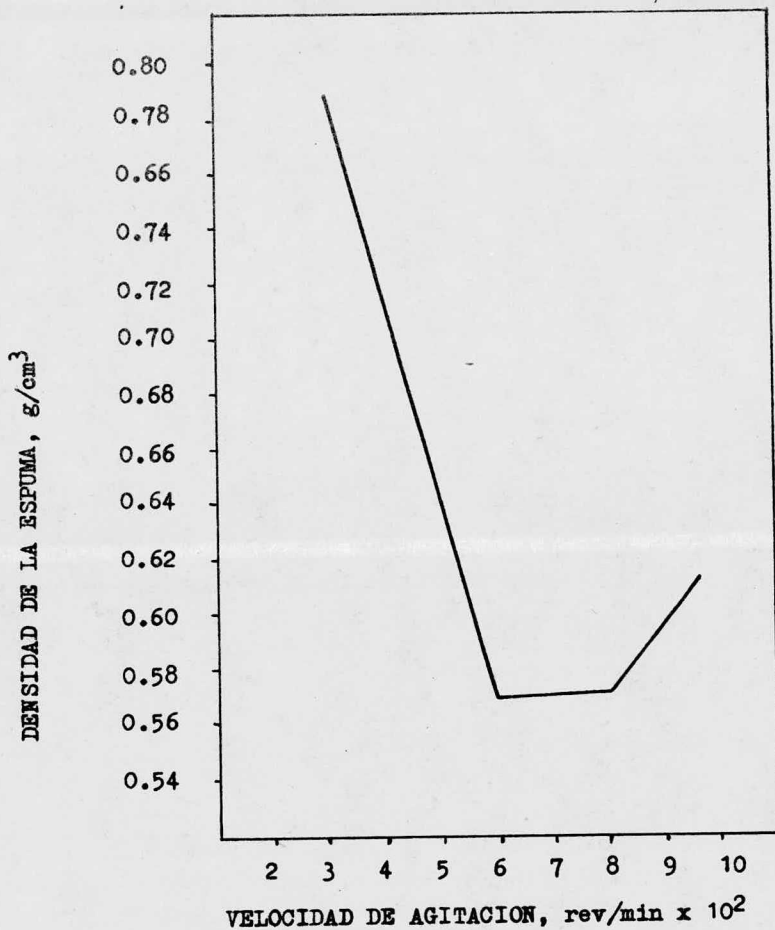


FIGURA 22. Efecto del tiempo de agitación sobre la formación de espumas a diferentes concentraciones de surfactante.

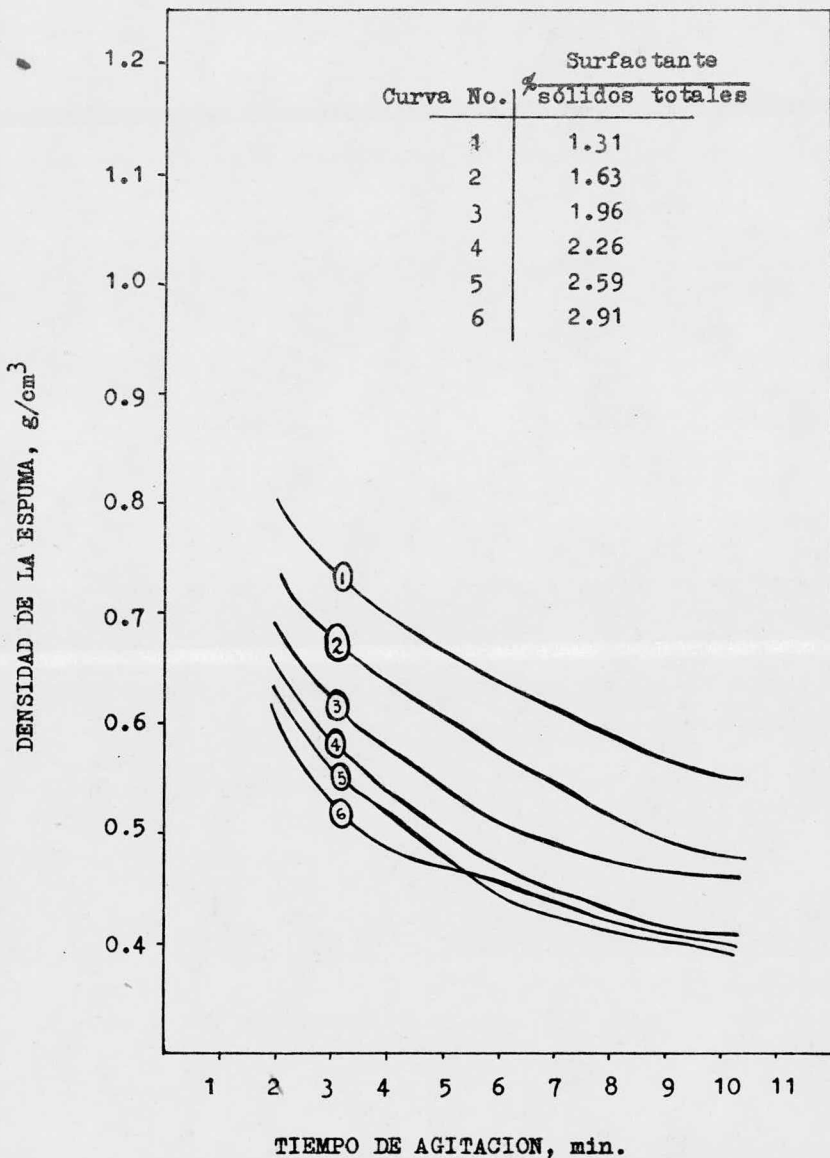


FIGURA 23. Efecto de la concentración del surfactante sobre la formación de espuma a diferentes tiempos de agitación.

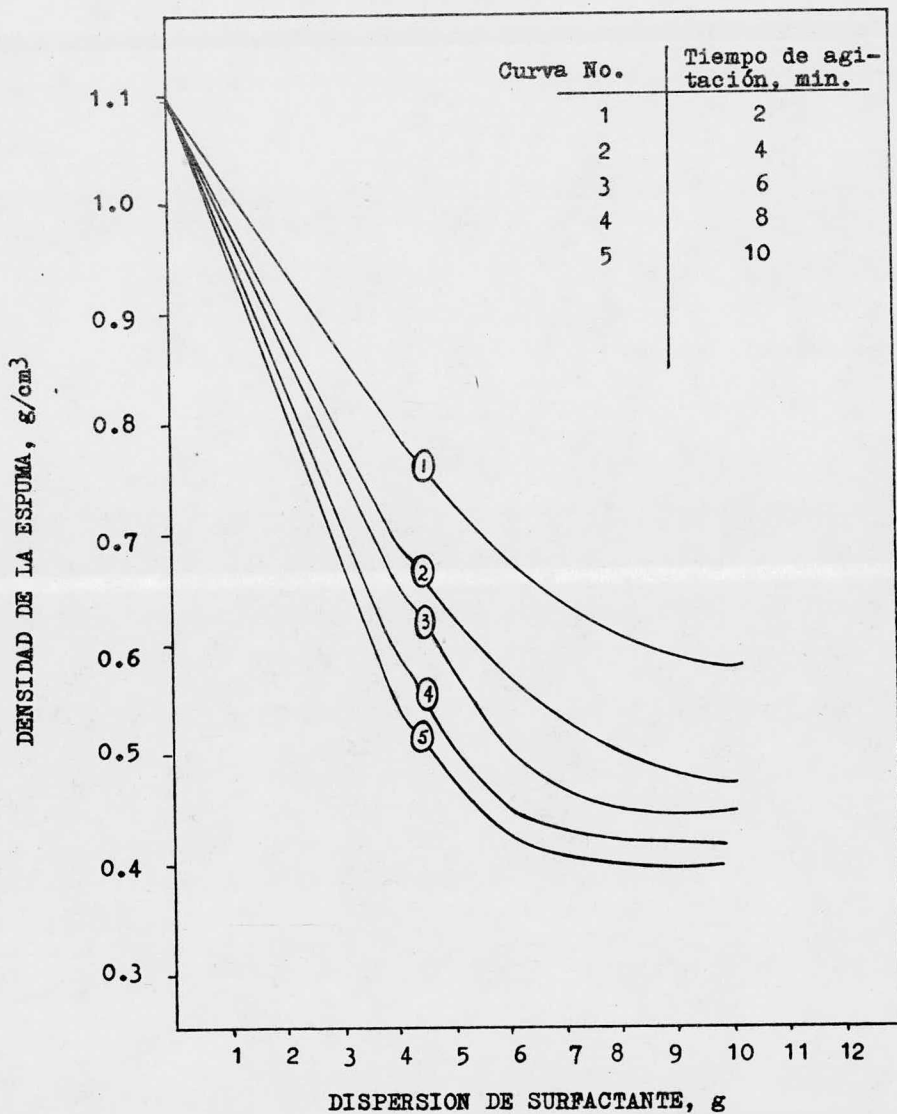


FIGURA 24. Efecto del HLB sobre la formación de espumas a un porcentaje de surfactante sobre sólidos total les igual a 1.63.

