



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

AGENTES ENCAPSULANTES Y TECNICAS  
DE ENCAPSULACION EN LA INDUSTRIA  
ALIMENTARIA.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

P R E S E N T A :

**MARTIN BRISEÑO CORTES**

A S E S O R E S :

DR. FERNANDO MARTINEZ BUSTOS  
M. EN C. CAROLINA MORENO RAMOS

m346329



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.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Agentes Encapsulantes y Técnicas de Encapsulación  
en la Industria Alimentaria.

que presenta el pasante: Martín Briseño Cortés  
con número de cuenta: 099551746 para obtener el título de :  
Ingeniero en Alimentos.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 3 de Noviembre de 2004

PRESIDENTE

Dr. José Luis Arjona Román

VOCAL

MD. Carolina Moreno Ramos

SECRETARIO

IA. María Guadalupe López Franco

PRIMER SUPLENTE

IA. Miriam Edith Puentes Romero

SEGUNDO SUPLENTE

MD. Enrique Martínez Manriquez

## **AGRADECIMIENTOS.**

### **A MIS PADRES.**

Comenta Cicerón: Que los hombres se asemejan a los dioses cuando hacen el bien a la humanidad.

Gracias Mamá y Papá por comportarse como dioses.

### **A MIS HERMANOS.**

Largo es el camino de la enseñanza por medio de las teorías, breve y eficaz por medio de ejemplos.

Gracias hermanos por darme sus ejemplos, especialmente.

Adriana, Isabel, José, Marce...

### **A MIS AMIGOS.**

El que tiene un amigo verdadero puede decir que posee dos almas.

Gracias a ustedes por su amistad.

Benito, Carlos, Diana, Ernesto, Hiram, Humberto, Javier, Karina, Luís Miguel, Lulú, Maricela, Mercedes, Mónica, Ricardo, Rosario, Sandra, Yarery.

## **A MI UNIVERSIDAD.**

Un libro abierto es un cerebro que habla; cerrado es un amigo que espera.

Gracias **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**, por haberme  
abierto los libros.

## **A MIS MAESTROS.**

Einstein dice: Que la mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia son  
esencialmente sencillas y por regla general, pueden ser expresadas en un  
lenguaje comprensible para todos.

Gracias a ustedes por su apoyo y haberme enseñado las ideas fundamentales de  
la ciencia.

Mc. Carolina Moreno Ramos.

Dr. Fernando Martínez Bustos.

Dr. José L Arjona Román.

IA. Ma. Guadalupe López Franco.

IA. Miriam Edith Fuentes Romero.

Mc. Enrique Martínez Manríquez.

## ÍNDICE.

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.</b>	i
<b>ÍNDICE DE CUADROS.</b>	i
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	1
<b>OBJETIVOS.</b>	3
<b>CAPITULO I. GENARALIDADES DE LOS AGENTES ENCAPSULANTES.</b>	4
1.1 Agentes encapsulantes.	4
1.1.1 Origen de los agentes encapsulantes.	4
1.2 Materiales de encapsulación.	5
1.3 Características de los agentes encapsulantes.	6
1.4 Tipos de agentes encapsulantes en la industria alimentaria.	7
1.4.1 Goma arábica.	7
1.4.2 Goma mezquite.	8
1.4.3 Almidones modificados.	9
<b>CAPITULO II. ANTECEDENTES Y ELEMENTOS DE LA ENCAPSULACIÓN.</b>	13
2.1 Antecedentes.	13
2.2 Elementos esenciales de los sistemas encapsulados.	15
2.2.1 Material central.	15
2.2.2 Tamaño.	15
2.2.3 Pared.	16
2.2.4 Postramiento de la cápsula.	17
2.2.5 Liberación y reacción.	18
2.2.6 Almacenamiento.	18

<b>CAPITULO III. CARACTERIZACIÓN DE LAS CAPSULAS.</b>	19
3.1 Caracterización que se les realiza a las capsulas.	19
3.1.1 Características morfológicas, tamaño y estructura interna.	19
3.1.2 Rendimiento de producción.	20
3.1.3 Eficacia de encapsulación y contenido en principio activo.	20
3.1.4 Estudio de liberación del principio activo.	21
3.2 Ingredientes encapsulados utilizados en alimentos.	22
<b>CAPITULO IV. PROCESOS DE ENCAPSULACIÓN.</b>	23
4.1 Lecho fluidizado.	23
4.2 Liposomas.	24
4.3 Inclusión de complejos o encapsulación molecular.	25
4.4 Coaservación.	26
4.5 Polimerización interfacial.	26
4.6 Gelación iónica.	27
4.7 Incompatibilidad polimérica.	27
<b>CAPTITULO V. PROCESO DE EXTRUSIÓN.</b>	29
5.1 Operación unitaria.	29
5.2 Descripción del proceso de extrusión.	30
5.2.1 Zona de alimentación.	31
5.2.2 Zona de mezclado.	31
5.2.3 Zona de cocimiento final.	32
5.3 Corte y mezcla.	32
5.4 Energía.	33
5.5 Fuentes externas de energía.	34
5.5.1 Conducción.	35
5.5.2 Convección.	35
5.6 Componentes importantes del extrusor.	35
5.6.1 Dado.	35
5.6.2 Componentes complementarias.	36

5.7 Tipo de extrusores.	38
5.7.1 Extrusores de tornillo doble de rotación opuesta.	38
5.7.2 Extrusores de un solo tornillo.	39
5.7.3 Extrusores con tornillos dobles co-rotadores.	40
5.8 Transferencia de calor en los extrusores.	41
5.8.1 Cocción.	42
5.9 Variables en un proceso típico de cocimiento por extrusión.	44
5.10 Encapsulación por extrusión.	47
5.11 Aplicaciones de la extrusión.	48
5.11.1 Pan tostado sueco.	49
5.11.2 Hojuelas de maíz.	49
5.11.3 Productos de pastelería.	49
5.11.4 Efecto sobre los alimentos.	49
<b>CAPITULO VI. SECADO POR ASPERSIÓN.</b>	<b>51</b>
6.1 Descripción del Secado por aspersión.	51
6.2 Partes básicas de un secador por aspersión.	51
6.3 Temperatura del aire de entrada y su control.	56
6.4 Caudal del aire.	56
6.5 Ventajas y desventajas del secado por aspersión.	58
6.5.1 Ventajas.	58
6.5.2 Desventajas.	59
6.6 Características de los productos obtenidos.	60
6.7 Encapsulación por secado por aspersión.	60
6.8 Aplicaciones del secado.	63
<b>DISCUSIONES.</b>	<b>65</b>
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>69</b>
<b>REFERENCIAS CONSULTADA.</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Unidad de encapsulación por lecho fluidizado y conservación.	24
Figura 2. Diagrama general del proceso de extrusión.	30
Figura 3. Corte transversal de un extrusor.	32
Figura 4. Efecto de cizalla en el proceso de extrusión.	33
Figura 5. Diferentes tipos de inyección de energía en el proceso de extrusión.	34
Figura 6. Partes complementarias de un extrusor.	36
Figura 7. Diagrama general de la extrusión en una planta alimenticia.	37
Figura 8. Extrusor de doble tornillo.	39
Figura 9. Dirección de flujo en un extrusor de un solo tornillo.	40
Figura 10. Influencia de la temperatura, sobre un producto en el proceso de extrusión.	42
Figura 11. Mecanismos de transferencia de calor en el proceso de extrusión.	43
Figura 12. Relación temperatura, humedad, tiempo en el proceso de extrusión.	44
Figura 13. Diagrama de un secador por aspersion.	52
Figura 14. Diagrama de un secador por aspersion tipo I.	53
Figura 15. Diagrama de un secador por aspersion tipo II.	54

## ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Almidones modificados empleados para encapsular.	10
Cuadro 2. Características y beneficios de los almidones modificados.	11
Cuadro 3. Variables de operación en cinco tipos de extrusores.	46
Cuadro 4. Variables y factores que intervienen en el secado por aspersion.	57

## INTRODUCCIÓN.

Los constantes cambios tecnológicos en el mundo nos proporcionan diferentes perspectivas de los fenómenos físicos y químicos, los cuales son de vital importancia adecuar a la vida diaria del ser humano, dichos descubrimientos deben ser aplicados en las diferentes ramas industriales para desarrollar productos de calidad.

El término de encapsulación incluye microcápsulas, micropartículas, nanocápsulas y sustancias activas atrapadas; aunque la terminología específica depende de la industria de aplicación, la encapsulación puede ser considerada como el empacamiento en la que un material puede ser cubierto de manera individual (el material que es cubierto se refiere como fase interna y el material que recubre es llamado pared y generalmente no reacciona con el material a encapsular), para su protección con el medio ambiente y sus influencias, la encapsulación provee un medio de envasar, separar y almacenar materiales en escala microscópica para ser liberadas posteriormente en condiciones controladas, el desarrollo que han presentado los almidones y gomas naturales, nos llevan a la aplicación en diferentes procesos, como vehículos para el desarrollo de aditivos encapsulados mediante los procesos de secado por aspersión y la extrusión.

En la actualidad se ha diversificado la gama de sabores, olores y esencias en la industria alimentaria, por esta razón cabe mencionar la importancia de los sistemas de encapsulación mediante extrusión y secado por aspersión para el incremento en la accesibilidad del manejo y conservación de los sabores, olores y esencias (aditivos), debido a que los sistemas encapsulados tienen ventajas como: reducir la complicación del manejo al momento de incorporarlos al alimento durante su procesamiento, así como el almacenamiento debido a su tamaño microscópico, además de obtener el diseño de un aditivo por medio de la utilización de los agentes encapsulantes como los almidones modificados.

La importancia del conocimiento de los procesos de encapsulación de secado por aspersión, extrusión y agentes encapsulantes tienen como objetivo en el presente trabajo, proporcionar una mayor información técnica para la aplicación en la industria alimentaria ya que actualmente solo se encuentran en olores, sabores y esencias y es necesario plantear su posible aplicación en los diferentes grupos alimenticios. Así mismo la importancia económica que este tipo de productos pudiese alcanzar es considerable debido a que los consumidores cada vez necesitan productos prácticos, de calidad, económicos, es así que la ingeniería en alimentos tendrá que desarrollar nuevos productos tomando en cuenta la existencia de los procesos de encapsulación sin olvidar los costos productivos.

## **OBJETIVOS.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Hacer una revisión bibliográfica de los agentes encapsulantes y los dos principales procesos de encapsulación (secado por aspersion y extrusión) para su aplicación en la industria alimentaria.

### **OBJETIVOS PARTICULARES.**

Revisar los agentes encapsulantes utilizados actualmente mediante artículos científicos para su aplicación en la industria alimentaria.

Revisar los dos procesos de encapsulación de secado por aspersion y extrusión mediante una revisión bibliográfica para su aplicación en la industria alimentaria.

## CAPITULO I.

### GENERALIDADES DE LOS AGENTES ENCAPSULANTES.

#### 1.1 Agentes encapsulantes.

Sustancias que se encargan de resguardar al agente encapsulado o compuesto activo, se encuentra formado por paredes diseñadas para la protección del material interno, así como de los factores que pueden causar su deterioro y ser capaz de liberar el encapsulado bajo condiciones específicas (Anaya, 1995; Soto, 1995).

##### 1.1.1 Origen de los agentes encapsulantes.

El origen de los agentes encapsulantes proviene de cualquiera de los principales grupos de macromoléculas: lípidos, carbohidratos, proteínas y en algunos casos la mezcla de proteína y carbohidratos, es de vital importancia para que las películas producidas por el agente encapsulante no sean de fácil fragmentación.

La importancia de usar mezclas de biopolímeros como agentes encapsulantes para el sabor a camarón, fueron encapsulados como materiales de pared con una proporción de 1:2 y 1:3, de la goma arábica, mezquita y maltodextrina, con valores de pH de 4 y 8, mostraron la posibilidad de hacer mezclas para aumentar la diversidad de los encapsulantes, la goma arábica (Acacia senegal) (GA) "Goma roseada" de coloides naturales, goma mezquita y maltodextrina con una dextrosa equivalente, ambos biopolímeros fueron combinados obteniéndose resultados de estabilidad en la encapsulación en todos los casos, determinando que las gomas naturales por ser formadoras de pared proporcionan estabilidad en el almacenamiento de las capsulas (Pedroza y col, 1999).

## 1.2 Materiales de encapsulación.

Los materiales de encapsulación que han dado resultados favorables en factores como el almacenamiento, estabilidad y formadores de película son:

- Los aceites hidrogenados como el aceite de palma, algodón y soya, son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las partículas individuales, proporcionando una encapsulación uniforme.
- El uso de goma arábica como matriz encapsulante es común debido a sus características de viscosidad, solubilidad y emulsificación (Santillan, 1990).
- Los almidones de papa, maíz, trigo, arroz y maltodextrinas principalmente, incluyen sabor tenue, es posible su uso a altas concentraciones de sólidos y mejoran la vida de almacenamiento de aceites esenciales y de cítricos (Ross, 2001).
- Las mezclas de sólidos de maíz, maltodextrinas y almidones modificados permiten un encapsulamiento óptimo (Swarbrick, 2001).
- Los alginatos que son hidrocoloides extraídos de algas, los cuales reaccionan con iones calcio para la formación de geles estables; éstos son utilizados para el atrapamiento de sabores a temperatura ambiente (Hernández, 1998).

La combinación de proteína *protein isolate (Wpi)* y maltodextrina en una proporción de 5 y 10 respectivamente; en primera instancia homogeneizada en un homogenizador a 13500 rpm, 15°C con una residencia de 30 s tomando en consideración la T° del aire a la entrada 160°C y a la salida de 80°C en el secado por aspersión, muestra que esta combinación no tiene competencia alguna en la formación de la pared, pero si hay una dependencia de ellos es decir su

interacción proporciona una pared estable, se demuestra que este producto obtenido es efectivo para la encapsulación por medio del secado por aspersión así como los niveles de absorción de volátiles, es encontrada en relación a la cantidad de la mezcla de proteína y carbohidrato, de tal manera que no se presenta problemas de estabilidad en el almacenamiento del producto (Sheu y col, 1998).

### **1.3 Características de los agentes encapsulantes.**

La importancia de las características que imparten los agentes encapsulantes son de vital importancia para la producción del encapsulado, las características principales son:

- Impartir bajas viscosidades a altas concentraciones.
- Ser un formador de película (Hernández, 1998).
- Poseer enlaces moleculares que no permitan rotación (Nakakawa, 1981).
- Poseer una estructura y conformación tales que permitan la formación de redes que tengan baja porosidad (Soto, 1995).
- Deben de tener un grado de integridad alto al ser eliminada el agua (Anaya, 1995)

Los componentes volátiles que son generados en la fase hidrofóbica del producto durante la cocción dirigiendo a ser capturado en la matriz vítrea o lisa del carbohidrato (Alginato), sugieren que esto es debido a la retención y liberación de los componentes volátiles creando a su alrededor un microambiente específico del saborizante, que reduce la movilidad de los constituyentes del sabor. Esta idea ha inducido a investigar la viabilidad de la retención por absorción del saborizante en la formación de gotas de gel de alginato que contienen aceite vegetal.