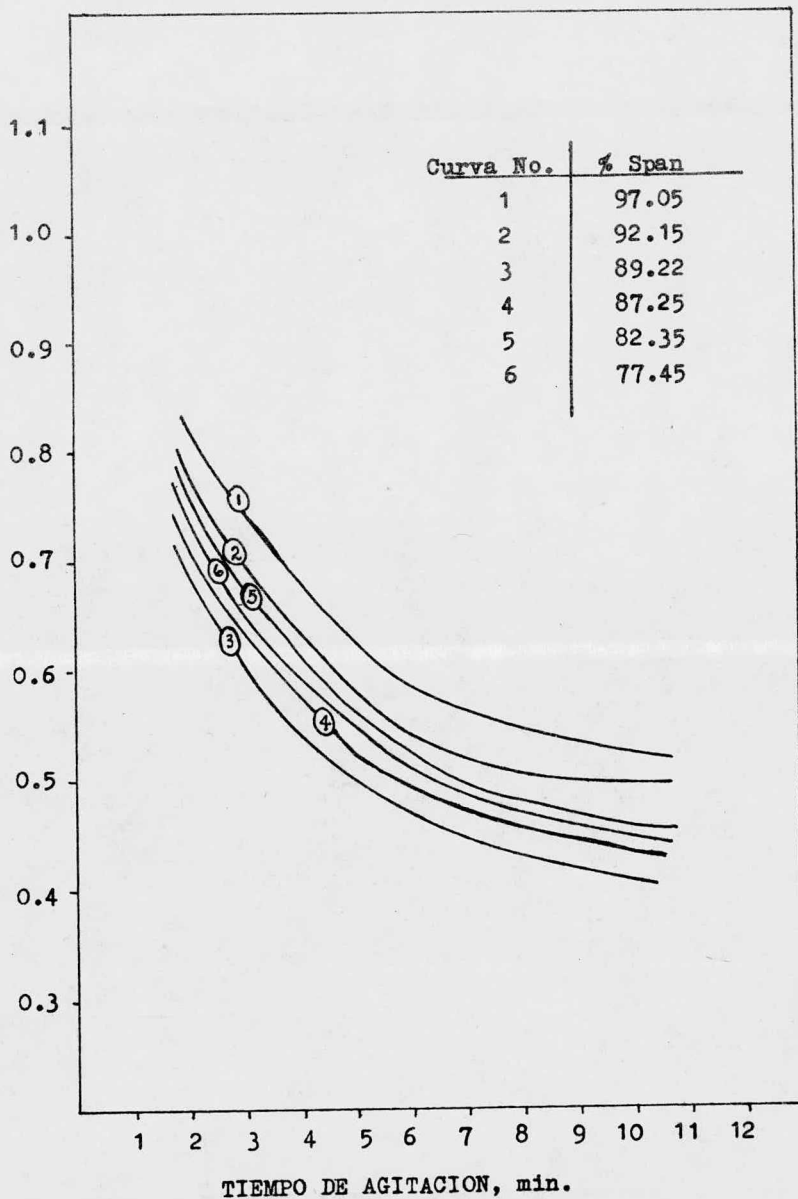


FIGURA 25. Efecto del HLB sobre la formación de espumas a un porcentaje de surfactante sobre sólidos totales igual a 2.91

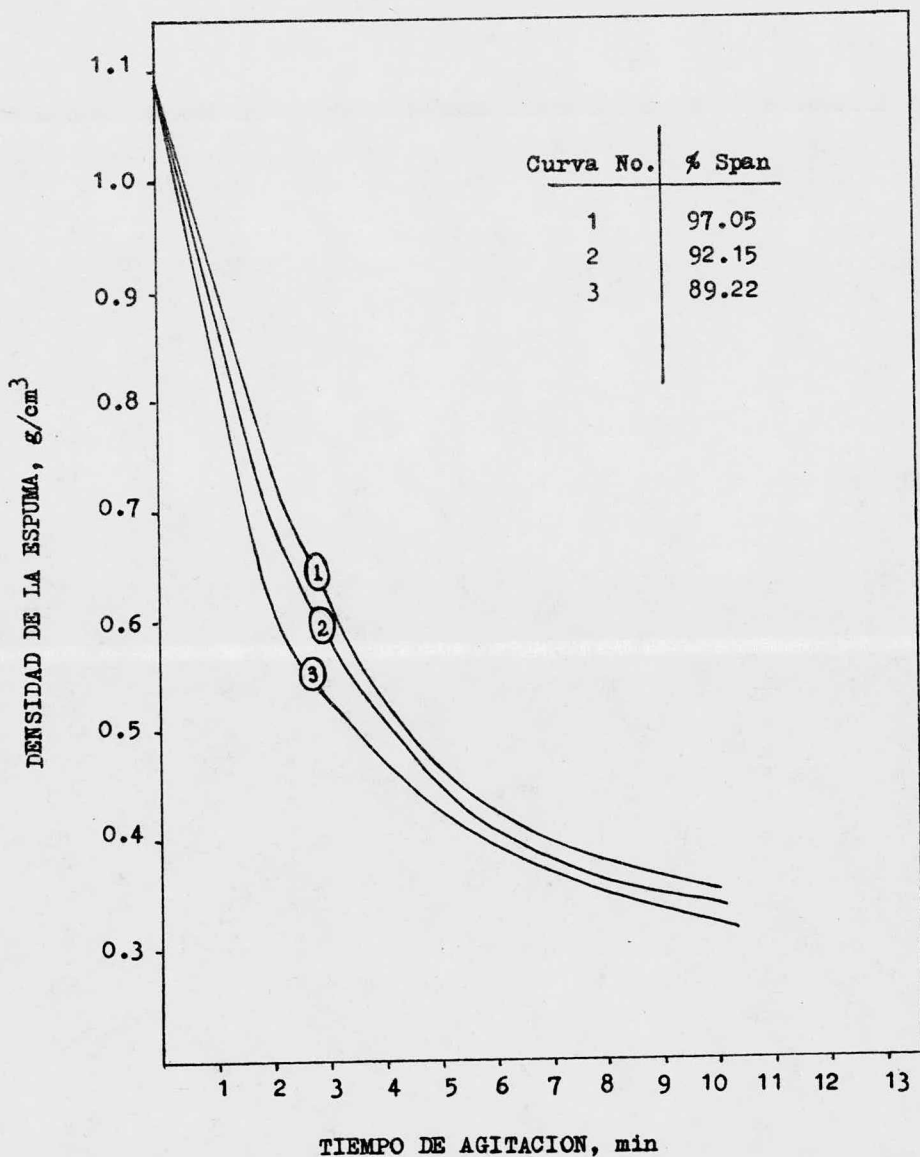


FIGURA 26. Comparación de los resultados obtenidos sobre formación de espumas a partir de diferentes concentrados de tomate en función de la temperatura.