Una de las mejores ventajas de la encapsulación del sabor en gotitas de alginato, es que no afectan el sabor liberándose durante el consumo del producto, la formación de gotitas suministra una liberación sostenida del sabor durante el almacenamiento y antes de su consumo, la velocidad de la pérdida de sabor de

las gotas de alginato es limitado por la transferencia de masa controlada como consecuencia de la retención de sabor, los encapsulados en gotas de alginato aumentan con un incremento en el tamaño de la partícula debido a la disminución en la área de la superficie y la gran distancia del centro de las gotitas a la superficie, la retención es además incrementada con una disminución del contenido de humedad de las gotitas.

El agua no siempre tiene un efecto negativo en la retención de la encapsulación de sabor, esto depende de la estructura (configuración) de las cápsulas, donde el agua suministra y añade una barrera para la pérdida del sabor; por ejemplo en la encapsulación obtenida por el complejo de coservación, estas cápsulas consisten de una gotita de aceite rodeada por una pared de proteína y polisacáridos, la pared de la cápsula seca es impermeable para componentes del sabor, desde entonces más productos contienen agua, las cápsulas muy a menudo absorben más del 90% de agua en sus paredes y son entonces permeables para los componentes durante los procesos de cocción (Roos, 2001).

#### **1.4 Tipos de agentes encapsulantes en la industria alimentaria.**

Los agentes encapsulantes estudiados hasta el momento con resultados favorables, ya se encuentran en el mercado en la industria farmacéutica y también en los aditivos alimenticios.

##### **1.4.1 Goma arábica.**

Es un hidrocoloide obtenido del exudado de varias especies de árboles de acacia, su estructura química consiste de ácido D-glucoronico, L-ramnosa, D-galactosa y L-arabinosa con alrededor de un 5 % de proteína que es la responsable de las propiedades emulsificantes de la goma, debido a su extremada solubilidad en agua, la goma tiene una propiedad muy importante y única entre los hidrocoloides naturales la cual puede producir soluciones hasta con un 50 % de concentración donde forma una masa gelatinosa similar a las de un gel fuerte de almidón, para ser utilizada como encapsulante de esencias mediante secado por

aspersión, es así que la goma arábica es el carbohidrato tradicional para la encapsulación de sabores mediante secado por aspersión.

Estudios recientes reportan que al encapsular volátiles en goma arábica, presentan mayores ventajas en comparación a los almidones de amaranto y maíz modificado, así como retención de humedad adecuada, para una mayor retención de compuestos volátiles, este experimento se realizó en un equipo de secado por aspersión donde las condiciones fueron de 160 +/- 10°C la temperatura del aire a la entrada, 75 +/- 10 C° a la salida, dichas condiciones son importantes debido a la transferencia de agua que se lleva cabo al inicio del proceso de secado (Soto, 1995; Beristain, 2001; Chattopadhyaya, 1998).

#### **1.4.2 Goma mezquite.**

Es un hidrocoloide muy similar a la goma arábica, las propiedades útiles de ambos hidrocoloides están ligadas a su interacción con las moléculas de agua y el comportamiento que exhiben al ionizarse en solución originando una macromolécula. Es relevante mencionar que esta goma tiene la alternativa de mezclarse para la encapsulación de aceite esencial en el proceso de secado por aspersión.

La eficiencia presentada en una mezcla de almidones y goma mezquite fue de 1:4 la cual presenta una eficiencia del 83.6 % para la retención de aceite, además de mostrar una estabilidad en el almacenamiento de manera importante, así mismo se proporciona como el segundo agente encapsulante de aceites con mayor aceptabilidad, este experimento fue desarrollado en un equipo de secado por aspersión en donde las condiciones del aire fueron de 200+/-15° C a la entrada y 110+/- 5° C a la salida (Beristain, 2001; Soto, 1995).

### **1.4.3 Almidones modificados.**

El almidón es uno de los polisacáridos más baratos a nivel industrial, es una mezcla íntima de dos polisacáridos: amilosa y amilopectina, generalmente, los almidones de los granos de cereales nativos contienen de 17 a 24% de amilosa y de 76 a 83% de amilopectina (Chehtel, 1976).

Los procesos de modificación de los almidones se realizan para introducir alguna funcionalidad específica deseada cambiando sus propiedades y así obtener mejores productos. Los almidones modificados son abundantes, funcionales y muy útiles como ingredientes alimentarios, generalmente empleados como macro ingredientes, las modificaciones pueden ser químicas o físicas.

Las modificaciones químicas comprenden la oxidación, enlaces cruzados, estabilización y depolimerización, estas modificaciones producen los mayores efectos en cuanto a funcionalidad, sin embargo, los almidones modificados generalmente son preparados mediante combinaciones de dos, tres y en ocasiones cuatro procesos, las modificaciones físicas producen productos pregelatinizados y productos capaces de absorber agua fría.

Cualquier almidón de maíz, papa, tapioca, trigo, arroz, etc. Puede ser modificado, sin embargo las modificaciones más significativas en la práctica son las que se realizan al almidón de maíz, tanto al maíz común como al ceroso, y al almidón de papa, en segundo término pueden citarse las modificaciones realizadas a los almidones de tapioca y trigo (Ayala y col, 2004).

En el cuadro 1 se pueden conocer las características principales de estos almidones para ser procesados como agentes encapsulantes, en el cuadro 2 se representa la importancia que están adquiriendo los almidones modificados y el impacto sobre el producto.

Cuadro 1. Almidones modificados más recomendados para encapsular (Soto, 1995).

Almidón modificado	Descripción
CAPSUL	Almidón modificado de grado alimenticio, obtenido a partir del almidón céreo, diseñado para encapsular expresamente saborizantes. Es un polvo blanco cremoso con 5 % de humedad y pH aproximado de 3, posee propiedades emulsificantes y su uso principalmente es en aceites vegetales, cítricos y saborizantes además de permitir un eficiente secado por aspersion. Tiene alta capacidad de retención de aceite, fácil dispersibilidad y alta densidad aparente.
NATIONAL - 46	Es un producto de baja viscosidad diseñado para el encapsulamiento de aditivos cítricos, aceites, saborizantes delicados. Este producto es una modificación del producto denominado CAPSUL para la aplicación específica de sabores altamente oxidables como los aceites esenciales de cítricos. Es un polvo blanco cremoso con 6 % de humedad y pH de 3 aproximadamente.
N-LOK	Es un producto diseñado para la encapsulación de sabores, grasas, aceites y vitaminas, porque es un agente encapsulante excelente previniendo la oxidación, es un polvo blanco con humedad aproximada de 6 % y pH de 4. Las características de este encapsulante son; el color claro sin impartir sabor, solubilidad en agua fría que elimina el calentamiento necesario para la mayoría de los agentes encapsulantes como sustituto de la goma arábica, buenas propiedades de estabilización de emulsiones e impartición de baja viscosidad a sus dispersiones.

Cuadro 2. Características y beneficios que aportan los almidones modificados (Anónimo, 2003).

Aplicación	Recomienda Nacional starch	Dosis recomendada	Características y funciones del almidón	Beneficios para el usuario y consumidor
Sistemas para encapsulado	CAPSUL	30 – 40 % de sólidos	Buen formador de pared. Baja viscosidad.	Alta retención del aceite. Alto contenido de sólidos, lo que facilita el secado. Buena estabilidad de la emulsión.
	NADEX 722	20 – 35 % de sólidos	Recomendado en un 20 % para cargas de aceite volátil, más para sistemas de menor carga.	
	N-LOK	30 – 40 % de sólidos	Solubilidad en agua fría. Formador de película. Baja viscosidad. Recomendada en una carga del 20 % de aceite. Alta resistencia a la oxidación	Buena retención de aceite. Estabilidad de la emulsión. Preserva el sabor.
	SERIE HI-CAP	30 – 40 % de sólidos	Solubilidad en agua fría. Baja viscosidad. Recomendado con cargas de hasta 40 % de aceite volátil.	Excelente retención de aceite. Preservador de sabor. Estabilidad en el secado por aspersión. Reduce costos
	ENCAPSUL 855 SERIE CRISTALTEX	20 – 40 % de sólidos	Agente de uso general en encapsulado. Buen vehiculo para sabores y	Buena retención del aceite. Reduce costos de

			especias. Emulsificador y Baja viscosidad.	producción, envío, envasado.
Sustituto de crema y grasas secados por aspersión.	N-CREAMER 46	3 – 5 % de sólidos	Buena dispersabilidad. Agente opacificante. Proporciona una alta cremosidad.	Reemplaza ingredientes caros. Estabilidad en el secado por aspersión.
Recubrimientos absorbentes.	N-ZORBIT M NATIONA 5730	10 – 30 % de sólidos	Elevada área superficial. Soluble en agua.	Absorbe altos niveles de productos aceitosos.
Encapsulación de sabores por extrusión.	HYLON VII	10 – 40 % de sólidos	Almidón con alto contenido de amilosa que proporciona una plasticidad y formación de la película en el proceso	Alto potencial de encapsulado.

## CAPITULO II.

### ANTECEDENTES Y ELEMENTOS DE LA ENCAPSULACIÓN.

#### 2.1 Antecedentes.

1930 - 1940 Los procesos de encapsulación, fueron desarrollados por National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte mediante la gelatina como agente encapsulante (Yañes, 2002).

1950. El desarrollo de una serie de productos denominados medicamentos de acción prolongada, sostenida o programada con la finalidad de proporcionar niveles sanguíneos adecuados durante un periodo de tiempo considerable.

1956. Chandmier y Saunders; establecieron los factores que determinan la liberación del medicamento contenido en microcápsulas, efectuando estudios in Vitro, observaron que la liberación es dependiente de la concentración de electrolitos del medio líquido empleado en la extracción y del tamaño de la partícula de la microcápsula.

1964. Lanos y Robinson; formaron microcápsulas de un material lipídico mezclado con el fármaco correspondiente, fundieron dicha mezcla y la atomizaron pasándola a través de una corriente de aire frío, las microcápsulas obtenidas se desintegraron lentamente en el aparato digestivo.

1968. Chang y Poznansky; reportaron la permeabilidad de iones de bajo peso molecular como urea, creatinina, glucosa y ácido salicílico a través de película de nylon, observando una variación en su liberación que es inversamente proporcional al espesor de la película (Santillan, 1990).

El proceso de encapsulación, busca la formación de capsulas las cuales son partículas pequeñas que se encuentran formadas por un núcleo, que por lo general es el sistema encapsulado (sabor, olor, aceite) y un material de recubrimiento (almidones modificados, gomas naturales, gelatina), con el objetivo de impedir su pérdida, para protegerlos de la reacción con otros compuestos presentes en el alimento o para impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz u oxígeno.

El término de encapsulación incluye microcápsulas, micropartículas, nanocápsulas y sustancias activas atrapadas; se aplica para preservar o proteger varios ingredientes comerciales, el material que es cubierto se refiere como fase interna y el material que recubre es llamado pared y generalmente no reacciona con el material a encapsular, las cápsulas presentan una variedad amplia de estructuras, como las de geometría esférica con una fase interna continua rodeada por una pared también continua (estructura de partícula simple), mientras que otras pueden tener una geometría irregular y pueden tener fase interna distribuida en una matriz del material de pared (estructuras agregadas), el intervalo de tamaño al que pertenecen, puede decirse que van desde 0,2 a 5000  $\mu\text{m}$  (Nakakawa, 1981), la utilización de los procesos de encapsulación se aplican principalmente en la industria farmacéutica y cada vez más en la industria alimentaria, para la obtención de productos como; sabores, colores, aromas, perfumes, drogas, fertilizantes y precursores en impresiones (Santillan, 1990).

La encapsulación de carotenoides hace fácil el manejo y mejoras en la estabilidad con respecto a la oxidación, entre 4 diferentes hidrocoloides examinados como materiales de pared (15 equivalentes de dextrosa (D.E), maltodextrina, goma arábiga, gelatina y caseinato de sodio), la maltodextrina fue encontrada como la más efectiva en protección, de los carotenoides de oxidación. Algunos investigadores han estudiado el efecto de varios D.E, los almidones hidrolizados en la estabilidad de alfa y beta-carotenos en el secado por aspersión de la zanahoria en polvo. Luego entonces se han reportado que todos los transportadores incrementan la vida de anaquel multiplicándose de 72 a 220,

además de que la encapsulación ha encontrado numerosas aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica como colorantes de revestimiento, sabores y otros ingredientes bioactivos en un esfuerzo por ampliar su vida de anaquel de los productos en cuestión (Selim y col, 2000).

## **2.2 Elementos esenciales de los sistemas encapsulados.**

Los elementos esenciales que componen el encapsulado de cualquier producto son:

### **2.2.1 Material central.**

La fase del compuesto activo y la capsula en si pueden presentar un amplio rango de posibles configuraciones, el material central en función es el que se logra mediante la solución o emulsión, que será ingresado al secador, la preparación del material nuclear puede considerarse importante, debido a que la configuración de la cápsula resultante tiene una fuerte influencia en el funcionamiento del producto capsular y en el uso final, por ejemplo:

- Centro esférico – pared sólida.
- Núcleo irregular – pared sólida.
- Fase líquida – pared sólida.

### **2.2.2 Tamaño.**

El tamaño de la cápsula se encuentra en un rango de 0,5 a 200  $\mu\text{m}$  de diámetro, la cápsula es definida por el control de las variables de proceso por ejemplo; en el secado por aspersión las boquillas determinaran el tamaño de la partícula.

El contenido de la capsula presenta un intervalo de 70 – 90 % del material nuclear por peso, en el caso del grosor de la cápsula se encuentra en relación con

el tamaño de la partícula, su contenido y las densidades relativas, son difíciles de reportarse de manera cuantitativa, el contenido de la capsula es complicada aunque todas las partículas nucleares tienen una forma esférica y la pared de la capsula es depositada uniformemente, la forma de la partícula puede variar ampliamente de tal manera que se tendrán que definir las variables de operación ya que estas influyen de manera directa al tamaño del encapsulado (Nakakawa, 1981; Chattopadhyaya, 1998).

### **2.2.3 Pared.**

Este elemento es frecuentemente determinado por los requerimientos del compuesto activo, debido a que de este dependerá el tipo de encapsulante, ya que como se ha observado las gomas naturales y los almidones modificados presentan características como el pH y aceptación de agua diferentes. Por ejemplo:

Si el producto a encapsular debe resistir la acción de las bases de un medio acuoso, el material de la pared deberá ser hidrofóbico por naturaleza y proporcionar una buena barrera contra el agua, por lo tanto, la pared depositada tiende a seguir el contorno del núcleo y la forma final del producto capsular que es afectada por la configuración del núcleo, así mismo el material de la pared es generalmente inerte.

La resistencia de la pared puede ser flexible o resistente, además de ser controlada sobre un amplio rango por varios medios, incluyendo la selección del espesor de la pared y uso de aditivos como plastificantes, de esta manera, las capsulas pueden ser frágiles y sujetas a rupturas por fuerza moderada o viceversa.

La permeabilidad de la pared, es una de las propiedades más importantes en varias aplicaciones de las cápsulas, la necesidad de una baja permeabilidad

previene la pérdida del material nuclear de los materiales ambientales o con un grado particular de permeabilidad con el objeto de dar una liberación lenta y controlada

Los agentes encapsulantes no pueden hasta ahora proporcionar una barrera perfecta para los materiales que son encapsulados ya que el calor, humedad y presencia de oxígeno han podido inestabilizar de manera independiente o en su conjunto a cada agente encapsulante, sin embargo es posible retardar la velocidad de degradación, esto hace que las condiciones de almacenamiento de productos encapsulados sean vigilados de manera rigurosa y puedan permitir el mejoramiento del producto.