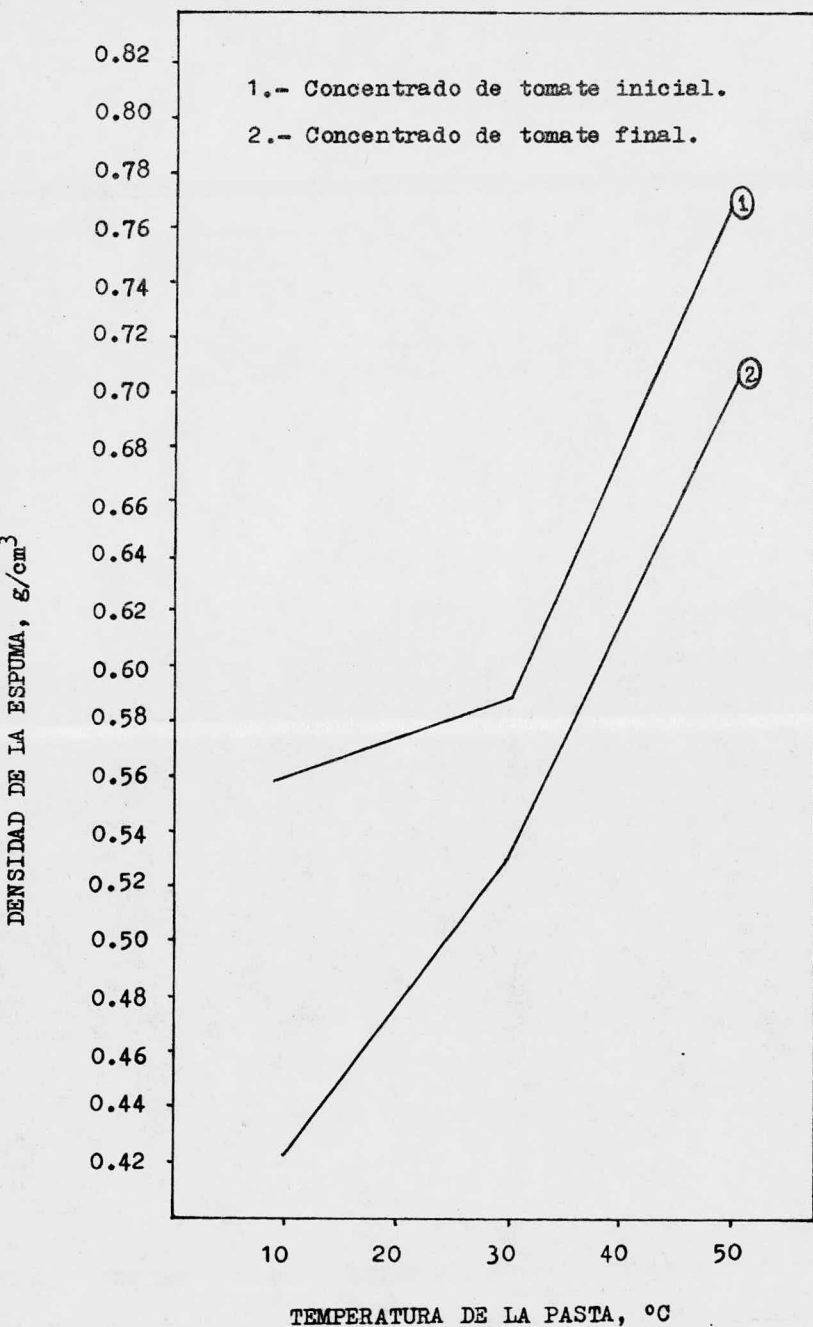


FIGURA 27. Comparación de los resultados obtenidos sobre formación de espumas a partir de diferentes concentrados de tomate, en función de la velocidad de agitación (A temperatura inicial constante de 22°C).

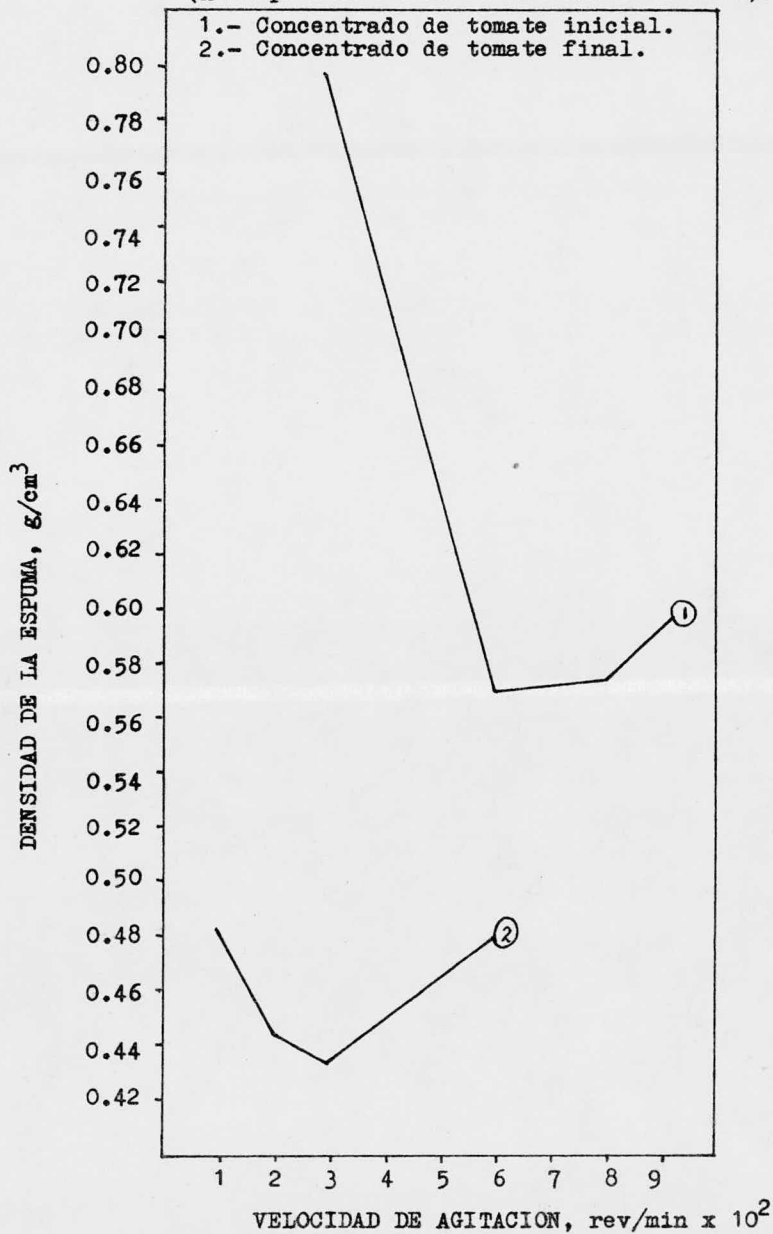


FIGURA 28. Comparación de los resultados obtenidos sobre formación espumas a partir de diferentes concentrados de tomate, en función del tiempo de agitación ($T_1 = 20^\circ\text{C}$).

DENSIDAD DE LA ESPUMA, g/cm^3

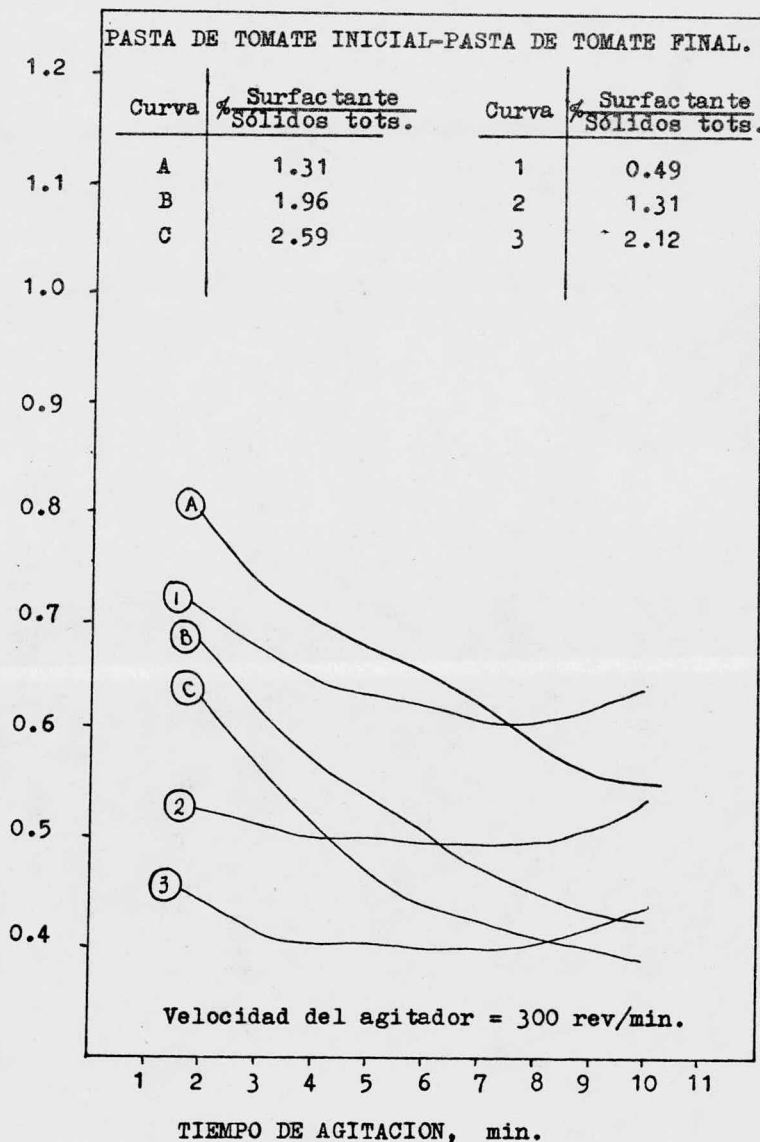


FIGURA 29. Comparación de los resultados obtenidos sobre formación de espumas a partir de diferentes concentrados de tomate, en función de la cantidad de dispersión de surfactantes.