Nota: El tipo de material pared y su morfología dictará inherentemente las características de permeabilidad y la estabilidad de la cápsula (Nakakawa, 1981; Chattopadhyaya, 1998; Santillan, 1990).

## **2.2.4 Postramiento de la cápsula.**

El postramiento (endurecimiento) puede incluir métodos químicos, físicos; el endurecimiento de las paredes de las cápsulas de gelatina con formaldehído es empleado de manera frecuente, la película que forma la pared depositada de una solución de solvente orgánico, puede endurecerse por tratamiento con un solvente que no disuelva la pared, el método físico y más común es el enfriamiento de la pared de la cápsula.

En numerosos casos las cápsulas deben suspenderse para su funcionamiento apropiado en el uso final por ejemplo; los sabores de los alimentos encapsulados pueden ser suspendidos en un matriz de jalea, en donde deben permanecer estables hasta que la liberación se efectuó por medio del calor de la parrilla del horno (Nakakawa, 1981; Anaya, 1995).

Los productos encapsulados pueden ser aislados como polvos secos que fluyan libremente o puedan estar en forma de suspensión, las cápsulas pueden hacerse también para adherirse y ser moldeadas en formas diversas.

### **2.2.5 Liberación y reacción.**

Los mecanismos de liberación de las cápsulas se pueden llevar a cabo por una disolución normal en agua, esfuerzos de cizalla, temperatura, reacciones químicas y enzimáticas o por cambios en la presión osmótica. La liberación de componentes de una cápsula puede ser controlada por difusión de la pared de la cápsula o por una membrana que cubre la pared. La permeabilidad a través de la matriz y la solubilidad del componente de la pared de la cápsula influyen en la velocidad de difusión. El compuesto que va a difundir debe ser soluble en la matriz; aunque la presión de vapor de sustancias volátiles en cada lado de la matriz puede ser la fuerza que determine la difusión. La selección de una matriz o membrana es importante; la naturaleza química, morfología y temperatura de transición, el grado de hinchamiento y de entrecruzamiento también influyen en la difusión de la membrana aunque pueden disminuir la velocidad de liberación.

### **2.2.6 Almacenamiento.**

Las cápsulas que contienen materiales volátiles o algún reactivo químico deben de protegerse de la temperatura, humedad, presión, luz y radiación para evitar la evaporación o descomposición del núcleo. Si el núcleo es higroscópico las cápsulas pueden absorber agua de la atmósfera altamente húmeda hasta que se rompa la pared, las cápsulas que contienen poca cantidad de agua en el núcleo pueden perder agua por evaporación en un medio con poca humedad. Una presión excesiva en las cápsulas durante el almacenamiento puede tener como consecuencia una ruptura prematura de la cápsula (Soto, 1997; Anaya, 1995).

## CAPITULO III.

### CARACTERIZACIÓN DE LAS CÁPSULAS.

Los encapsulados obtenidos por cualquiera de los procedimientos deben ser caracterizados y controlados de acuerdo con ensayos que aseguren la ausencia de heterogeneidad, que llegarán a presentar, así como su comportamiento biofarmacéutico y alimenticio, esto es debido a la importancia que los productos encapsulados están teniendo en la industria, así como la garantía de un producto de calidad.

#### **3.1 Caracterización que se les realiza a las cápsulas:**

- Características morfológicas, tamaño de partícula y estructura interna.
- Rendimiento de producción.
- Eficacia de la encapsulación y contenido en principio activo.
- Estudio de liberación del principio activo.
- Estado físico e interacciones polímero-principio activo (Swarbrick, 1997).

#### **3.1.1 Características morfológicas, tamaño de partícula y estructura interna.**

Para analizar la morfología de los encapsulados, se recurre normalmente a técnicas de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (SEM), que también permiten detectar la posible agregación de las partículas, así como determinar el tamaño de las mismas. La observación por microscopía electrónica de barrido de los cortes transversales de las micropartículas permite caracterizar la estructura interna de las mismas. El tamaño y la distribución de tamaños en los encapsulados, se determinan empleando técnicas microscópicas, de tamización, sedimentación, técnicas de difracción de rayos láser.

### **3.1.2 Rendimiento de producción.**

El rendimiento de producción refleja el porcentaje de microesferas obtenidas con respecto a la cantidad total de material (principio activo + polímero) empleado. Se trata de un control muy importante desde el punto de vista económico, teniendo en cuenta el elevado costo de la mayoría de los polímeros y principios activos utilizados. Es por lo tanto, conveniente recuperar en forma de microesferas la mayor cantidad posible del material de partida. (Anaya, 1995; Hernández, 1998; Nakakawa, 1981).

### **3.1.3 Eficacia de encapsulación y contenido en principio activo.**

Para cuantificar el principio activo encapsulado, habrá que disolver previamente el polímero formador de cubierta en un disolvente adecuado o extraer el principio activo utilizando, un disolvente en el cual, el compuesto activo es soluble y el polímero insoluble (Hernández, 1998, Nakakawa, 1981).

El contenido en principio activo (P.A) o capacidad de encapsulación hace referencia a la cantidad de compuesto activo encapsulado en las esferas. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Contenido P.A. (\%)} = \frac{\text{Cantidad de principio activo encapsulado}}{\text{Peso final de esferas}} \times 100$$

El rendimiento o eficacia de encapsulación (E.E) se calcula a partir de la relación entre el principio activo encapsulado y el teórico o en disposición de ser encapsulado, a partir de la expresión:

$$E.E (\%) = \frac{\text{Cantidad de principio activo encapsulado}}{\text{Cantidad teórica de principio activo}} \times 100$$

Es importante que el contenido de principio activo como la eficacia de encapsulación sean lo más elevados posibles. Es decir, incorporar la mayor cantidad posible de principio activo por peso de esfera sin llegar al exceso, además interesa desde un punto de vista económico que todo o prácticamente todo el principio activo utilizado en el proceso sea encapsulado.

### **3.1.4 Estudio de liberación del principio activo.**

Al igual que en formas farmacéuticas de liberación controlada, el estudio de liberación in vitro de la molécula activa a partir de los encapsulados es muy importante. La liberación del principio activo está gobernada por una serie de factores que son dependientes del polímero, del principio activo y de la propia esfera. Entre los primeros se puede citar el tipo de polímero (insoluble, solubilidad y pH), su peso molecular y estado cristalino. Entre los parámetros relacionados con el principio activo, se destaca la solubilidad del mismo y su peso molecular. Por último, factores dependientes de la propia esfera son, por ejemplo, el tipo de estructura interna y el contenido teórico de principio activo con respecto al polímero. Para realizar el estudio de liberación se puede utilizar métodos de flujo, agitación, membranas de diálisis, etc (Balaz, 1993; Anaya, 1995; Soto, 1995).

### **3.2 Ingredientes encapsulados utilizados en alimentos.**

Los ingredientes encapsulados en el mercado nacional e internacional, hasta el momento en la industria farmacéutica y alimenticia son:

- Saborizantes del tipo: especias, aceites, sazonadores, edulcorantes, acidulantes, álcalis, buffers (ácido ascórbico, cítrico, fumarico, bicarbonato).
- Lípidos; ácido linoleico, agentes redox (blanqueadores, maduradores).
- Enzimas o microorganismos antioxidantes como ácido ascórbico o cítrico
- Colorantes, aceites esenciales, aminoácidos, vitaminas y minerales.

## CAPITULO IV.

### PROCESOS DE ENCAPSULACIÓN.

Los procesos o técnicas de encapsulación en su mayoría se encuentran aplicadas hacia la industria farmacéutica, no obstante, los procesos de lecho fluidizado, extrusión y secado por aspersion ya se encuentran produciendo productos para la industria de alimentos, a continuación se muestran los principales procesos de encapsulación:

#### 4.1 Lecho fluidizado.

Este proceso consiste en suspender las partículas sólidas en aire a alta velocidad dentro de una cámara con temperatura, presión y humedad controlada, donde el material pared es atomizado. La cantidad de partículas cubiertas depende de la longitud de la cámara y del tiempo de residencia dentro de ésta, como se observa en la figura 1.

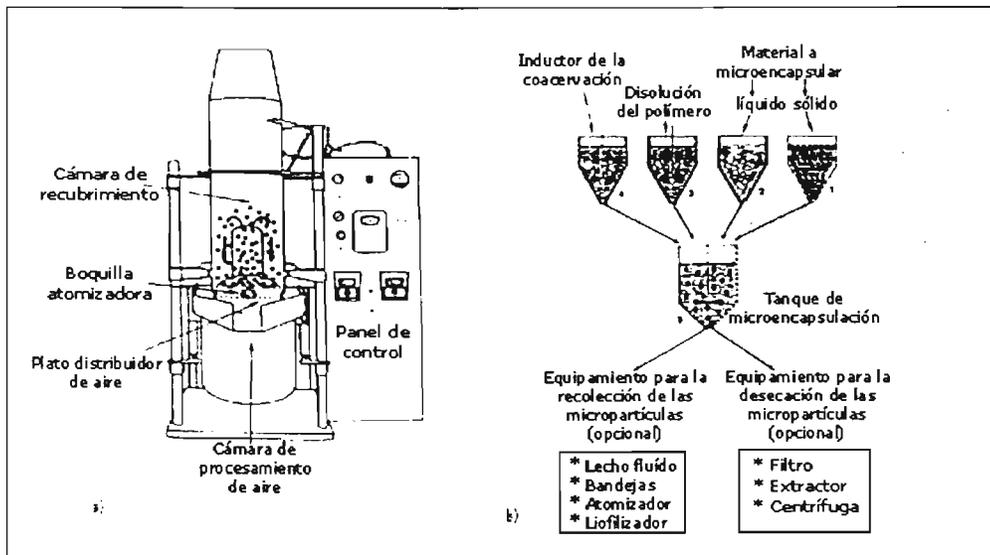
Se aplican a coberturas que se funden fácilmente (como aceites vegetales hidrogenados, estearinas, ácidos grasos, emulsificantes, ceras) o coberturas solubles (como almidones, gomas y maltodextrinas). Para coberturas fundibles se usa aire frío para endurecer el acarreador, mientras que para las coberturas solubles se usa aire caliente para evaporar el disolvente. Los ingredientes con facilidad de fundir son liberados al incrementar la temperatura o por ruptura física, mientras que las coberturas solubles liberan su contenido al adicionar agua.

Su aplicación en alimentos fortificados y mezclas nutricionales que contienen ingredientes encapsulados por lecho fluidizado son: ácidos cítrico, láctico y sórbico; bicarbonato de sodio utilizado en productos de panificación.

Figura. 1: Unidad de encapsulación en lecho fluido.

a) El cual muestra las etapas básicas del proceso.

b) Etapas del proceso de encapsulación por coacervación (Kenyon, 1995).



## 4.2 Liposomas.

Los liposomas son partículas microscópicas de lípidos y agua principalmente, su mayor aplicación se ha encontrado en la industria farmacéutica como sistemas de liberación de fármacos para el organismo. Son estructuras compuestas de una bicapa de lípidos que engloba un volumen acuoso, es decir, encapsula. Se elaboran con moléculas que poseen sitios hidrofóbicos (ácidos grasos, fosfolípidos, etc) y sitios hidrofílicos (colina, serina, inositol, etc). Por ejemplo cuando los fosfolípidos como la lecitina se colocan en agua, forman vesículas de varias bicapas concéntricas divididas por compartimentos acuosos. En la fase acuosa se coloca el material a encapsular cuando es hidrofílico o bien se agrega en el solvente orgánico donde se disuelven los fosfolípidos, si es lipofílico. Estos han sido empleados para la liberación de vacunas, enzimas y vitaminas en el cuerpo y consisten de una o más capas de lípidos no tóxicos y

aceptables en alimentos; la permeabilidad, estabilidad, actividad superficial y afinidad pueden variar con el tamaño y la composición del lípido (Krasaekoopt, 2003).

### **4.3 Inclusión de complejos o encapsulación molecular.**

La inclusión de complejos, también conocida como encapsulación molecular, utiliza  $\beta$ -ciclodextrinas para el atrapamiento de moléculas, estas ciclodextrinas (CD) tienen un centro hidrofóbico mientras que la superficie exterior es hidrofílica. Las CD forman complejos por inclusión, el principal mecanismo de las CD involucra la formación de complejos por inclusión que permiten un equilibrio dinámico en el cual agua u otro compuesto son reemplazados en la cavidad de la molécula de CD, la estabilidad de estos complejos depende de la estructura, hidrofóbica de la molécula, pH, disolvente orgánico, temperatura y concentración de la CD, la preparación de complejos se realiza por dos métodos.

En el primero la molécula huésped y CD son cristalizadas, un disolvente menos hidrofóbico que la molécula huésped, se mezcla con los componentes dando una acomplejación de la molécula huésped hacia el centro de la ciclodextrina y la molécula huésped son mezcladas en agua durante un tiempo hasta conseguir el equilibrio.

El segundo método involucra la forma gaseosa de la molécula huésped en una solución de CD. Los complejos de inclusión obtenidos son sólidos cristalinos y pueden adicionarse a alimentos secos con un mínimo de degradación o pérdida del compuesto huésped durante el almacenamiento. Las CD protegen sabores y otros ingredientes sensibles al calor que son adicionados en alimentos extrudidos. Aceite de ajo, cebolla y vitaminas A, E y K son acomplejados por CD.

Generalmente un cambio de pH, temperatura o fuerza iónica provoca una fase de separación o coacervación de la cobertura y atrapamiento del material activo disperso; finalmente la cobertura es solidificada por medios térmicos o entrecruzamiento. La fase de separación acuosa involucra el uso de materiales

como grenetina o mezclas de grenetina y goma arábica, una coacervación simple se presenta cuando sólo la grenetina es inducida a formar cápsulas (Rosenberg, 2003).

#### **4.4 Coacervación.**

El término coacervación fue introducido para describir la separación de fase líquido/líquido espontánea que puede ocurrir cuando se mezclan polielectrolitos de cargas opuestas en un medio acuoso. El soluto polimérico separado en forma de pequeñas gotas líquidas, constituye el coacervado, la disposición de este coacervado alrededor de partículas insolubles dispersas en un líquido forma cápsulas incipientes, que usualmente utiliza una proteína o gelatina, como encapsulante (poli-catión) y gomas como la arábica que actúan como polímero de carga opuesta para que la coacervación ocurra (Santillan, 1990).

#### **4.5 Polimerización interfacial.**

Proceso donde se hace polimerizar a un monómero en la interfase de dos sustancias inmiscibles, formando una membrana que dará lugar a la pared de la cápsula, su separación de la cápsula se puede hacer mediante una centrifugación, este proceso ha sido utilizado para encapsular proteínas, enzimas, anticuerpos y células, también ha sido el más utilizado para encapsular dietas para larvas de especies acuícolas utilizando proteínas como encapsulantes.

## 4.6 Gelación iónica.

Es un proceso que se desarrolló para inmovilizar células, donde se utiliza principalmente alginato como componente de la membrana y la combinación con iones divalentes como el calcio, para inducir la gelificación, en esta interacción tiene lugar un entrecruzamiento iónico entre los iones de calcio y las unidades de ácido glucurónico del alginato, dando lugar a un gel conocido como "modelo de caja de huevo". Estequiométricamente se requiere de 7.2% de calcio (basado en el peso del alginato de sodio) para una sustitución completa, sin embargo con sólo 2.2% de calcio se logra la formación del gel. Al entrar en contacto con los iones calcio, el alginato forma un gel instantáneamente, los iones se siguen difundiendo en el alginato, logrando que el gel se vaya endureciendo con el tiempo, cabe mencionar que es posible manipular la dureza del gel modificando las condiciones de proceso como pH, concentración de iones calcio y concentración de alginato.

Los geles de alginato/calcio son permeables a moléculas solubles en agua cuyos pesos moleculares sean menores de 5000 Daltons. Moléculas mayores también pueden difundir a través del gel, pero si el peso molecular excede los 10 000 Daltons, la difusión no ocurre, la excepción a esto la constituyen los lípidos, los cuales permanecen en la matriz aún cuando sean de peso molecular bajo. Las microcápsulas de alginato se han utilizado en larvicultura y actualmente se informa de una aplicación novedosa en la producción de microalgas como *Dunaliella bardawil* y *Chlorella sp* entre otras, como método efectivo para el cultivo con alta densidad celular, lográndose densidades hasta cinco veces mayor que en cultivo libre (Anaya, 1995).

## 4.7 Incompatibilidad polimérica.

En este proceso se utiliza el fenómeno de separación de fases en una mezcla de dos polímeros químicamente diferentes e incompatibles en un mismo solvente, la incompatibilidad polimérica es el mecanismo que induce la separación de fases. El material a encapsular interaccionará sólo con uno de los dos

polímeros el cual se adsorbe en la superficie del material a encapsular formando una película que lo engloba, de manera general este proceso se lleva a cabo en solventes orgánicos y cuando el material a encapsular es sólido.

## CAPITULO V.

### PROCESO DE EXTRUSIÓN.

Las investigaciones realizadas en la aplicación del proceso de extrusión se encuentran reportando resultados favorables en la encapsulación de sabores y aceites esenciales, por lo que es importante conocer el proceso.

#### 5.1 Operación unitaria.

La extrusión es capaz de efectuar un número de operaciones, incluyendo cocción, formación, texturización y deshidratación de materiales alimenticios, particularmente aquellos como granos, leguminosa y semillas. La extrusión con cocción es un tratamiento térmico a temperaturas elevadas durante corto tiempo (HTST) de tal manera que reduce la contaminación microbiana e inactiva enzimas, estas operaciones están contenidas en una pieza de equipo compacto, el cual desperdicia poca energía y necesita únicamente una pequeña cantidad de espacio, esta operación esta ganando popularidad por las siguientes razones:

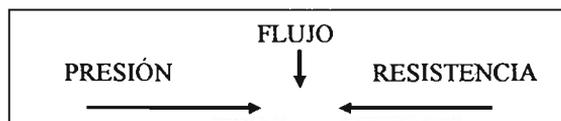
- Versatilidad. Este proceso es extremadamente flexible y puede acomodarse a las demandas de nuevos productos por parte del consumidor.
- Reducción de costos. Es el proceso más barato y productivo, se asegura que la extrusión de los cereales para el desayuno, comparado con el proceso tradicional ahorra el 19 %.
- Proceso automático con gran capacidad de producción. Es capaz de producir 315 kg/h de botanas, 1200 kg de cereales de baja densidad y 9000 kg de alimentos para animales (Fellows, 1994).

Mediante la extrusión los alimentos granulados de tamaño pequeño o pulverizados, se transforman en alimentos de tamaño de partícula mayor, otros procesos que aumentan el tamaño de partícula son los de aglomeración de alimentos pulverizados.

## 5.2 Descripción del proceso de extrusión.

Consta de una tolva, la cual proporciona un amortiguamiento a la materia prima a la entrada, de modo que el extrusor opere de manera continua sin interrupción, un tornillo de alimentación de velocidad variable sirve para descargar material de manera uniforme y continuamente a partir de la tolva y llevarla al extrusor, algunas veces se utiliza un cilindro preacondicionador para mezclar con anticipación vapor o agua con la alimentación no elaborada, el tiempo de retención aquí es suficiente de modo que cada partícula alcance el equilibrio en la temperatura y humedad, el barril mismo del extrusor consta de cabezas recubiertas que contienen los tornillos giratorios, las cabezas se calientan mediante vapor, agua caliente y aceite térmico, además se enfría con agua o un sistema de enfriamiento, por lo general al cocimiento por extrusión se le considera un proceso de corta duración a base de temperaturas altas capaz de generar temperaturas de hasta  $180^{\circ}\text{C}$  o poco menos, presiones altas hasta 2000 libras/pulg<sup>2</sup> manométricas y velocidades de corte relativamente altas de 10 a 200  $\text{s}^{-1}$ , el cocimiento por extrusión es un proceso en el cual biopolímeros de almidón o proteína se hacen plásticos mediante la adición de agua y se cuecen con un alto grado de corte mecánico (Barraza, 1993; Harper, 1989; Mercier, 1980).

Figura 2: Diagrama general del proceso de extrusión.



La presión y el flujo pueden ser causados por un número de mecanismos, incluyendo pistones y rodillos, aunque éstos son utilizados en muchos casos, el uso de tornillos es más importante. Los tornillos no sólo movilizan el producto hacia adelante, generando presión, que también mezclan el producto, ayudando a la generación y transferencia de calor, texturización y homogeneización; Un ejemplo del proceso de extrusión se presenta a continuación.

Los componentes volátiles que influyen en el sabor del cereal de arroz fueron estudiados, en un equipo de extrusión con cortador de tornillo gemelo APV Bakker MPF 19/25. La velocidad de rotación del tornillo fue de 250 rpm, la temperatura de las tres secciones del barril era de 140°C el conteo fue hecho por un sistema automático de control mientras que la temperatura de la sección del alimento fue de 20°C, la velocidad del secado del material-alimento de 50 g/min, el diámetro del torque fue de 3 mm, el agua se bombeo dentro de la sección del alimento en el extrusor usando una bomba Watson Marlow 504 A. el contenido de humedad del material durante la extrusión fue de 19-20%, los factores que afectaron la percepción sensorial y métodos especiales de modificación del sabor del arroz no fueron bien conocidos ya que el sabor del arroz nativo es suave y usualmente independiente del cultivo. En general el sabor del arroz gusto pero algunas especies usualmente requieren un tratamiento térmico, para un fino sabor y para elaborar diferentes tipos de productos de arroz (Heinio y col, 2003).

### **5.2.1 Zona de alimentación.**

En esta zona se introduce materiales crudos de baja densidad, la velocidad de alimentación total es limitada por la capacidad de los tornillos de esta zona para transportar la alimentación seca, en caso de utilizar calentamiento de barril, se inyecta agua corriente debajo de esta zona con el fin de hidratar los biopolímeros y posiblemente aumentar la transferencia conductiva de calor.

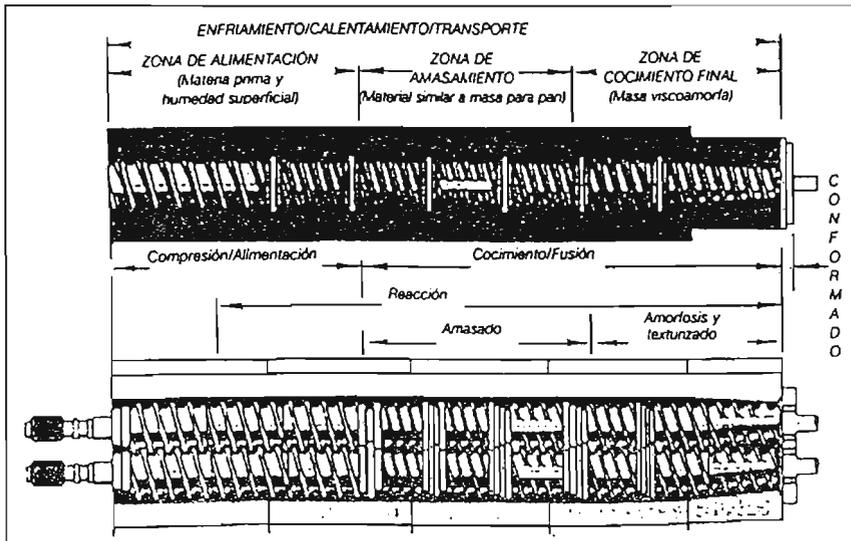
### **5.2.2 Zona de mezclado.**

En esta etapa continua la compresión, los tornillos del extrusor tiene un mayor grado de llenado conforme disminuye el paso del tornillo, el material pierde su textura de identidad granular y su densidad empieza a aumentar conforme lo hace la presión en el interior del cilindro. En esta zona es básicamente la zona de mezclado, es la transición entre la materia prima en forma de partículas y el material viscoelástico homogéneo encontrado en la zona de fusión.

### 5.2.3 Zona de cocimiento final.

La temperatura y la presión en esta zona como muestra la figura 3, (pasos de subproducto en sus diferentes etapas de un extrusor de un solo tornillo y tornillo gemelo), aumenta de manera muy rápida debido a la presencia del dado y al paso pequeño del tornillo, la transformación final de la materia prima también ocurre aquí, lo que afecta de manera importante la densidad, color y propiedades funcionales del producto

Figura. 3: Cortes de un extrusor de un solo tornillo y uno de tornillos gemelos (Fellows, 1994).

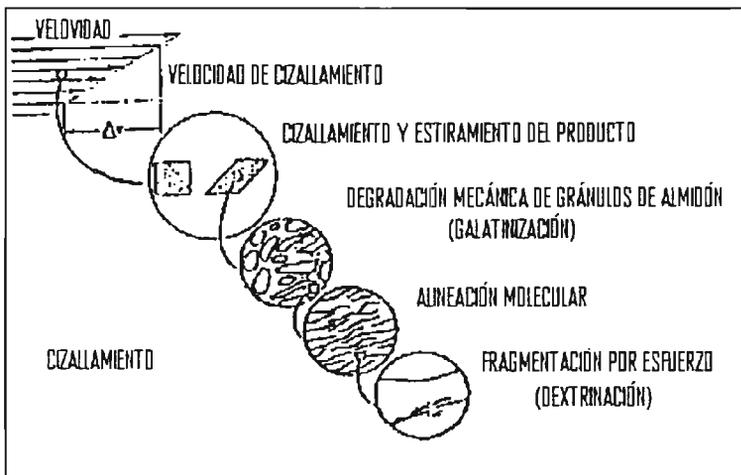


### 5.3 Corte y mezcla.

El producto contenido en el canal de un tornillo rotatorio es cortado, esto significa que se adhiere a dos superficies diferentes (tornillo y barril) que se mueven respecto a cada uno. La velocidad del producto en el canal varía de cero en el barril a un máximo en la superficie del tornillo. En este gradiente de velocidad, las capas del producto se deslizan unas sobre otras, a esto se le llama corte, un factor

muy importante en extrusión de tornillo, la razón del corte es proporcional a la velocidad y diámetro del tornillo e inversamente proporcional a la profundidad del canal, el corte hace que un producto se estire y acelere la gelatinización de almidones y otras reacciones, alinea moléculas de cadena larga y puede depolimerizarlas (causando dextrinización) como se ve en la figura 4 (Barraza, 1993).

Figura 4: Efecto del cizallamiento en la extrusión provocando degradación mecánica dando como resultado la alineación de las moléculas hasta la fragmentación del almidón provocada por el esfuerzo mecánico (Barraza, 1993).

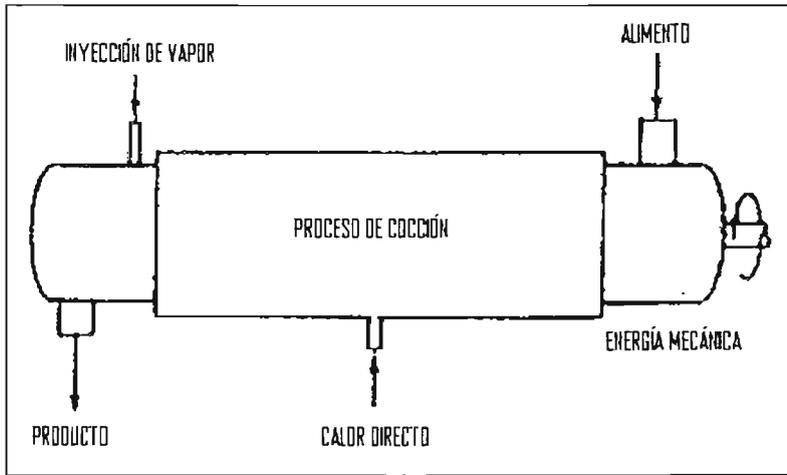


## 5.4 Energía.

Cuando se utilizan para cocción, los extrusores deben generar calor (energía) hacia el producto, para que se lleve a cabo dicha cocción, esto puede ser obtenido en varias formas: por conversión de energía mecánica (rotación del tornillo), aplicación de calor externo o por inyección de vapor ya sea dentro o antes del extrusor, el cual se representa en la figura 5, donde se representa la adición de

energía por vapor y calor directo e incluyéndose la energía que genera el movimiento del tornillo (Mulvaney, 2003).

Figura 5: Inyección de energía para el cocimiento de un producto (Mulvaney, 2003).



La energía es consumida por reacciones endotérmicas como la gelatinización de los almidones o desnaturalización de proteína y por aumento de temperatura del producto, la energía mecánica (conversión) es generada por corte, los productos alimenticios trabajados por extrusión son muy viscosos, ellos resisten el corte generando fuerzas de fricción entre las capas y movimiento del producto, para sobrepasar estas fuerzas se requiere energía, la cual se convierte en calor y la energía resultante en el producto es proporcional a la viscosidad del mismo (Harper, 1989).

## 5.5 Fuentes externas de energía.

La energía en cualquiera de sus manifestaciones es importante para poder desarrollar cambios en cualquier producto, donde en el proceso de extrusión se manifiestan:

### **5.5.1 Conducción.**

La energía es frecuentemente agregada al producto por conducción a través del barril por calentadores eléctricos o chaquetas por ejemplo. Debido a que los extrusores trabajan en la región de flujo laminar, no son muy buenos intercambiadores de calor, pero pueden ser utilizados para este propósito en algunos casos, como la viscosidad es relativamente baja, limita la conversión del calor además de que no causa degradación mecánica del producto, la mezcla del producto en el canal del tornillo ayuda a la transferencia de calor, así que el corte es importante aquí, sin embargo, la transferencia de calor es mejor cuando el tornillo está lleno.

### **5.5.2 Convección.**

La energía mediante vapor al producto, aumenta la temperatura en el barril o puede ser utilizada para precalentar al producto antes de que entre al extrusor, esto difiere a las otras fuentes de energía en que también agrega humedad al producto (San Martin, 1989).