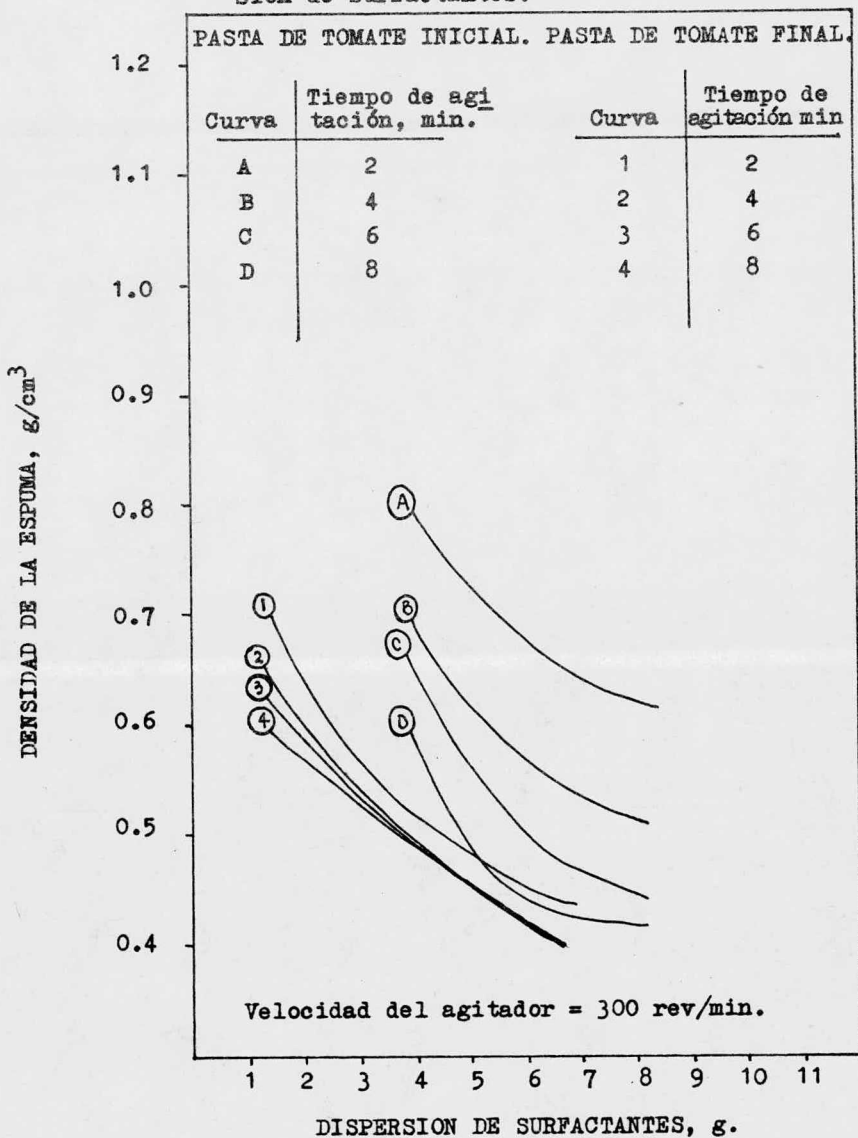


TABLA 5.2.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE SECADO A DIFERENTES TEMPERATURAS Y GASTOS DE AIRE.

| CORRIDA NO. | % GASTO AIRE | TEMPERATURA AIRE ENTRADA °C | % H ₂ O INICIAL | % H ₂ O FINAL |
|-------------|--------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | 100 | 48 | 71.3 | 33.0 |
| 2 | 100 | 34 | 71.3 | 52.7 |
| 3 | 100 | 22 | 71.3 | 65.5 |
| 4 | 50 | 57 | 71.3 | 16.2 |
| 5 | 50 | 40 | 71.3 | 45.0 |
| 6 | 50 | 22 | 71.3 | 64.1 |

TABLA 5.2.2. Resultados de la prueba experimental para determinar la capacidad del secador, con una alimentación de una charola cada 10 min.

| Tara Charola g | T. charola + espuma g | Espuma g | Tiempo de residencia min | Agua eliminada g | H % final gH ₂ O/g s.t. | % H ₂ O final gH ₂ O/g t. |
|-------------------|--------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------------------|--|
| 147.0 | 188.7 | 41.7 | 70 | 28.05 | 11.92 | 10.65 |
| 150.0 | 191.4 | 41.4 | 70 | 28.06 | 10.23 | 10.19 |
| 150.3 | 192.1 | 41.8 | 70 | 28.29 | 10.53 | 9.52 |
| 159.6 | 202.0 | 42.4 | 70 | 28.69 | 10.58 | 9.56 |
| 150.9 | 191.0 | 40.1 | 60 | 27.04 | 10.83 | 9.77 |
| 150.6 | 191.5 | 40.9 | 50 | 27.03 | 16.06 | 13.83 |
| 151.8 | 189.8 | 38.0 | 40 | 24.16 | 24.53 | 19.69 |
| 160.5 | 202.2 | 41.7 | 30 | 26.11 | 27.85 | 21.78 |
| 147.0 | 188.6 | 41.6 | 20 | 24.13 | 43.64 | 30.38 |
| 150.0 | 190.7 | 40.7 | 10 | 22.17 | 57.27 | 36.41 |

TABLA 5.2.3. Resultados de la prueba experimental para determinar la capacidad del secador, con una alimentación de una charola cada 13 min.

| Tara charola g | T. charola + espuma g | Espuma g | Tiempo de residencia min | Agua eliminada g | H % final gH ₂ O/g s.t. | % H ₂ O final gH ₂ O/g t. |
|-------------------|--------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------------------|--|
| 150.6 | 191.0 | 40.4 | 91 | 28.20 | 3.28 | 3.15 |
| 151.8 | 191.0 | 39.2 | 91 | 27.26 | 4.19 | 4.02 |
| 147.0 | 187.0 | 40.0 | 91 | 27.91 | 3.36 | 3.25 |
| 160.5 | 199.7 | 39.3 | 91 | 27.37 | 3.19 | 3.09 |
| 150.0 | 190.9 | 40.9 | 78 | 28.66 | 2.33 | 2.27 |
| 150.3 | 190.7 | 40.4 | 65 | 28.29 | 2.52 | 2.45 |
| 159.6 | 197.8 | 38.2 | 52 | 26.68 | 3.12 | 3.02 |
| 150.9 | 191.3 | 40.4 | 39 | 27.71 | 7.41 | 6.89 |
| 150.6 | 190.5 | 39.9 | 26 | 24.14 | 35.13 | 25.99 |
| 151.8 | 193.5 | 41.7 | 13 | 24.26 | 44.84 | 30.95 |

TABLA 5.2.4. Resultado de la prueba experimental para determinar la capacidad del secador, con una alimentación de una charola cada 15 min.

| Tara charola g | Charola + espuma g | Espuma g | Tiempo de residencia min | Agua eliminada g | H % final gH ₂ O/g s.t. | % H ₂ O final gH ₂ O/g t. |
|----------------------|--------------------------|-------------|--------------------------------|------------------------|--|---|
| 150.6 | 190.3 | 39.7 | 105 | 27.73 | 3.10 | 3.00 |
| 151.8 | 192.0 | 40.2 | 105 | 28.17 | 2.33 | 2.27 |
| 147.0 | 187.5 | 40.5 | 105 | 28.34 | 2.66 | 2.59 |
| 160.5 | 202.5 | 42.0 | 105 | 29.45 | 2.18 | 2.13 |
| 150.0 | 190.5 | 40.5 | 90 | 28.45 | 1.78 | 1.74 |
| 150.3 | 191.2 | 40.9 | 75 | 28.62 | 2.64 | 2.57 |
| 159.6 | 200.2 | 40.6 | 60 | 28.52 | 1.72 | 1.69 |
| 150.9 | 191.3 | 40.4 | 45 | 27.35 | 10.46 | 9.46 |
| 150.6 | 190.0 | 39.4 | 30 | 25.37 | 21.80 | 17.89 |
| 151.8 | 192.0 | 40.2 | 15 | 23.58 | 41.38 | 29.26 |

✓ RESULTADOS

En la Tabla 5.2.5. están contenidos los resultados del análisis organoléptico comparativo, entre el tomate deshidratado obtenido en este trabajo y un tomate deshidratado comercial obtenido por aspersión, para determinar la preferencia de los jueces por alguno de ellos.

Es pertinente hacer notar que, a pesar de usar una proporción igual de ambos productos deshidratados en agua (1:9 en peso) el puré obtenido a partir de pasta secada por aspersión tenía menos consistencia que las muestras de puré enlatado y de puré reconstituido con sólidos secados por espumado.

Los resultados de esta tabla se refieren al tercer grupo de muestras (III).

Tabla 5.2.5. Resultados del análisis organoléptico comparativo (Apéndice II).

| | COLOR | OLOR | SABOR | TEXTURA |
|-----------------------------------|-------|------|-------|---------|
| Tomate deshidratado por aspersión | 5 | 6 | 4 | 2 |
| Tomate deshidratado por espumado | 8 * | 7 | 9 ** | 11 *** |

(Iarmond, 1970) (40)

* Significativo al nivel del 5%

** Significativo al nivel del 1%

*** Significativo al nivel del 0.1%

En los datos de esta tabla se puede ver que, hubo una marcada preferencia por el tomate deshidratado por espumado en color, sabor y textura. El mismo análisis arrojó una marcada preferencia por el puré de tomate comercial enlatado sobre los purés preparados con los dos productos deshidratados.

Es pertinente reseñar que de los trece jueces solamente tres no pudieron determinar cuál era la muestra diferente para el caso del grupo II (puré enlatado y reconstituído con sólidos secados por espumado).