## **5.6 Componentes importantes del extrusor.**

Un equipo siempre necesita de componentes internos y externos para poder llevar a cabo su función productiva, en este caso se representan la parte interna y externa más importante:

### **5.6.1 Dado.**

El dado sirve principalmente como una resistencia al flujo, tiene una profunda influencia en la conducta del flujo del producto en el tornillo y también contribuye directamente a la texturización del producto por el corte desarrollado en el dado mismo, es también responsable de desarrollar diferentes formas en el producto en la mayoría de los casos, en el canal del tornillo, el producto pasa a través del dado con flujo laminar donde, en la mayoría de los casos, se adhiere a

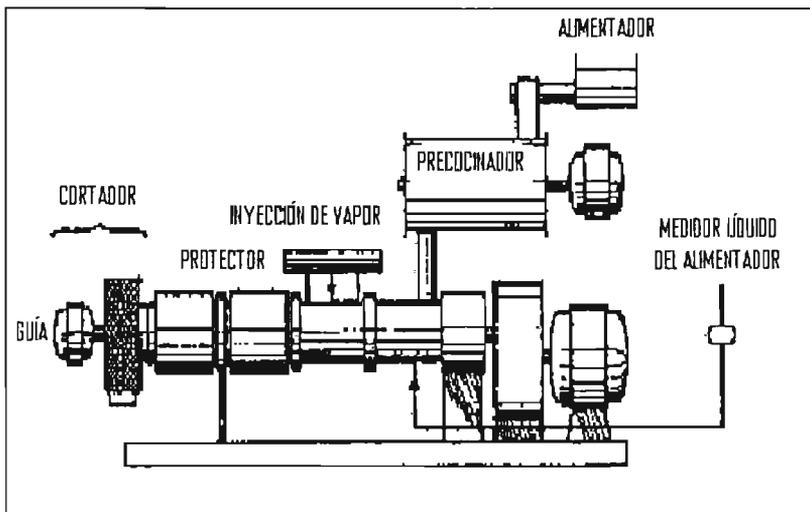
las superficies del dado, aquí la velocidad es máxima y cae a cero (usualmente) en la superficie, la resistencia al flujo es una función de la viscosidad (resistiendo el corte) esto a su vez, es una función de velocidad, para dados más pequeños que crean mayor corte y más resistencia.

La velocidad no es uniforme a través del dado, cuando el producto emerge a la porción más lenta debe acelerarse para obtener la velocidad más rápida, estas porciones deben de hacerse más delgadas distorsionando el producto (Harper, 1989; Mulvaney, 2003).

### 5.6.2 Componentes complementarias.

Alrededor del extrusor están otras unidades necesarias para crear un proceso alimenticio, estas incluyen una guía y protector del cortador (cuando se utiliza un cortador de cara al dado) una "manivela" para inyección de vapor y puerta de entrada (cuando esta forma de energía es deseada) y un pre-cocinador (usualmente utilizado para aumentar productividad o mejorar la calidad del producto), como se observa en la figura 6, donde se representan componentes externos necesarios para la producción de un producto.

Figura 6: Partes complementarias en un extrusor (Mulvaney, 2003).

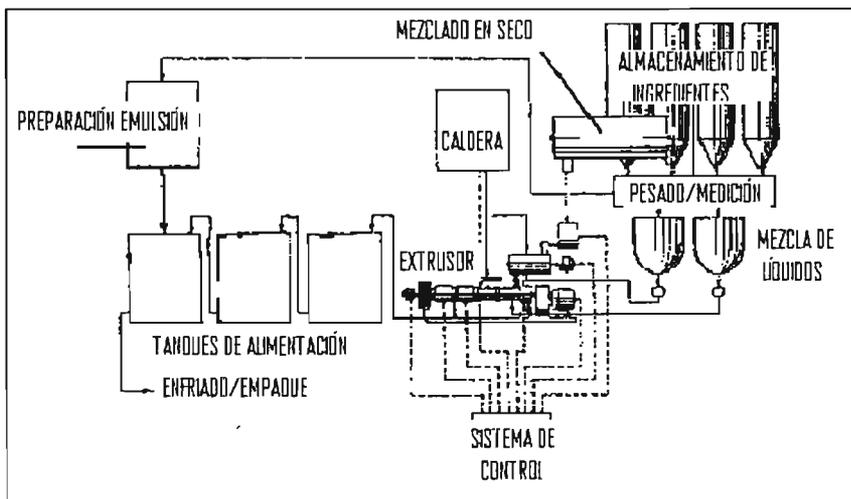


Al igual que estas opciones, también encontramos dos necesidades, un alimentador en seco y un medidor líquido, usualmente se utiliza una corriente separada de líquido para controlar la humedad en el extrusor para una operación práctica, éste y el flujo de alimentación seco deben ser controlados en forma precisa.

Observamos un proceso de extrusión que es frecuentemente el centro de una planta de producción de alimento, en donde se necesita equipo adicional, dependiendo del tipo de producto que está siendo fabricado, como lo muestra la figura 7. Cuando se desea vapor para inyección o precocción, éste debe ser producido por una caldera específica en capacidad y calidad del alimento.

Los controles pueden ser tan rústicos con ajustes manuales de válvula o tan sofisticados como sistemas integrados computarizados, al decidirse en cuanto a controles, se debe considerar la calidad del producto y eficiencia de la planta, así mismo se debe determinar el mínimo grado de control necesario para asegurar un producto consistente, elaborado bajo condiciones rentables.

Figura 7: Diagrama de la extrusión en una planta alimenticia (Fellows, 1994).



La mayoría de productos que salen del extrusor requieren un procesamiento adicional, incluyendo los pasos de formación (cuando el producto cortado en el dado no tiene la configuración final deseada), los extrusores raramente reducen la humedad del producto al nivel final deseado, el secado frecuentemente involucra más desarrollo de la textura, por ejemplo hornos tostadores de temperaturas altas abren la estructura del producto. Muchos productos están cubiertos o saborizados, requiriendo un sistema separado.

El almacenamiento, peso y mezclado de los ingredientes, es importante cuando se procesan por un extrusor formulaciones complejas, la consistencia en la calidad de la alimentación y composición son tan importantes como los porcentajes de alimentación uniforme (Harper, 1989; Fellows, 1994; Mulvaney, 2003; Geankopolis, 1999; Barraza, 1993).

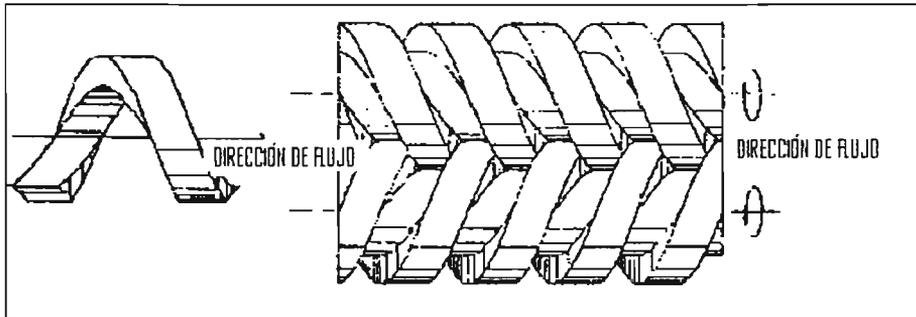
## **5.7 Tipo de extrusores.**

En la industria de alimentos, se utilizan diferentes equipos para la realización de un producto, se observó que para la encapsulación se utilizan equipos como son:

### **5.7.1 Extrusores de tornillo doble de rotación opuesta.**

Los extrusores de doble tornillo de rotación opuesta como muestra la figura 8, tienen dos tornillos que se unen fuertemente como engranajes y rotan uno contra el otro, por lo tanto cada tornillo está dividido en una serie de cámaras separadas las cuales se mueven hacia el dado mientras que el tornillo rota, llevando el producto en ellas.

Figura 8: Extrusor doble tornillo.



La razón de flujo resultante es igual al desplazamiento volumétrico de los canales del tornillo y es casi independiente de la presión de los tornillos de rotación opuesta que pueden generar rápidamente presiones enormes, aunque el producto no fluye entre las cámaras (excepto a través de fugas), circula en cada cámara una cantidad importante para transferencia de calor.

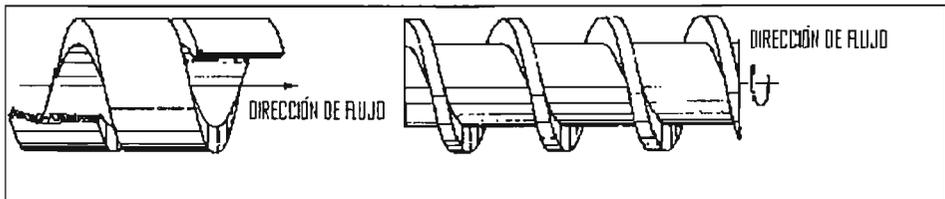
### 5.7.2 Extrusores de un solo tornillo.

Estos operan de forma diferente, el canal del tornillo no está dividido es continuo a lo largo del tamaño del tornillo, en lugar de ser empujado por las aletas del tornillo, el producto es arrastrado por el canal del tornillo por el movimiento relativo del mismo y la superficie del barril, la presión y flujo son generados por el corte.

Las aletas del tornillo redirigen la mayoría del flujo tangencial de arrastre a una dirección hacia abajo, la porción restante del flujo de arrastre se mueve a lo largo de la dirección del canal, originando una circulación del producto el cual es importante para la transferencia de calor y mezcla, como se aprecia en la figura 9, las direcciones que toma el producto en este tipo de extrusor (Harper, 1989; Fellows, 1994; Mulvaney, 2003; Geankopolis, 1999; Barraza, 1993).

Cuando se genera presión en el tornillo, otro flujo se combina con el flujo de arrastre, debido a que el canal es continuo a lo largo del tornillo, la presión en la descarga hace que el producto quiera fluir hacia atrás, substrayéndolo del flujo de arrastre, por lo tanto la capacidad actual de un extrusor de tornillo único oscila de la mitad de la capacidad volumétrica a mucho menos, a presiones altas. La eficiencia de bombeo está afectada por la geometría del tornillo (espacio entre aletas, profundidad, etc.) y por la viscosidad del material, el tornillo es más efectivo bombeando materiales de alta viscosidad, los cuales experimentan menos presión de flujo hacia atrás.

Figura 9: Dirección del flujo en un extrusor de un solo tornillo (Mulvaney, 2003).



### 5.7.3 Extrusores con tornillos dobles co-rotadores.

La máquina co-rotadora tiene características de los dos diseños previos, y opera de forma intermedia entre ellos, aunque los tornillos se entrelazan no pueden crear cámaras separadas a lo largo del tornillo, cuando las aletas se entrelazan o traslapan, están en ángulos opuestos requiriendo espacio adicional.

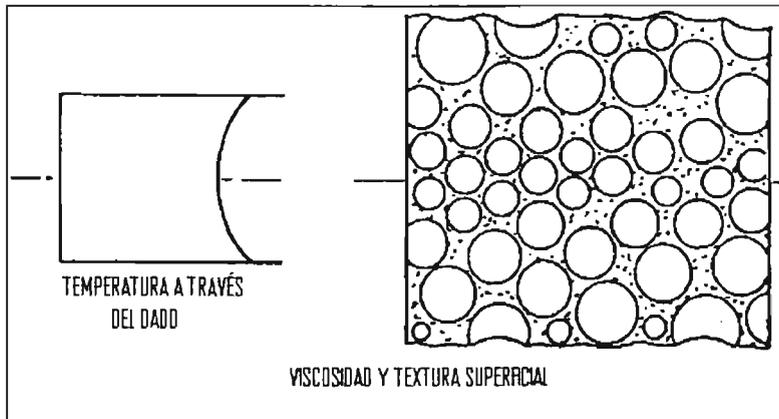
En cambio, hay un canal continuo alrededor de ambos tornillos en el cual ocurre flujo de presión, en el punto de traslape sin embargo, existe una restricción del espacio, esto acentúa al flujo de arrastre, y resiste el flujo de presión, en el punto de traslape el producto es raspado de la superficie de cada canal por la intersección de las aletas, después de lo cual se redistribuye, con esta característica de auto-limpieza, ocurre menos estancamiento y se mejora la transferencia de calor en el extrusor.

La composición de los materiales en crudo usados para la extrusión es además un factor importante para el desarrollo de características del sabor obteniendo una alta calidad de extraído, para el caso particular de la caseína se realizaron pruebas de encapsulación de volátiles de carne, donde la proporción fue de 0-10 g/kg en un extrusor de tornillo doble con un 16 % de humedad a 500 rpm y 185 ° C con un tiempo de residencia de 46 s, la importancia del desarrollo de la caseína en volátiles de carnicos fue que entre mayor cantidad de casina presente se presenta mayor absorción de compuestos volátiles, se determina así que el proceso de extrusión tiene gran afecto sobre los perfiles de sabor de productos alimenticios manufacturados por este método, los factores como la temperatura, contenido de humedad, cizallamiento, presión y los tiempos de residencia son las principales condiciones que influyen en la generación de sabores volátiles en un proceso de extrusión utilizando la caseína como agente encapsulante (Hwang y col, 1997).

## **5.8 Transferencia de calor en los extrusores.**

Las temperaturas más elevadas disminuyen la viscosidad del producto, las variaciones de temperatura en el dado pueden ocurrir bajo las diferentes condiciones de proceso las cuales dependerán de la inyección de vapor y presión que se determinen para cada producto. El enfriamiento o calentamiento del dado es efectuado algunas veces para controlar el proceso y características del producto, debido a que los productos alimenticios son conductores pobres y hay poco tiempo disponible para el equilibrio térmico, esto ocasiona diferencia de temperatura a lo largo del dado. Aún en la ausencia de enfriamiento intencional, el dado es normalmente más frío que el extrusor, esto puede llevar a problemas en diferentes escalas en la viscosidad debido al cambio en la textura que se llevan acabo cuando un producto pierde energía, como se observa en la figura 10, donde se presenta un acoplamiento molecular del producto causando un cambio de textura por las pérdidas de calor (San Martin, 1989; Harper, 1989; Fellows, 1994; Mulvaney, 2003).

Figura 10: Influencia de la temperatura sobre un producto (San Martín, 1989).



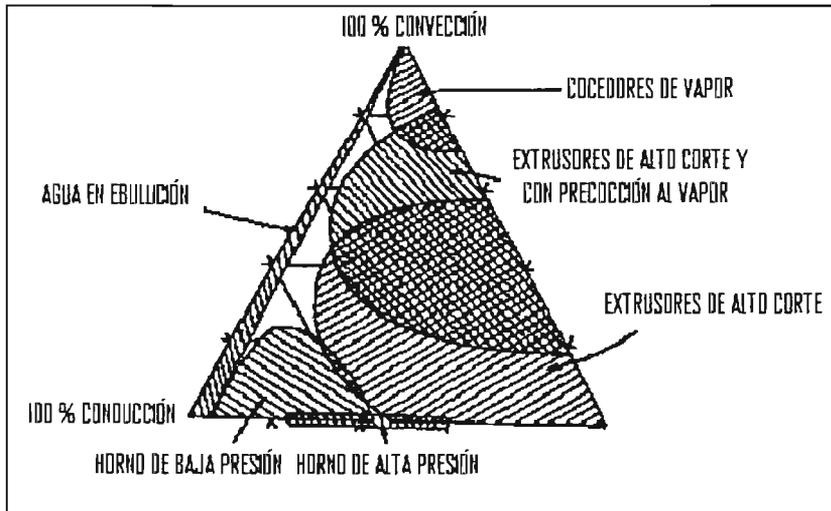
Aún cuando la transferencia de calor no se lleve a cabo, el corte del producto en el dado genera calor, especialmente cerca de la superficie del dado en donde el corte es mayor, los productos alimenticios, conteniendo moléculas de cadena larga, no se comportan de forma ideal y sus viscosidades son usualmente pseudoplásticas, significando que la viscosidad disminuye con el corte. Debido a que el corte varía a través del dado, así también varía la viscosidad, teniendo un efecto en el perfil de velocidad.

### 5.8.1 Cocción.

La cocción por extrusión de productos alimenticios requiere la aplicación de calor por tiempo suficiente para completar las reacciones deseadas, usualmente la gelatinización de almidones, como se discutió anteriormente, el calor puede ser agregado por convección o conducción. En efecto varios procesos de cocción pueden ser caracterizados por cantidades relativas de cada una de estas fuentes utilizadas como muestra la figura 11, aquí se representan los extrusores y el mecanismo de transferencia de calor, en donde los cocedores de vapor son al 100 % convección y los extrusores de alto corte al 80 % es determinado por

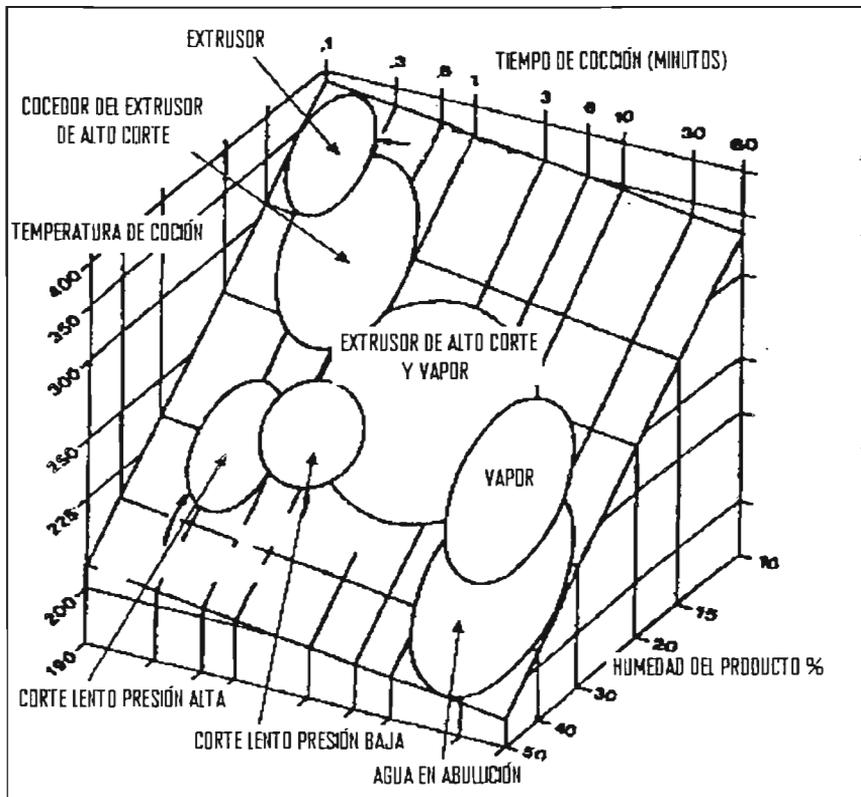
conducción, así mismo los hornos se manejan a un 100 % de conducción (San Martín, 1989; Harper, 1989; Fellows, 1994; Mulvaney, 2003).

Figura 11: Mecanismos de transferencia de calor (San Martín).



La humedad es un factor importante, este posee un efecto de enfriamiento que es un reactor en gelatinización, los otros dos factores más importantes en la cocción, es el tiempo y temperatura. A temperaturas elevadas, menos tiempo de cocción es necesario, el proceso de cocción puede ser caracterizado por su aplicación de temperatura, tiempo y humedad como se observa en la figura 12, donde se determina el tiempo de cocción entre los diferentes equipos de cocción, mostrando que los que cuentan con una alta capacidad de cocción en un intervalo de temperatura de 225 – 400 ° C, son los extrusores (San Martín, 1990).

Figura 12: Relación de la temperatura, humedad y tiempo en el proceso de extrusión (San Martín, 1990).



### 5.9 Variables en un proceso típico de cocimiento por extrusión.

Las variables de proceso de cualquier operación influyen de manera directa en la calidad del producto, es así que las variables importantes en un proceso de extrusión son:

- Velocidad del tornillo
- Perfil del tornillo
- Temperatura

- Humedad
- Velocidad de alimentación (Mulvaney, 2003).
- Tamaño y forma del dado (Fellows, 1994).

Los productos que salen de la alta presión en el extrusor están frecuentemente a temperaturas por encima del punto de ebullición y pueden perder una cantidad substancial de humedad, por evaporación. Aunque esto no es usualmente el propósito principal del proceso de extrusión, es frecuentemente útil en el producto, reduciendo la necesidad de secado mediante medios menos eficientes. Hasta el 8 % de humedad puede ser removido del producto por evaporación conforme sale del extrusor.

Cuando están adecuadamente configurados con elementos para mezclar a lo largo del tornillo, los extrusores son buenos para combinar ingredientes en sistemas viscosos. (Las mezcladoras de masa continuas son extrusores modificados), esto es usualmente bien utilizado en la parte posterior del extrusor en donde las corrientes de líquidos y sólidos se unen, en extrusores de un solo tornillo, un buen mezclado requiere tornillos bien llenos, para desarrollar corte. Los extrusores de tornillo doble son especiales para amasar y crear corte aún cuando los tornillos normales adyacentes carecen de producto, el vapor u otro gas sometidos a una súbita caída de presión puede ser una forma efectiva de remover constituyentes volátiles como lo son sabores no deseados, así los orificios de ventilación y dados sirven para este propósito (Mulvaney, 2003; Loncin, 1966).

Cuadro 3. Variables de operación de cinco tipos de extrusores en alimentos (Rossen, 1963; Loncin, 1966; Fellows, 1994).

Medición	Extrusor de pastas	Extrusor de alta presión	Datos típicos de operación		
			Extrusor de cocción con bajo cizallamiento	Extrusor de collar	Extrusor de cocción con alto cizallamiento
Entrada de humedad (%)	31	25	20-35	12	20
Humedad del producto (%)	30	25	15-30	2	4-10
Temperatura máxima del producto (°C)	52	80	150	200	180
N (r.p.m.)	30	40	60-200	300	350-500
Velocidad del cizallamiento (s <sup>-1</sup> ) en el sinfín	5	10	20-100	140	120-180
Entrada mecánica de energía, kW-hr/kg	0.05	0.05	0.02-0.05	0.13	0.14
Parte de la entrada mecánica de energía disipada como calor, kW-hr/kg	0.03	0.04	0.02-0.03	0.10	0.10

Transferencia de calor, % de las camisas del tambor kW-hr/kg	0.01	0.01	0.04	0.0	0.0-(0.03)
Entrada neta de energía al producto, kW-hr/kg	0.02	0.03	0.06-0.07	0.10	0.10-0.07
Tipos de productos	Macarrón	Cereales, botanas	Productos suaves húmedos, bases para sopas	Botanas infladas	Proteína vegetal texturizada, cereales secos, alimento seco para mascotas

Nota: El presente cuadro tiene la finalidad de presentar las diferentes condiciones de operación en los diferentes extrusores así como la aplicación en la industria de alimento.

### 5.10 Encapsulación por extrusión.

Este proceso involucra el paso de una solución o emulsión del material activo y el agente encapsulante, donde se lleva a cabo la evaporación de agua del agente encapsulante mediante la aplicación de temperatura y alta presión en un dado, resultando la encapsulación del compuesto activo, la extrusión constituye el segundo proceso más usado.

La extrusión y cocción a altas temperaturas y tiempos cortos es el proceso más usado ampliamente en la industria alimentaria para hacer productos tales como cereales para desayuno, comida rápida, sopas, encapsulados, dulces y alimentos análogos.

La retención alta de diferentes sabores, fue obtenida con líquidos con bajo punto de ebullición, el uso de estos compuestos aumenta la retención de sabor dentro de los extruidos, esta puede ser una alternativa de encapsulación para adición externa del sabor, después del secado por aspersión, para la encapsulación de sabores, un proceso típico involucra la mezcla de sabores con jarabe de maíz o almidón modificado caliente, extrayendo la mezcla en forma de esferitas (pellets), dentro de un baño con un disolvente frío como el isopropanol, el disolvente frío solidifica el jarabe en un sólido amorfo, bañando los sabores, los sabores extruidos proporcionan una mayor vida de almacenamiento comparados con los que no son encapsulados, la aplicación de este método en el procesamiento de alimentos incluye bebidas, pasteles, gelatinas, postres, así como numerosos sabores (Kollengode y col, 1997).

### **5.11 Aplicaciones de la extrusión.**

Las aplicaciones presentadas por los equipos de extrusión son amplias en donde ya se empieza incluir la encapsulación de sabores y aceites esenciales, ya que se están reportando resultados aceptables en la investigación de dichos productos, los procesos que se muestran a continuación representan los más importantes ya que estos se encuentran con gran éxito en el mercado internacional,

### **5.11.1 Pan tostado sueco.**

Es la mezcla de la harina de trigo, leche en polvo, almidón de maíz y azúcar, se añade agua y el producto es extruidos a una presión y temperatura elevada, finalmente se tuesta para reducir más el contenido de agua y para producir el cambio del color en la superficie.

### **5.11.2 Hojuelas de maíz.**

Este proceso exige la utilización de maíz triturado grosero ya que es quien determina el tamaño de cada partícula como el producto final. El maíz triturado se somete a una cocción a presión de tres horas, se seca hasta un 21 % de contenido de agua, se macera durante dos horas para homogenizar la distribución del agua residual, se forma las escamas que se tuestan y se rocía con una solución vitamínica

### **5.11.3 Productos de pastelería.**

La HTST para productos gelatinizados para masticar a partir de una mezcla de azúcar, glucosa y almidón, el calor empleado durante el proceso gelatiniza el almidón, disuelve el azúcar y evapora el exceso de agua, que se elimina a vacío del equipo al material plastificado se le añade colorantes y saborizantes, después del mezclado se enfría y se somete al proceso de extrusión (Mulvaney, 2003; Harper, 1989).

### **5.11.4 Efecto sobre los alimentos.**

Las condiciones del HTST, afectan al color de los alimentos, el color de muchos alimentos extruidos se debe a los pigmentos sintéticos adicionados a la materia prima en forma de pigmentos hidrosolubles o liposolubles de emulsiones o lacas. La decoloración del producto debida a la expansión, a un tratamiento térmico excesivo o reacciones que se producen con las proteínas, los azúcares reductores o los iones metálicos constituyen a veces un problema para la

extrusión de algunos alimentos, es por esta razón la importancia de manejar la encapsulación de sabores y colores dentro del mismo proceso, para evitar el uso de lacas y pigmentos artificiales.

La pérdida de vitaminas de los alimentos extruidos depende del tipo de alimento, de su contenido de agua y del tiempo y la temperatura de tratamiento. Sin embargo por lo general, la extrusión en frío permite pérdidas mínimas. Las condiciones en HTST de la extrusión y el enfriamiento rápido del producto a la salida de la boquilla, hacen que las pérdidas vitamínicas y aminoácidos esenciales sean relativamente pequeñas (Mulvaney, 2003; Anaya, 1995).

## CAPITULO VI.

### SECADO POR ASPERSIÓN.

El secado por aspersión es una de las operaciones más importantes en la industria alimentaria, es aplicada en diferentes procesos en donde destaca la encapsulación de sabores y aceites esenciales, por tal motivo es importante el conocimiento de esta aplicación.

#### **6.1 Descripción del Secado por aspersión.**

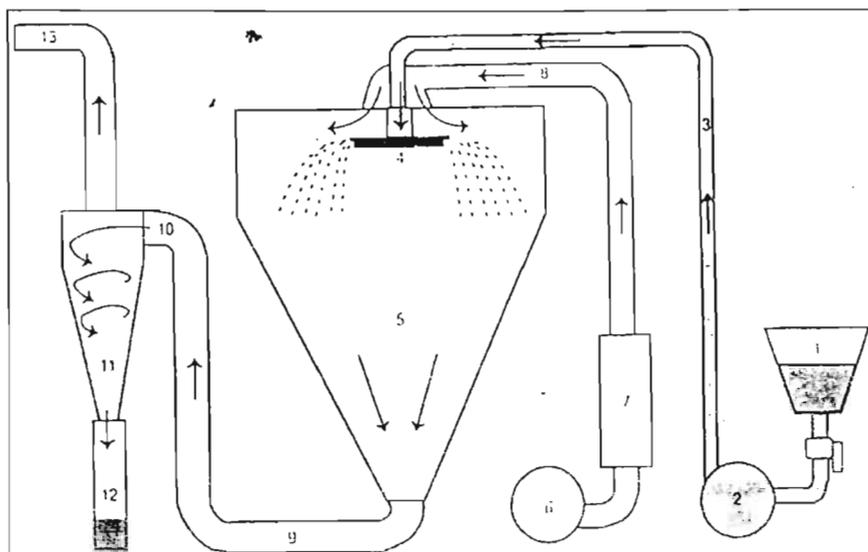
En el proceso de secado por aspersión, el material de alimentación que es un líquido, se atomiza dentro de una gran cámara, en la cual se introduce aire caliente u otro gas, el líquido es rápidamente evaporado, dejando partículas sólidas que deben ser separadas del aire. (Geankopolis, 1999).

Este proceso de deshidratación, que se considera también de encapsulación ya que puede producir partículas que atrapan el material a cubrir. Por definición, corresponde a la transformación de un fluido en un material sólido, atomizándolo en forma de gotas minúsculas en un medio de secado en caliente, la distribución del tamaño de las partículas obtenidas por este método es en general menor a 100  $\mu\text{m}$ , aunque hay que destacar que ello depende de las condiciones del proceso (Casper, 2003).

#### **6.2 Partes básicas de un secador por aspersión.**

Igualmente que el equipo de extrusión, el secado por aspersión consta de partes básicas las cuales se representan en la figura 13, donde cada una de ellas influye en el desarrollo de las partículas que se desean obtener.

Figura. 13. Diagrama de un secador por aspersión: 1, Deposito de producto; 2, Bomba de alimentación; 3, tubería; 4, atomizador; 5, cámara de secado; 6, soplador de aire; 7, calentador de aire; 8, conducto de aire caliente; 9, conducto que lleva una mezcla de producto seco y aire; 10, separador ciclónico; 11, polvo pesado cayendo; 12, tanque del producto; 13, extractor de aire (Malvaney, 2003).



Se usan tres métodos distintos para atomizar la alimentación:

- Boquillas en las cuales la alimentación líquida es forzada a presión a través de orificios pequeños.
- Boquillas en las cuales la atomización es provocada por un fluido secundario como puede ser aire comprimido.
- Discos giratorios

El aire se introduce en la parte superior de la cámara y en otros equipos a través de puertas especiales, en la cámara de tipo cónico habitualmente se imparte al aire un movimiento giratorio mediante deflectores ubicados en la abertura de entrada esto colabora en el mezclado íntimo del aire con el atomizado

además promueve el comportamiento de la cámara como un ciclón al centrifugar el producto contra las paredes de la cámara, de manera que descienda a través de ella y se recoja en el fondo del cono (Mulvaney, 2003).