El análisis de varianza de los resultados obtenidos en la prueba "Escalar Hedónica" están contenidos en la Tabla Apéndice II.3. Estos resultados comparados con los niveles de significación F al 1 y 5% de tablas, muestran que no hubo diferencia significativa entre muestras y panelistas a ninguno de los dos niveles.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos sobre formación de espumas, partiendo de un jugo de tomate con 8 a 10% de sólidos solubles, no fueron satisfactorios, por lo que es necesario realizar la operación de concentración del tomate para obtener una pasta con 30% de sólidos solubles.

Los estudios hechos con el surfactante Kermol 345, para determinar su efectividad como espumante en la formación de espumas de concentrado de tomate al 30% de sólidos solubles, arrojaron resultados poco satisfactorios, debido principalmente, a la elevada cantidad de surfactante necesaria para obtener buena formación de espumas (6 a 8% en base seca).

Los resultados de la segunda fase experimental, en la que se determinó el efecto del tipo de agente espumante, tiempo de mezcla, relación lipofílico-hidrofílico, % de espumante/sólidos totales, velocidad de mezclado y temperatura, sobre la formación y estabilidad de espumas de concentrado de tomate al 30% de sólidos solubles, permiten suponer con cierta exactitud, las condiciones de proceso para obtener una espuma con las características buscadas.

Las características de la materia prima y en forma muy especial la consistencia, son de capital importancia para el resultado

final. Se alcanzan resultados más favorables, cuando el valor de la viscosidad de la pasta es alto.

Las características de la espuma a secar son determinantes en los resultados finales. Estas afectan las operaciones mecánicas de esparcido y formación de cráteres, la separación de los sólidos obtenidos, y en forma más compleja, la transferencia de masa y calor durante el proceso de secado.

Las limitaciones del equipo diseñado, se ven reflejadas ampliamente en la productividad obtenida. Se considera que un análisis más profundo del problema permitirá alcanzar resultados más favorables.

Los resultados de las pruebas organolépticas reflejan que la consistencia del puré reconstituido obtenido a partir de los sólidos producidos por el proceso aquí descrito se mantiene, mientras que el puré obtenido a partir de la muestra comercial de sólidos de tomate obtenidos por aspersión, tiene mucho menos consistencia que el puré enlatado y el obtenido de sólidos secos espumados.

✓ El producto obtenido no puede todavía considerarse adecuado para su consumo como jugo "fresco" ya que tiene deficiencias en olor, color y sabor debidos a que el proceso de secado no ha sido optimizado. Sin embargo, de acuerdo a los resultados de la prueba escalar hedónica si se usa en combinación con otros saborizantes,

como es el caso de los productos comerciales ("CONSUMATE" y "ENORR-TOMATE") no existe diferencia significativa entre el polvo obtenido con los productos enlatados comerciales y los ya mencionados ✓

6.2. RECOMENDACIONES.

Se recomienda determinar cuidadosamente las características iniciales de la pasta de tomate, antes de proceder a realizar - cualquier experimento. Esto se debe principalmente a los cambios en consistencia de lote a lote que obligan a modificar las condiciones de espumado (tiempo de agitación y % de surfactante/sólidos totales).

Es recomendable también analizar conjuntamente todas las variables involucradas en la manufactura de espumas ya que, una variación en el valor de alguna de ellas, puede conducir, en ciertos casos, a resultados diferentes.

Debido a la importancia de las operaciones mecánicas de esparcido y formado de los cráteres, se recomienda hacer un análisis de éstas, para proceder a diseñar y construir los aparatos con los que se puedan realizar eficientemente. Para este trabajo se diseñó un pequeño aparato de madera para esparcir la espuma en forma manual pero no era muy eficiente. No se encontró un método adecuado para formar los cráteres ya que en el laboratorio no se cuenta con aire a presión suficiente.

En la literatura se reporta un área activa en las charolas

de aproximadamente 60% pero en este trabajo se tenía un área de 87.07%. Se considera que, para experimentos posteriores sería conveniente reducir ésta hasta un valor cercano al reportado en la literatura ya que se aumentaría el área de transferencia de masa y calor.

Se considera preciso que en el secador se tengan al menos dos etapas con aire a diferentes condiciones. La razón es que, como ya se sabe, los sólidos obtenidos a partir de cualquier secador con aire caliente ("puff drying", aspersión, etc.) presentan un comportamiento plástico cuando están tibios. Por ello se recomienda que se añada un ventilador en la parte superior del secador que introduzca aire frío y de baja humedad para enfriar la espuma ya seca. Esto ayudaría a lograr una recuperación eficiente de los sólidos obtenidos.

APENDICE I

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SECADOR DE CHAROLAS CONTINUO.

Debido a que los antecedentes que se encuentran en la literatura, no permiten formar un banco de datos suficiente, que sirva de base para el cálculo matemático de un secador de charolas continuo a nivel planta piloto o laboratorio, se decidió construir un secador pequeño basado fundamentalmente en la información existente.

Revisando los antecedentes sobre el proceso, se encontró que los datos más significativos son los reportados por Ginnete y colaboradores en 1963. Ellos utilizaron la planta piloto mostrada en la Figura 11. Obtuvieron polvos secos sin olor y sabor a quemado a una velocidad de producción de 0.146 g/h cm^2 de superficie activa de charola (0.3 lb/h ft^2). Las condiciones de operación fueron las siguientes: Pasta de tomate al 30% de sólidos solubles, velocidad de alimentación 18160 g/h (40 lb/h), tiempo de residencia 15 min, temperaturas de entrada del aire 99, 77 y 54°C (210 , 170 y 130°F) en las tres etapas respectivamente. La velocidad del aire en cada una de las etapas fue: 9150, 3050 y 1525 cm/min (300 , 100 y 50 ft/min) respectivamente. El secador contenía 24 charolas de $38 \times 58 \text{ cm}$ ($15 \times 23 \text{ in}$) cada una.

Las charolas se perforaron con barrenos de 0.3175 cm ($1/8 \text{ in}$), separados 0.476 cm ($3/16 \text{ in}$) de centro a centro, lo que dió un área activa por charola de 87%.

Haciendo un análisis económico de las posibilidades que existen para construir y operar un equipo con estas características, se encontró que su costo estaba muy por encima del presupuesto asignado para estudios de este tipo, por lo que se procedió a la construcción de un equipo menos sofisticado y a la vez más pequeño.

El aparato se construyó de dimensiones tales que permitirían en un momento dado tener un control confiable sobre el proceso y al mismo tiempo se pudieran detectar cambios significativos al variar las condiciones de operación, tales como temperatura y gasto de aire.

La Figura 30 muestra el secador escala laboratorio utilizado en este estudio.

I.1. Partes eléctricas, mecánicas y accesorios del secador.

I.1.1. Partes eléctricas.

- Un moto-reductor "Bodine Electric Company" 1.3 A., 115 V. AC, HP 1/15, Torque 44, RPM 28 ratio 60/1.
- Un reóstato "Controvac" Modelo ACCQ entrada 120 V. 50-60 Hz salida 0-140 V 8A máx.
- Un motor eléctrico McMillan 127 V. 50-60 Hz.
- Dos resistencias eléctricas de 3000 watts teóricos 220 V.

I.1.2. Partes Mecánicas.

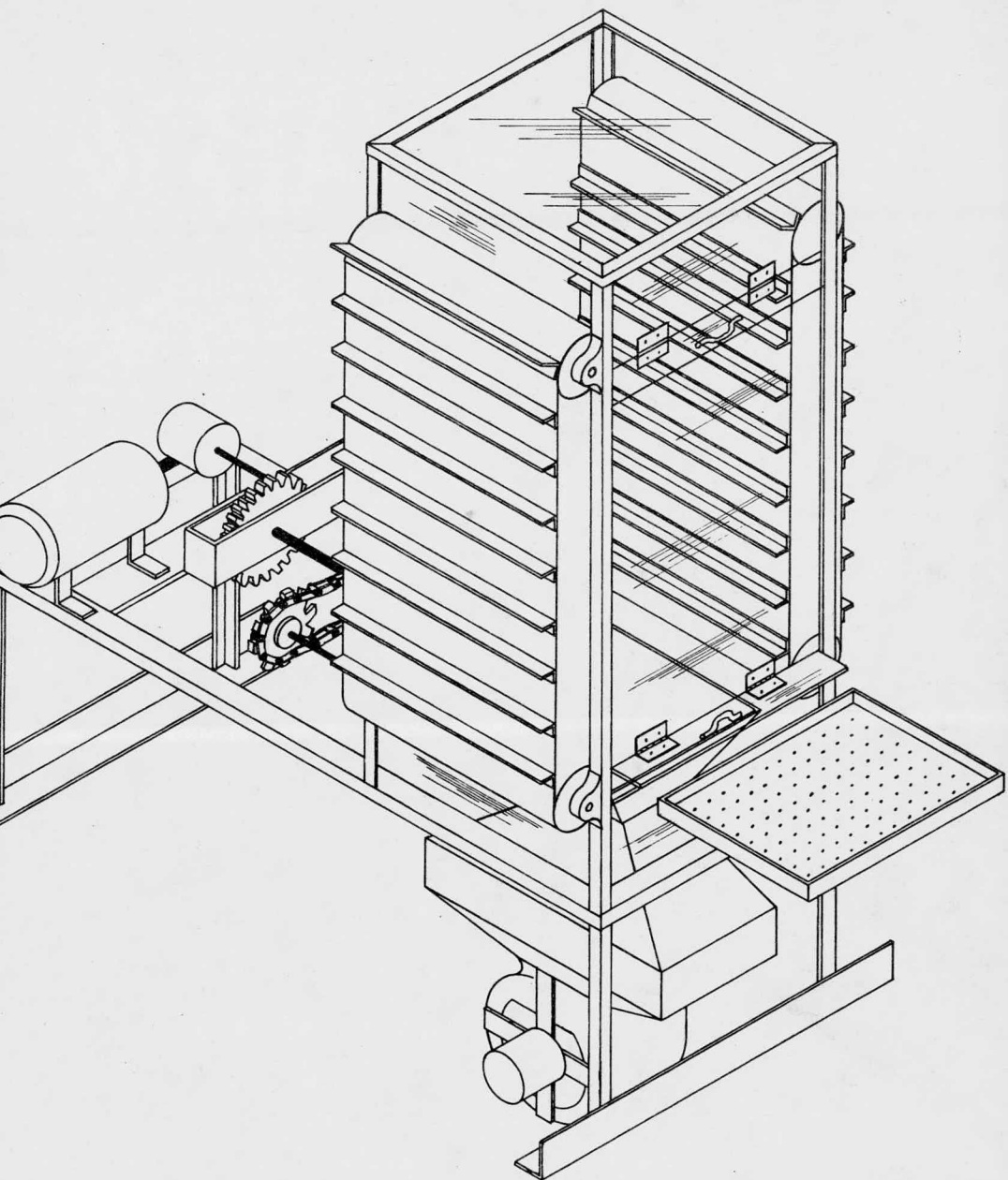


Fig. 30. Dibujo del secador de charolas continuo escala laboratorio.

- Un sistema de engranes reductores, relación 28:1.
- Un conjunto de engranes p/transmisión de movimiento a los rodillos que consta de engranes gemelos, 2 catarinas de 18 dientes y 2 cadenas de 60 cm de longitud.
- Dos rodillos transmisores de movimiento acoplados a una catarina de 18 dientes cada uno de ellos.
- Dos rodillos tensores de banda.
- Dos bandas sanitarias de 160 cm de longitud x 20.5 cm de ancho.
- 40 ángulos de 1.9 x 2.5 x 20 cm (3/4 in x 1 in x 8 in) para soporte de charolas, ensambladas a las bandas.
- 8 baleros de 2.5 cm (1 in) de diámetro interno.
- 8 chumaceras de solera de 1.25 cm (1/2 in).
- 1 estructura de ángulo de 2.5 cm (1 in).

I.1.3. Accesorios.

- Un impulsor de aire
- Una carcasa para impulsor
- Un ducto de lámina para conducción de aire.
- 8 Charolas de 20 x 20 cm, perforadas con barrenos de 0.3175 cm (1/8 in) separados 0.794 cm (5/16 in) entre centros.

centro. El área activa fue de 87.37%.

- Lámina de acrílico.

1.2. Funcionamiento del secador.

El motorreductor "BEC" se acopla al sistema de engranes reductores los cuales a su vez se unen al conjunto de engranes para la transmisión de movimiento. Las catarinas de este conjunto transmiten el movimiento a los 2 rodillos transmisores por medio de las cadenas; estos rodillos a su vez generan el movimiento de las bandas, mismas que conducirán a las charolas a través de la cámara de secado desde la parte inferior hasta la parte superior. Las bandas se tensan por medio de los rodillos tensores ubicados en la parte superior del secador.

Los baleros se ensamblan en los extremos de los rodillos para permitir el giro de los mismos.

El motor eléctrico "McMillan" se sujeta a la carcasa y se ensambla al impulsor. Este motor se conecta al reóstato "Controvac" para variar la velocidad (RPM) del impulsor y así obtener diferentes gastos de aire.

1.3. Recomendaciones.

- Revisar periódicamente la lubricación del moto-reductor "BEC" chequeando que tenga la cantidad suficiente de "grasa

amarilla" para evitar daño.

- No conectar las resistencias a la fuente de poder sin antes haber conectado el ventilador.
- Dejar funcionando el ventilador después de haber desconectado las resistencias hasta que se enfríen.

I.4. Consumos de energía eléctrica.

- Resistencias: Se encontró que el consumo de energía fue de 1320 Watts y no de 3000 Watts como está especificado.
- Moto-reductor "BEC": El consumo de energía por este equipo fue de 156 Watts.
- Motor eléctrico McMillan: Los consumos de energía eléctrica por este motor a diferentes tensiones del reóstato "Controvac" se muestran enseguida:

| % de tensión máxima | Consumo (watts). |
|---------------------|------------------|
| 50 | 35 |
| 75 | 50 |
| 100 | 75 |

- Mezcladora "Caframo" RZR1-64 (Motor E50). Los consumos de energía eléctrica en la producción de espumas a diferentes velocidades de agitación (RPM) se dan a continuación:

| Velocidad (RPM) | Consumo (watts). |
|-----------------|------------------|
| 200 | 60 |
| 400 | 60 |
| 600 | 60 |
| 800 | 60 |
| 1000 | 60 |

APENDICE II.

El análisis organoléptico comparativo por pruebas "triangulares" se hizo por medio de un panel de 13 jueces. A cada uno de éstos se les entregaba una tarjeta A, B,, M, en la que tenía que escribir la elección (con una x) por una muestra de cada uno de los tres grupos presentados. El patrón de muestras que ellos calificaron tenía el arreglo siguiente:

ACC

ECC

AAE

donde: C - Puré de tomate comercial enlatado (10% de sólidos solubles).

A - Puré de sólidos de tomate deshidratado por aspersion (10% S.S.).

E - Puré de sólidos de tomate deshidratado por espumado (10% S.S.).

Para evitar que los jueces pudieran aconsejarse, a cada uno de ellos se le entregaba un grupo de claves diferentes para identificar las muestras. Los códigos utilizados por cada juez y el resultado interpretado de sus elecciones se encuentra en la Tabla Apéndice II.1. Las características a calificar fueron color, olor, sabor, textura, apariencia general y cuál era diferente.

Tabla Apéndice II.1. Resultados de las pruebas "triangulares".

| Panelista | Tarjeta | Clave | Color | Olor | Sabor | Textura | Apariencia general | Cual es diferente. |
|-----------|---------|-------------|-------|------|-------|---------|--------------------|--------------------|
| 1 | A | I- 1,4,7 | C | C | C | C | C | + |
| | | VII- 2,8,5 | C | C | C | C | C | + |
| | | IX- 9,3,6 | E | A | A | E | E | + |
| 2 | B | X- 2,7,4 | C | C | C | C | C | + |
| | | IV- 3,8,5 | C | C | C | C | C | + |
| | | III- 6,1,9 | E | E | E | E | E | + |
| 3 | C | II- 3,6,9 | A | A | C | C | C | + |
| | | V- 1,2,5 | E | E | C | C | C | + |
| | | VIII- 4,8,7 | A | E | E | E | E | + |
| 4 | D | VI- 1,5,9 | A | A | C | C | C | + |
| | | X- 4,3,7 | C | E | C | C | C | + |
| | | XI- 6,8,2 | A | A | E | E | E | + |
| 5 | E | IV- 5,4,7 | C | A | C | C | C | + |
| | | III- 3,1,6 | C | E | C | C | C | - |
| | | X- 8,2,9 | E | E | E | E | E | + |
| 6 | F | IX- 4,9,3 | C | C | C | C | C | + |
| | | XII- 7,2,8 | C | E | C | E | C | - |
| | | I- 5,6,1 | E | A | E | E | E | - |
| 7 | G | X- 5,6,1 | C | C | C | C | C | + |
| | | IX- 7,2,8 | C | C | C | C | C | + |
| | | I- 3,9,4 | E | E | E | E | E | + |
| 8 | H | IX- 7,1,6 | C | C | C | C | C | + |
| | | II- 3,9,2 | C | C | C | C | C | + |
| | | VI- 5,4,8 | A | A | A | A | A | + |

Continuación Tabla Apéndice II.1.

| Panelista | Tarjeta | Clave | Color | Olor | Sabor | Textura | Apariencia general | Cual es diferente |
|-----------|---------|-------------|-------|------|-------|---------|--------------------|-------------------|
| 9 | I | III- 7,3,8 | C | C | C | C | C | + |
| | | VII- 1,9,2 | C | C | C | C | C | + |
| | | IX- 5,4,6 | E | E | E | E | E | + |
| 10 | J | X- 7,9,8 | C | C | C | C | C | + |
| | | II- 2,5,1 | C | C | C | C | C | + |
| | | IV- 6,3,4 | E | E | E | E | E | + |
| 11 | K | III- 3,6,2 | C | C | C | C | C | + |
| | | VI- 8,9,5 | C | C | C | C | C | + |
| | | IX- 1,7,4 | A | A | A | E | A | + |
| 12 | L | XII- 5,4,9 | C | C | C | C | C | + |
| | | III- 3,6,2 | C | C | C | C | C | - |
| | | XI- 1,8,7 | A | A | A | A | A | - |
| 13 | M | II- 9,3,5 | C | C | C | C | C | + |
| | | VIII- 4,1,6 | C | E | C | C | C | + |
| | | I- 8,2,7 | E | E | E | E | E | + |

Las pruebas "escalares hedónicas" se hicieron con cuatro muestras de sopa de pasta A, B, C y D, preparadas en la forma siguiente:

Muestra A : 40 g sopa de pasta

5 ml aceite vegetal comestible

40 g puré de tomate enlatado comercial

5 g "consomé" en polvo comercial

880 ml agua.