En algunos diseños todo el producto abandona la cámara de secado junto con el aire para ser recolectado en separadores, para este propósito se emplea habitualmente los ciclones y filtros de saco, existen dos tipos de secadores por aspersión como se muestran en las figuras 14 y 15, donde se representan sus componentes importantes del equipo, hay que recordar que la diversidad de equipos es debido a que no todos los productos a obtener se realizan con éxito en el mismo equipo.

Figura 14. Secador de aspersión. Tipo I (Mulvaney, 2003).

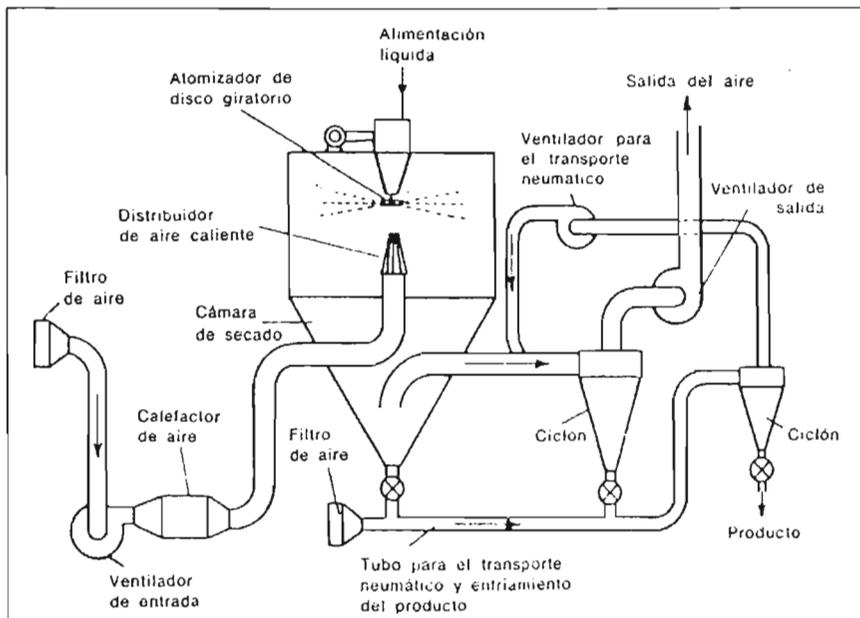
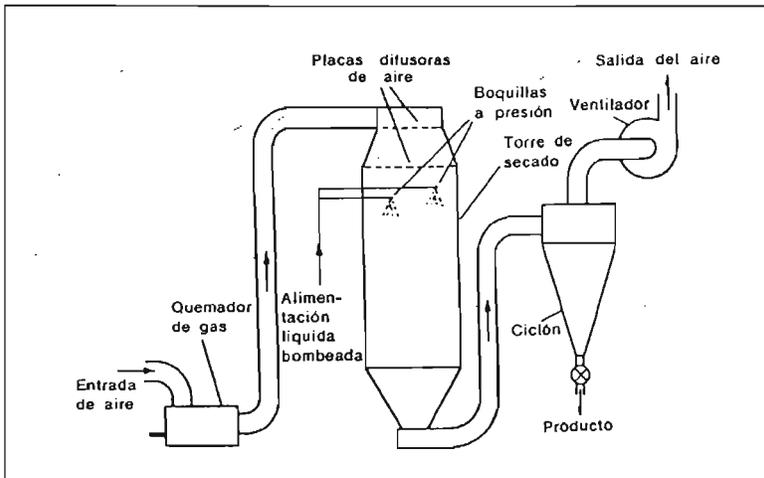


Figura 15. Secador de aspersión. Tipo II (Mulvaney, 2003).



Muchos saborizantes líquidos de los alimentos son volátiles y químicamente inestables en presencia del aire, luz, humedad y altas temperaturas, así la microencapsulación ha llegado a ser una atractiva aproximación a transformar los saborizantes líquidos de los alimentos en estables y fluidos libres en polvo, los cuales son fáciles de manejar e incorporarlos dentro de un sistema alimenticio seco, en el estado de dilución es más conveniente mezclar los materiales de sabor uniformemente con los sólidos del alimento, varios métodos de encapsulación han sido reportados donde el secado por aspersión es uno de los mejores y más económicos.

Este proceso suministra una alta retención de sabores durante el secado produciendo un producto en polvo con estabilidad completamente satisfactoria, la influencia de las variables de proceso en la retención de los saborizantes han sido ampliamente estudiados, donde los componentes más representativos estuvieron altamente influenciados por la velocidad del secado en la rápida formación de gotas en la superficie de la capa, este efecto pueden ser logrado por un incremento en la temperatura del aire o por el incremento de la

concentración de sólidos en la emulsión o solución del alimento. Estos son en general los factores limitantes para muchos tipos de secado y sistemas de atomización.

El proceso de secado por aspersión con aire caliente, muestra como una alta y buena velocidad del aire en la sección que convergen de la cabeza atomizadora del secador y simultáneamente secando las gotas resultantes del atomizador, la vibración y movimiento turbulento rotacional de las gotas causados por el impacto de un torbellino de aire caliente durante la atomización aumenta el coeficiente de transferencia, por su parte el tiempo de secado es reducido y es posible usar 450°C de temperatura a la entrada del aire, además este sistema de atomización es capaz de atomizar líquidos con viscosidad relativamente alta permitiendo el incremento del contenido total de sólidos en el alimento. Estas características podrían probablemente ser favorables para la encapsulación efectiva de los componentes volátiles (Krasaekoopt y col, 2003).

Muchos productos han estado en contacto con el aire por corto tiempo durante el proceso de secado, usando altas temperaturas de aire (300-400 °C) sin ningún efecto adverso dentro de las propiedades químicas, las soluciones fueron atomizadas arriba del 60% de la concentración total de sólidos, en este rango de concentración, la sustitución de la goma arábica por la maltodextrina de bajo costo fue posible logrando 84% de retención de volátiles es así que la técnica podría ser usada eficientemente para encapsular sabores sensibles (Kenyon, 1994).

### **6.3 Temperatura del aire de entrada y su control.**

Es conveniente operar con una temperatura relativamente elevada en el aire de entrada aproximadamente de 250° C para estimaciones preliminares, en los casos en que es fundamental obtener una temperatura de salida muy baja, puede ser necesario disminuir la temperatura de entrada del aire, una vez que de otra manera, el agua evaporada puede alcanzar el aire de salida con el resultado de la aparición de condensaciones y pérdidas en las últimas etapas del secado.

En un secador por aspersión que opera a caudal y temperatura de entrada del aire constante se puede variar la temperatura del aire de salida variando el caudal de alimentación del líquido, con lo que generalmente se obtienen cambios en el secado del producto. Si la temperatura de salida es muy baja el producto saldrá muy húmedo, no es conveniente una temperatura de salida muy alta, puesto que se pierde calor y capacidad de secado además de poderse degradar el material si este es termosensible.

### **6.4 Caudal del aire.**

Un caudal grande de aire produce una gran capacidad de evaporación, sin embargo, cuando la velocidad del aire es grande se obtienen tiempos de contacto cortos y para obtener un secado satisfactorio es necesario limitar en cierta medida en el caudal del aire. Los tiempos de detención normales en un secador por aspersión son obtenidos en base al volumen de la cámara y al flujo del aire y que generalmente el tiempo de retención es alrededor de un minuto.

Para aumentar el rendimiento térmico del secado puede ser ventajoso en ciertos casos calentar el líquido original por evaporación, lo cual es una operación térmicamente más eficiente y menos costosa, también puede ser ventajoso precalentar el líquido de alimentación antes de atomizarlo en el secador, con ello

se obtiene mejoría y se aumenta levemente la capacidad del secador (Moss, 1979).

En ciertos casos se pueden efectuar las operaciones de secado-mezclado simultáneo de sustancias distintas, esto es posible cuando no es deseable mezclar los líquidos de alimentación y se puede conseguir utilizando tuberías distintas en la alimentación del atomizador o utilizando más de un atomizador en la cámara de secado, es importante remarcar que las variables presentadas en el cuadro 4, no pueden ser olvidadas para cuando se realice hacer una encapsulación mediante este proceso ya que el tamaño de partícula en un encapsulado es una característica importante.

Cuadro 4. Variables y factores que intervienen en el secado por aspersión (Nakakawa, 1981, Santillan, 1990).

Variable incrementada	Factores incrementados	Factores disminuidos
Temperatura de aire de entrada en la cámara	Caudal de alimentación Velocidad de producción Tamaño de partículas	Densidad aparente
Temperatura de aire de salida	Degradación térmica	Caudal de alimentación Velocidad de producción Tamaño de partícula
Flujo volumétrico del gas	Caudal de alimentación Velocidad de producción Tamaño de partícula	Tiempo de residencia
Concentración de la alimentación	Velocidad del producto Densidad aparente	Contenido de humedad Tamaño de partícula

## 6.5 Ventajas y desventajas del secado por aspersión.

Las ventajas y desventajas representadas son aplicables en su mayoría a los encapsulados por este proceso, por tal motivo es importante remarcarlos a continuación.

### 6.5.1 Ventajas.

- Puesto que los tiempos de secado son muy cortos, muchos materiales termosensibles pueden ser secados satisfactoriamente, mientras otros tipos de equipo de secado resultarían inadecuado (Moss, 1979).
- El material no está en contacto con las paredes del equipo hasta que este seco y además, las paredes se encuentran aproximadamente a la temperatura del aire de salida por lo tanto se reducen los problemas de pegado y corrosión en el equipo.
- El producto es obtenido como un polvo fluido finamente dividido y en forma fácilmente soluble en un disolvente apropiado (Geankopolis, 1999).
- El tamaño de partícula de algunos productos es ajustable dentro de ciertos límites, variando las condiciones de atomización.
- El proceso es adecuado para el secado continuo de cantidades relativamente grandes de material (Mulvaney, 2003).
- En ciertos casos el proceso puede eliminar la necesidad de filtración o molienda, aunque en forma alternativa, estos pueden resultar necesarios.
- En ciertos casos, donde es conveniente obtener una baja densidad aparente del producto, es ventajoso el secado por spray.
- Las condiciones de limpieza y semiesterilidad son más fácilmente obtenidas (Fellows, 1994).

### 6.5.2 Desventajas.

- El calor requerido por unidad de peso del producto es alto.
- El contenido de humedad en la alimentación puede ser grande comparado con la mayor parte de los otros tipos de secadores.
- El rendimiento térmico es bajo debido a las restricciones en la temperatura de entrada del aire y a la temperatura relativamente alta del aire de salida (Geankopolis, 1999).
- La baja densidad aparente del producto puede ser una desventaja (sin embargo el secado por aspersión no produce necesariamente un producto con baja densidad aparente y no se debe suponer que en todos los casos ocurre así).
- El costo del equipo es alto con respecto del tonelaje anual de producto secado particularmente en el caso de equipo de pequeña capacidad (Moss, 1979).
- La recuperación en los gases de salida de producto que forma polvo puede ser problemática o puede necesitar un equipo auxiliar costoso (Mulvaney, 2003).
- No se puede usar en secado por aspersión con productos tóxicos a menos que se tomen cuidados especiales.
- Todas las impurezas de la alimentación quedan retenidas en el producto (Fellows, 1994).

## 6.6 Características de los productos obtenidos.

El volumen específico del producto acabado tiene una importancia considerable desde los puntos de vista técnico y comercial, los principales factores que influyen sobre el volumen específico son por orden de importancia.

- La concentración del producto a deshidratar; cuanto más diluida este la solución que se alimenta al secador tanto mayor es el volumen específico, esta regla es general y parece no tener excepciones
- La dimensión de las gotitas; cuanto menores son las gotitas tanto más elevado es el volumen específico, en ciertos casos existirá una relación lineal entre la velocidad de un dispersor rotativo y un volumen específico.
- La temperatura del aire; cuando aumenta la temperatura del aire aumenta igualmente el volumen específico, parece ser que es la temperatura del aire que entra en contacto con las gotitas al inicio del secado lo que influye especialmente sobre el volumen específico.

## 6.7 Encapsulación por secado por aspersión.

El secado por aspersión es probablemente la técnica del encapsulamiento mas antigua y común en la industria de los alimentos para la preparación de aditivos secos y estables, el proceso es económico, flexible y adaptable, fácilmente disponible en cuanto a equipo de proceso y que produce partículas de buena calidad.

El proceso consiste de la preparación de la emulsión o suspensión del material a encapsular en una solución de encapsulante, la atomización y la deshidratación de las partículas atomizadas, la adecuada selección del atomizador y el agente encapsulante, son factores críticos, una de las grandes ventajas de este proceso, además de su simplicidad, es que es apropiado para materiales sensibles al calor, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto 5 a 30 s.

Los encapsulantes o materiales formadores de pared más utilizados para este método han sido, almidón, maltodextrinas, jarabes de maíz, ciclodextrinas, carboximetilcelulosa y sus derivados, así mismo las gomas arábica, mezquite, como los alginato de sodio, las ceras, parafinas, grasas, las proteínas como gelatina, proteína de soya, caseinatos, suero de leche y materiales inorgánicos sulfato de calcio, silicatos, sulfato ferroso, vitaminas, minerales o acidulantes. Es importante mencionar que el proceso de secado por aspersión se utiliza como auxiliar para la recuperación de microcápsulas producidas por otros procesos como los de coacervación (Shepherd, 2000; Sheu, 1995; Soto, 1995).

Hay nuevos acarreadores, incluyendo coloides y gomas naturales, para la obtención de mezclas que permiten incrementar la retención de compuestos volátiles y la vida de anaquel de las microcápsulas, además han conseguido la retención de aceites esenciales de naranja como la disminución de la oxidación al usar goma arábica (Shepherd, 2000).

Para la preparación en seco, los aditivos estables y sabores involucran 2 pasos en el procedimiento:

- 1) La emulsificación o solución de un material con núcleo tal como un lípido con una densa solución de material de pared tal como una proteína, goma vegetal, maltodextrina o almidón modificado.
- 2) Atomización y secado de la emulsión o solución.

Para obtener el efecto más grande de estos ingredientes hay que hacer una selección adecuada de los materiales de pared que es de máxima importancia, así que esto "es un buen comienzo" con las propiedades funcionales deseadas en el producto final, tal como la estabilidad contra la oxidación, facilidad de manipulación, solubilidad mejorada, liberación controlada y el incremento de la vida de anaquel.

Los materiales de pared en el secado por aspersión para la encapsulación deben tener una alta solubilidad en agua, poseer una baja viscosidad y alta concentración, ser un emulsificante efectivo y tener la capacidad de formar películas.

La selección de materiales de pared para la encapsulación por secado por aspersión han involucrado ensayos y procedimientos erróneos, en los cuales las cápsulas son formadas y después son evaluados para la eficiencia de la encapsulación, la estabilidad bajo diferentes condiciones de almacenamiento, el grado de protección suministrado al núcleo del material, observando la superficie a través de un microscopio, entre otras evaluaciones. Estos procedimientos involucran un enorme rango de condiciones que son costosos y consumen mucho tiempo.