Muestra B : 40 g sopa de pasta

5 ml aceite vegetal comestible

6 g "Knorr tomate"

880 ml agua.

Muestra C : 40 g sopa de pasta

5 ml aceite vegetal comestible

4 g tomate deshidratado por espumado

5 g "consomé" en polvo comercial

880 ml agua.

Muestra D : 40 g sopa de pasta

5 ml aceite vegetal comestible

4 g tomate deshidratado por aspersión

5 g "consomé" en polvo comercial

880 ml agua.

Estas muestras se presentaron a los jueces, los cuales ignoraban la composición de éstas. El panel tenía 12 jueces. La esca

la de calificación que ellos utilizaron fue la siguiente:

- 9 - Gusta extremadamente
- 8 - Gusta mucho
- 7 - Gusta moderadamente
- 6 - Gusta ligeramente
- 5 - Ni gusta, ni disgusta
- 4 - Disgusta ligeramente
- 3 - Disgusta mucho
- 2 - Disgusta mucho
- 1 - Disgusta extremadamente.

El resultado de esta prueba se encuentra en la Tabla Apéndice II. 2.

Tabla Apéndice II. 2. Resultados de las pruebas "Escalares Hedónicas".

| JUEZ | A | B | C | D | SUMA Yi |
|---------|----|------|----|------|---------|
| 1 | 6 | 8 | 6 | 7 | 27 |
| 2 | 7 | 7 | 6 | 5 | 25 |
| 3 | 7 | 8 | 6 | 7 | 28 |
| 4 | 6 | 8 | 5 | 7 | 26 |
| 5 | 7 | 6 | 8 | 7 | 28 |
| 6 | 8 | 7 | 6 | 7 | 27 |
| 7 | 8 | 6 | 5 | 3 | 22 |
| 8 | 6 | 5 | 7 | 4 | 22 |
| 9 | 6 | 6 | 6 | 7 | 25 |
| 10 | 7 | 6 | 4 | 4 | 21 |
| 11 | 9 | 7 | 6 | 5 | 27 |
| 12 | 7 | 8 | 7 | 8 | 30 |
| SUMA Yj | 84 | 82 | 72 | 71 | 309 |
| Media | 7 | 6.83 | 6 | 5.91 | 25.74 |

El análisis de varianza de estos resultados se encuentra sumariado en la Tabla Apéndice II. 3.

Tabla Apéndice II.3. Resultados del análisis de varianza de las pruebas "Escalares Hedónicas".

| Fuente de Variación | df | SS | MS | F |
|---|--------|--------|------|-------|
| (Entre grupos) Muestras (ν_1) | (4-1) | 11.23 | 3.74 | 0.498 |
| (Dentro de los Panelistas (ν_2) grupos) | (12-1) | 22.07 | 2.00 | 0.267 |
| Error (ν_2) | 33 | 247.84 | 7.51 | |
| Total | 47 | 281.14 | | |

df = grados de libertad ("degrees of freedom").

SS = suma de cuadrados ("sum of squares") = $\sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{k_n}$

SM = promedio de cuadrados ("Squares mean") = $\sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \frac{1}{n} \sum_i Y_i^2$

F = radio de variación (distribución - F) = $\frac{\nu_1}{\nu_2}$

De la Tabla IX del Apéndice del libro de Huntsberger (41), se obtuvieron los datos siguientes:

| Muestra | Panelistas |
|------------|------------|
| F5% = 2.92 | F5% = 2.16 |
| F1% = 4.51 | F1% = 2.98 |

Por lo que puede decirse que los valores del factor de distribución F, tanto para las muestras como para los panelistas, no llegan al valor de la Tabla IX por lo que puede concluirse que las medias no son diferentes significativamente.

BIBLIOGRAFIA.

1. Estadísticas Anuales. Dirección General de Economía Agrícola, SARH. (1975-1976).
2. Enciclopedia de Ciencia y Tecnología. 1973. Vol. XIV. p. 39. Salvat Editores de México, S.A. México.
3. Ferry Morse Seed Company Inc. 1975. Descripción de variedades de Hortalizas. p. 23. Mountain View, California.
4. Toowey, F.W. 1970. Productos comerciales de jitomate. p. 83. Edit. Sintet, S.A. Barcelona.
5. Hernández, M., Chávez, A. y Bourges, H. 1977. Valor nutritivo de los Alimentos Mexicanos. Tablas de uso práctico. Instituto Nacional de Nutrición, México.
6. Van Arsdel, W.B. 1973. Drying Phenomena. En "Food Dehydration", Vol. 1, p. 22. Van Arsdel, W.B., Copley, M.J. and Morgan, A.I. Editors. The AVI Publishing Co. Inc. Westport, Ct.
7. Ponting, J.D., Stanley, W.L. and Copley, M.J. 1963. Fruit and vegetables juices. En "Food Dehydration", Vol. II, p. 508. Van Arsdel, W.B. and Copley, M.J. Editors. The AVI Publishing Co. Inc. Westport, Ct.
8. Kaufman, V.F., Wong, F.F. and Taylor, W.F. 1955. Problems in the production of tomato juice powder by vacuum. Food Technol. 9, 120.
9. Lazar, M.E., Brown, A.H., Smith, G.S., Wong, F.F. and Lindquist, F.E. 1956. Experimental production of tomato powder by spray drying. Food Technol. 10, 129.

10. Lang, F. 1964. No-heat drying plant in Switzerland. Food Manufacture, 39 (35), 35. Citada en La Belle, R.L. 1966. Characterization of foams for Foam-Mat Drying. Food Technol. 20 (8), 89.
11. Hamed, M.G.E. y Foda, F.H. 1966. Ueber die Herstellung, Verpackung und Lagerung gefriergetrock tomaten pulver. Zeitschrift fur Lebensmittel Untersuchung und Forschung. 130, 388. Citada en La Belle, R.L. 1966. Characterization of foams for - Foam-Mat Drying. Food Technol. 20 (8), 89.
12. Ginnette, L.F., Graham, R.P., Miers, S.C. y Morgan, A.I. Jr. 1963. Tomato powder by Foam-Mat Drying. Food Technol. 17, 811.
13. Lazar, M.E. y Miers, J.C. 1971. Improved Drum-dried tomato flakes. Food Technol. 25, 830.
14. Strashun, S.I. y Talburt, W.F. 1953. Puffed powder from juice. Food. Eng. 25 (3), 59.
15. Hanrahan, F.P. y Webb, B.H. 1961. USDA develops foam-spray drying. Food Eng. 33 (8), 37.
16. Morgan, A.I., Jr., Ginnette, L.F., Randall, J.M. y Graham, R.P. 1959. Technique for improving instants. Food Eng. 39 (9) 86.
17. Morgan, A.I., Graham, R.P., Ginnette, L.F. y Williams, G.S. 1961. Recent developments in foam-mat drying. Food Technol. 15, 37.
18. Morgan, A.I. Jr., Rockwell, W.C. Lovie, E., Graham, R.P. y Ginnette, L.F. 1962. How foam-mat dryer is made. Food.Eng. 34 (8), 86.
19. Berry, R.E., Bissett, O.W., Wagner, C.J. Jr. y Veldhuis, M.K. 1965. Foam-mat dried grape fruit powders. Food Technol. 19 (3) 126.

20. Berry, R.E., Bissett, O.W., Wagner, C.J. Jr. y Veldhuis, M.K. 1967. Conditions for producing foam-mat dried grapefruit crystals. Food Technol. 21 (3), 293.
21. Earle, R.L. 1974. Desecación. En "Ingeniería de los Alimentos", p. 139. Edit. Pueblo y Educación, La Habana.
22. Foust, A.S., Wenzel, L.A., Clump, C.W. Maus, L. Andersen, L.B. 1960. Simultaneous Heat and Mass Transfer II: Drying. In "Principles of Unit Operations", p. 320. John Wiley and Sons, Inc. New York.
23. Martens, Ch.R., 1964. Surfactants. In "Emulsion and water-soluble paints and coatings". p. 43. Reinhold, New York.
24. Mattew, J. 1974. Food Emulsions. In "Emulsions and emulsion Technology". Lissant, Kenneth J. editors. M. Dekker, New York.
25. Kirk, D.F., Othmer...Tr., Carrera, O.G. 1961. Enciclopedia de Tecnología Química. p. 63. Rev. J. Colón Manrique. UTEHA, México.
26. Bickerman, J.J. 1965. Foams and emulsions. Industrial and Engineering Chemistry. 57 (1), 56.
27. Martin, N.A. Swarbrick, J. Cammarata, A. 1969. Physical Pharmacy. p. 518. Lea and Febiger. Philadelphia.
28. Bissett, O.W., Tatum, J.H., Wagner, C.J. Jr., Veldhius, M.K., Graham, R.P. and Morgan, A.I. Jr. 1963. Foam-mat dried orange juice. Food Technol. 17, 210.
29. Hart, M.R., Graham, R.P., Ginnette, L.F. and Morgan, A.I. Jr. 1963. Foams for foam-mat drying. Food Technol. 17, 1302.
30. La Belle, R.L. 1966. Characterization of foams for Foam-mat Drying. Food Technol. 20 (8), 89.

31. Salas, F. and Labuza, T.F. 1968. Surface Active Agents Effects on drying Characteristics of Model Food Systems. Food Technol. 22, 1576.
32. Lawler, Frank K. 1962. Foam-Mat Drying Goes to Work. Food Eng. 34 (2), 68.
33. Roberts, J.D., Stewart, R. y Caserio, M.C. 1974. Química Orgánica, p. 3. Fondo Educativo Interamericano, S.A., México.
34. Wagner, J.R. and Miers, J.C. 1967. Consistency of tomato products. I. The effects of tomato enzyme inhibition by additives. Food Technol. 21, 920.
35. Wagner, J.R., Miers, J.C., Sanshuck, D.W. and Becker, R. 1968a. Consistency of tomato products. 4. Improvement of the acidified hot break process. Food Technol. 22, 1484.
36. Wagner, J.R., Miers, J.C., Sanshuck, D.W. and Becker, R. 1969. Consistency of tomato products. Differentiation of extractive and enzyme inhibitory aspects of the acidified hot break process. Food Technol. 23 (2), 113.
37. Becker, R., Wagner, J.R., Miers, J.C., Sanshuck, D.W. and Dietrich, W.C. 1968. Consistency of tomato products. 3. Effects of pH adjustment during tomato juice preparation on pectin contents and characteristics. Food Technol. 22, 503.
38. Miers, J.C., Wagner, J.R. and Sanshuck, D.W. 1967. Consistency of tomato products. II. Effect of pH during extraction on tomato juice consistency. Food Technol. 21, 923.
39. Villalobos-Cruz M. 1973. Conceptos básicos sobre análisis sensorial. Su aplicación en la evaluación de la calidad de tres variedades de cítricos cultivados en Colombia. Tenol. Alim. 1, 16-28.

40. Larmond, E. 1970. Methods for sensory evaluation of foods.
Food Research Institute, Central Experimental Farm. Pub. 1284
Dept. of Agric. Ottawa, Canada.
41. Huntsberger, D.V. 1969. "Elements of statistical inference"
Capítulo 12, pp. 285-338. Allyn and Bacon, Inc. Boston, MA.

INDICE DE TABLAS

| | PAG. |
|---|------|
| 2.2.1. Variedades. Tomate-Lycopersicum Esculentum..... | 8 |
| 2.3.1. Variación en la composición durante la maduración..... | 12 |
| 2.3.2. Valor nutritivo del tomate natural, jugo, puré y salsa..... | 13 |
| 3.3.2.1. Sistemas dispersos..... | 35 |
| 4.1.1. Correlación de variables durante el secado de espumas..... | 54 |
| 4.1.2. Condiciones para la producción de espumas..... | 59 |
| 4.2.3.2.1. Condiciones de gasto y temperatura del aire, para las pruebas intermitentes..... | 76 |
| 5.1.1. Resultados de las pruebas para evaluar el efecto de la temperatura sobre la formación de espumas..... | 87 |
| 5.1.2. Resultados de las pruebas para evaluar el efecto de la velocidad de agitación sobre la formación de espumas..... | 88 |
| 5.1.3. Resultados de las pruebas para evaluar el efecto del tiempo de agitación y concentración de surfactante sobre la formación de espumas..... | 89 |
| 5.1.4. Resultados de las pruebas para evaluar el efecto del HLB sobre la formación de espumas..... | 90 |
| 5.1.5. Resultados de las pruebas para evaluar el efecto del HLB sobre la formación de espumas..... | 91 |

| | PAG. |
|--|------|
| 5.2.1. Resultados de las pruebas de secado a diferentes temperaturas y gastos de aire..... | 103 |
| 5.2.2. Resultados de la prueba experimental para determinar la capacidad del secador, con una alimentación de una charola cada 10 min..... | 104 |
| 5.2.3. Resultados de la prueba experimental para determinar la capacidad del secador, con una alimentación de una charola cada 13 min..... | 105 |
| 5.2.4. Resultados de la prueba experimental para determinar la capacidad del secador, con una alimentación de una charola cada 15 min..... | 106 |
| 5.2.5. Resultados del análisis organoléptico comparativo..... | 107 |
| A. II. 1. Resultados de las pruebas triangulares..... | 121 |
| A. II. 2. Resultados de las pruebas "Escalares Hedónicas"..... | 124 |
| A. II. 3. Resultados del análisis de varianza de las pruebas "Escalares Hedónicas"..... | 125 |

INDICE DE FIGURAS

| | PAG. |
|--|------|
| 1. Operaciones principales en la producción de alimentos deshidratados..... | 16 |
| 2. Posición del surfactante en la interfase de una emulsión..... | 34 |
| 3. Emulsión aceite en agua, O/W..... | 34 |
| 4. Emulsión agua en aceite, W/O..... | 34 |
| 5. Dos burbujas de aire de diferente tamaño separadas por una película de líquido..... | 40 |
| 6. Adelgazamiento de la película..... | 42 |
| 7. Clasificación de los surfactantes en función de su HLB..... | 45 |
| 8. Diagrama de bloques del proceso utilizado por Morgan y colaboradores (1959)..... | 47 |
| 9. Detalle de la técnica de formado de cráteres..... | 49 |
| 10. Esquema del secador con la técnica de formación de cráteres..... | 50 |
| 11. Diagrama de flujo de la planta piloto utilizada por Morgan y colaboradores..... | 52 |
| 12. Vista lateral del secador de espumas de banda..... | 55 |
| 13. Vista de un extremo de un secador de espumas que muestra la circulación de aire caliente sobre la banda... | 56 |
| 14. Perfiles de temperatura para el aire y el producto en el secador continuo..... | 58 |
| 15. Resultado de las pruebas intermitentes..... | 60 |

| | PAG. |
|--|------|
| 16. Efecto del Tween 20 sobre la velocidad de deshidratación de un sistema celulosa-lípido..... | 63 |
| 17. Diagrama de bloques de la dispersión de surfactantes Span 60 - Tween 60..... | 67 |
| 18. Diagrama de bloques de la dispersión del surfactante Kermol 34S..... | 68 |
| 19. Efecto del tiempo de agitación sobre la formación de espumas a partir de jugo de tomate..... | 92 |
| 20. Efecto de la temperatura sobre la formación de espumas, a partir de un concentrado de tomate al 30% de sólidos solubles..... | 93 |
| 21. Efecto de la velocidad de agitación sobre la formación de espumas a partir de un concentrado de tomate al 30% de sólidos solubles..... | 94 |
| 22. Efecto del tiempo de agitación sobre la formación de espumas a diferentes concentraciones de surfactante.. | 95 |
| 23. Efecto de la concentración del surfactante sobre la formación de espumas a diferentes tiempos de agitación..... | 96 |
| 24. Efecto del HLB sobre la formación de espumas a un porcentaje de surfactante sobre sólidos totales igual a 1.63..... | 97 |
| 25. Efecto del HLB sobre la formación de espumas a un porcentaje de surfactante sobre sólidos totales igual a 2.91..... | 98 |

| | |
|---|-----|
| 26. Comparación de los resultados obtenidos sobre formación de espumas a partir de diferentes concentrados de tomate en función a la temperatura..... | 99 |
| 27. Comparación de los resultados obtenidos sobre formación de espumas a partir de diferentes concentrados de tomate, en función de la velocidad de agitación ($T_i = 20^{\circ}\text{C}$)..... | 100 |
| 28. Comparación de los resultados obtenidos sobre formación de espumas a partir de diferentes concentrados de tomate, en función de la cantidad del tiempo de agitación ($T_i = 20^{\circ}\text{C}$)..... | 101 |
| 29. Comparación de los resultados obtenidos sobre formación de espumas a partir de diferentes concentrados de tomate, en función de la cantidad de dispersión de surfactantes..... | 102 |
| 30. Dibujo del secador de charolas continuo escala laboratorio..... | 115 |