Por ejemplo; no todos los materiales son convenientes para la encapsulación de lípidos cuando se usan solos, así que esto es deseable para determinar una combinación óptima de materiales que suministraran una excelente capacidad emulsificante y barreras a la difusión del oxígeno. El caso de los biopolímeros de carbohidratos naturales tales como la goma arábica (GA), goma mezquita (MG) y maltodextrina (MD). Visto que el MD suministra una buena estabilidad oxidativa para encapsular aceite, esto exhibe la pobre capacidad emulsificante, la estabilidad de la emulsión y la baja retención de aceite.

GA ha sido tradicionalmente el material de elección para la encapsulación de lípidos debido a estas características eficientes de emulsificación y suministrar la capacidad oxidativa a los aceites, sin embargo el suministro de GA es corto y el costo elevado pasando por la industria para buscar materiales alternativos para la encapsulación tal como MG que tiene una estructura similar a la GA, pero ha sido reportado como la existencia de un mejor agente emulsificante de aceite de cáscara de naranja y de chile o de otro modo mezclar varios de aquellos materiales en orden para obtener un resultado superior.

Se ha reportado que una mezcla MD-GA en una escala de 1:2.3 ha logrando altos niveles de retención del aceite de cardamom. Otro estudio reporto que las mezclas GA/MD en una escala 1:1 produjo características semejantes en el aceite de naranja en polvo con casi la misma estabilidad a la oxidación que la goma acacia pura como transportador.

MG encapsula al 80.5% de el aceite de la cáscara de naranja comparados al 93.5% por la GA pero de un 60 - 40% (Pérez y col, 1997).

## **6.8 Aplicaciones del secado.**

La aplicación de las cápsulas desarrolladas por el método de secado por aspersión han tenido un desarrollo, que ha ido desde la manufactura del papel copia sin papel carbón hasta, insecticidas, encapsulación de sabores y aceites esenciales en la industria alimentaria.

Por ejemplo en la industria farmacéutica ha teniendo una aplicación amplia basándose en la inalterabilidad de las propiedades del material encapsulado para eliminar incompatibilidades entre materiales, evitando así reacciones entre los componentes del medicamento.

En las aplicaciones más comunes del secado por aspersión por congelamiento, incluye el secado de sopas y los alimentos con altos contenidos de grasa, las microcápsulas producidas por enfriamiento o congelamiento son insolubles en agua debido a su cobertura de lípidos por lo que se encapsulan materiales solubles como enzimas, vitaminas solubles en agua y acidulantes.

Las coberturas empleadas usualmente son aceites vegetales en el caso de aspersión por enfriamiento o aceite vegetal hidrogenado para la aspersión por congelamiento puede encapsular líquidos sensibles al calor y materiales que no son solubles en disolventes convencionales.

Pueden ser secadas las soluciones, emulsiones, suspensiones, en algunos casos pueden ser secados con éxito materiales granulares como son las tortas de los filtros.

Estos procesos han ido incrementándose en la industria de los alimentos debido a la protección de los materiales encapsulados de factores como calor y humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad, la encapsulación puede mejorar el sabor y la estabilidad de medicamentos y aditivos (saborizantes, colorantes, aceites esenciales), además las microcápsulas han sido también barreras contra malos olores y sabores; las microcápsulas ayudan a que los materiales frágiles resistan las condiciones de procesamiento y empaquetado mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos

En la encapsulación de sabores, se reduce su volatilidad o previene reacciones indeseables con otros componentes del alimento aun cuando se almacene por un periodo prolongado, se recomienda utilizar materiales solubles en agua como almidones y dextrinas; en el caso de encapsulación de vitaminas, minerales, éstos son liberados después de haberse consumido (Santillán, 1990; Moss, 1979; Duarte, 1977; Mcnamee, 2001).

## DISCUSION.

Los almidones modificados, proteínas y gomas naturales, se encuentran aplicando como agentes encapsulante en procesos tan comunes en la industria de alimentos como son; el secado por aspersión y la extrusión, que en su conjunto están proporcionando productos de una alta calidad, tanto en la industria alimentaria como la farmacéutica.

Los agentes encapsulantes como las proteínas, carbohidratos, gomas naturales, aceites hidrogenados, ceras, maltodextrinas, almidones y gomas naturales, representan el vehículo donde se depositara el compuesto activo, las gomas naturales y los almidones modificados son los más utilizados en los procesos de extrusión y secado por aspersión, estos componentes deben de contar con características específicas de formación de película o pared la cual proporcionara la encapsulación uniforme, la aportación de características físicas como la viscosidad, solubilidad y la propia estabilidad en el producto así como la formación de la emulsión o solución según sea el caso.

Se ha reportado que la combinación de proteína como protein isolate (Wpi) con las maltodextrinas y la goma arábica proporcionan una estabilidad en el proceso de secado por aspersión y la propia estabilidad del producto, es importante mencionar que tanto los agentes encapsulantes adecuados como los compuestos activos dan un impacto importante en la economía mundial, es así que la encapsulación ha surgido para dar respuesta a la vida de anaquel, reducción de espacios y costos de los productos (sabores, colorantes y aceites esenciales).

La versatilidad de la aplicación de la encapsulación en los colorantes, sabores y aceites esenciales dependen del proceso en el cual se encapsulan así como del agente encapsulante, para la encapsulación de carotenoides el secado por aspersión es el proceso idóneo y que los agentes encapsulantes pueden variar entre almidones modificados, maltodextrinas, goma arábica, que pueden aumentar la estabilidad del producto en consecuencia vida de anaquel.

Hoy en día la industria alimentaria en particular la que se dedica al desarrollo de aditivos a empleado la facilidad que tienen los almidones para desarrollarse de forma específica y establecer propiedades físicas que el producto necesite para su mejor apariencia, estabilidad, sabor y textura del producto final, un ejemplo relevante es el almidón conocido comercialmente como Capsul, donde su principal característica funcional es la formación de película o pared, estabilidad del sistema de emulsión y no presenta problemas en el proceso de encapsulación por medio de secado por aspersión, por tal razón es uno de los más recomendados.

Las principales gomas naturales que destacaron en la presente investigación por sus propiedades físicas fue la goma arábiga y actualmente la mezquite, ambas proporcionan características similares como la solubilidad en agua, estabilidad en el sistema de emulsión así mismo la más importante que son formadoras de película o pared de la cápsula llegando a encapsular componentes como aceites esenciales y agentes volátiles con alta aceptabilidad y estabilidad en el mercado, cabe mencionar que la investigaciones realizadas por los diferentes autores citados se empiezan a inclinar por la goma mezquite que independientemente de aporta las características antes mencionadas su costo es menor.

Los elementos principales que se deben de manifestar en los productos encapsulados es el componente activo ya que de éste dependerá el funcionamiento o la aplicación, así mismo el tamaño de la cápsula la cual dependerá del proceso y el agente encapsulante además de la pared la cual resguarda el compuesto activo como la solubilidad del encapsulado, es importante recordar que la permeabilidad que presente el encapsulado determina la pérdida del material encapsulado, en consecuencia a esta propiedad del encapsulado el almacenamiento de estos productos debe ser considerado como un punto crítico ya que la temperatura, humedad, presión, luz y radiación afecta de manera directa el compuesto activo del encapsulado.

Hay que mencionar que la etapa de disolución es importante debido a que en esta etapa intervienen fuerzas de cizalla, reacciones química o biológicas las cuales se llevaran acabo de manera satisfactoria por el tipo de agente encapsulante como del compuesto activo por ejemplo: si tenemos un sabor encapsulado para la preparación de una agua el fenómeno que se presentara para la dispersión del sabor son las fuerzas de cizalla.

Se debe también considerar que para la obtención de un producto donde intervino un encapsulado como materia prima debe de conocerse el contenido del compuesto activo, el tamaño del encapsulado, como la velocidad en que el principio activo será liberado.

Los accesorios para la aspersion de la emulsión o solución importantes en la encapsulación mediante el secado por aspersion son:

- Boquillas donde el líquido es forzado a presión.
- Boquillas que permitan una combinación de solución o emulsión y aire.
- Discos giratorios los cuales permiten la salida del fluido en movimiento.

La operación de secado por aspersion es prudente para transformar los saborizantes líquidos en finas partículas donde estas proporcionan una ventaja en el transporte y el espacio en almacén.

Como en todo proceso se debe realizar en etapas las cuales determinan la obtención del producto con buena calidad, es así que la temperatura de entrada y salida del aire debe ser controlada como punto crítico del proceso. En cuanto mayor caudal de aire caliente habrá mayor capacidad de evaporación, es decir que es necesario limitar o controlar la medida del caudal en función al producto que se desee obtener, también es importante la evaporación previa que es una etapa opcional ya que en algunos casos se realiza si se quiere aumentar el rendimiento térmico que pudiese ser ventajoso en ciertos casos.

Es así que un proceso sencillo de migración de agua se convierte en la primera técnica de encapsulación proporcionando ventajas múltiples como la utilización de materiales termosensibles, determinar el tamaño de la partícula y las condiciones de limpieza que hoy por hoy se ha convertido en puntos críticos en la industria procesadora de alimentos.

En contra parte las desventajas también representa un punto crítico, la cantidad de calor requerido lastima la economía de la empresa, es por esta razón que cuando se quiere disminuir el gasto hay que inyectar la solución o emulsión con una temperatura elevada.

Las aplicaciones del secado por aspersion a diferencia de la extrusión, ha reportado con éxito en sistemas como las emulsiones y las soluciones, la encapsulación no podría ser la excepción ya que basta anexar un agente encapsulante y un compuesto activo en la solución o emulsión para obtener partículas esféricas con un compuesto activo en el centro.

La extrusión con cocción a elevada temperatura en corto tiempo, se coloca como la segunda operación en la encapsulación debido a que esta realiza varias operaciones a la vez como la cocción, formación, texturización, y deshidratación además de aportar una versatilidad en la reducción de los costos independientemente de ser un proceso automatizado.

Desafortunadamente no se ha difundido de manera importante, ya que solo se observo en la revisión bibliográfica que es aplicable para la encapsulación de sabores, es así que se debe de hacer un estudio más afondo sobre la encapsulación mediante este proceso, ya que presenta ventajas importantes.

## CONCLUSIONES.

La aplicación de los agentes encapsulantes ha aumentado en la industria alimentaria especialmente en la encapsulación de sabores debido a que la goma mezquite esta reportando funcionalidad al proceso de encapsulación de sabores a bajo costo, los almidones modificados por ser diseñados para un proceso en específico los cuales previene reacciones indeseables con otros ingredientes, las características importantes que presentan los agentes encapsulantes es formar emulsiones y soluciones estables, formadoras de película la cual tiene la función de proteger al encapsulado o compuesto activo, la permeabilidad de la pared se considera factor crítico en la encapsulación de sabores debido a que en la necesidad de una baja permeabilidad, la cual previene la perdida de compuesto activo o material nuclear.

La estabilidad del encapsulado y la vida de anaquel del mismo, dependen del tipo de agente encapsulante, los más comunes son; almidones modificados, gomas naturales, lípidos y proteínas debido a que forman una red interna la cual encapsula.

La ventaja que proporcionan las gomas naturales y almidones modificados, es que se pueden usar a altas concentraciones lo que trae como consecuencia la aparición de viscosidad en donde este tipo de compuestos no representa ningún problema para ser utilizados para la encapsulación de sabores, olores y hasta cítricos por ejemplo, encontramos el almidón de papa como las maltodextrinas, la goma arábica y recientemente la mezquite, las cuales tienen la propiedad de poseer enlaces moleculares que no reaccionan con el agente activo además de proporcionar redes de baja porosidad, así mismo la forma física de la cápsula la proporciona el agente encapsulante en función al tipo de compuesto, concentración y proceso de encapsulado en donde destacan el secado por aspersión y recientemente la extrusión.

Es importante mencionar que el tipo de atomizador depende del tipo de producto a encapsular, así mismo de la emulsión o solución debido a la diferencia de viscosidad que estas presentan, ambas son fáciles de atomizar en la cámara donde se introduce aire caliente al líquido.

Los factores importantes en el secado por aspersión, son la velocidad de secado debido a que a mayor velocidad se presenta un menor tiempo de contacto y por consecuencia menor cantidad de agua evaporada, se han determinado tiempos de secado de hasta 1 min dando como resultado productos de alta calidad, debido al gasto energético que esto representa, es recomendable que la temperatura de entrada sea mayor ya que esta es la que sede todo el calor para deshidratar la solución o emulsión, de tal manera que la temperatura de salida debe ser menor ya que se presentan pérdidas de calor considerables.

Este proceso se considera el principal en la encapsulación de sabores ya que puede producir partículas que atrapan al material a encapsular, la adecuada selección del atomizador y agente encapsulante es crítico debido a la naturaleza del proceso, la sensibilidad al calor como el tiempo de residencia así como el agente encapsulante como son los almidones modificados, gomas naturales, este proceso a desarrollado papel copia sin carbón hasta los insecticidas de la vida moderna.

La extrusión aunque es el segundo proceso de encapsulación, falta por hacer más estudios específicos sobre la aplicación de productos que no sean saborizantes.

Su proceso fundamental consiste en la generación de presión la cual mueve al producto como un líquido a través de una resistencia, los factores a considerar dentro de esta operación es la velocidad de rotación del tornillo, las temperaturas seccionadas dentro del equipo, la velocidad de secado del material, a que estas características en su conjunto proporcionan el encapsulado.

Las temperaturas que se alcancen en el equipo, contenido de humedad del producto a extruir, la presión y el tiempo de residencia son las principales condiciones que influyen en la encapsulación de sabores en un proceso de extrusión, esto involucra el paso de una emulsión o solución a través de una alta presión, es así que su aplicación ha dado productos como las sopas instantáneas, dulces y cereales, su gran desventaja es que de esta operación se presentan pérdida de vitaminas y desnaturalización de proteínas, solamente cuando esta operación se realiza en frío no presenta tales características desfavorables para el alimento.

La caracterización de las cápsulas obtenidas por secado o extrusión deben ser controladas mediante ensayos de calidad, se reporta que para el análisis morfométrico la microscopía electrónica de barrido (SEM), detecta agregación de las partículas, tamaño así como la estructura interna de las mismas, el almacenamiento de las cápsulas deben de protegerse de la temperatura, humedad, presión, y luz debido a las reacciones de oxidación, humectación y volatilización del encapsulado.

Es así que el conjunto de agentes encapsulantes, compuesto activo y procesos de encapsulación están empezando a revolucionar la industria de alimentos, obteniéndose ya aplicaciones en la rama de las botanas, panadera y saborizantes en polvo principalmente.

Así que es posible hacer un pan con formulación estándar y mediante la aplicación de los diferentes sabores encapsulados producir muchos más, un queso con color diferente al sabor mencionado en la etiqueta y por que no realizar una línea de encapsulación que realice un producto terminado, sin acudir a operaciones secundarias como anexar color o sabor teniendo el producto intermedio, realizar una pasta extruída con sabor a pollo y color característico en una sola operación.

## REFERENCIAS CONSULTADA.

1. ANAYA Cesar, CID Héctor y VILLA José de Jesús. Microencapsulado de una emulsión múltiple de colorante de betabel en oleoresina de flor de cempasúchil y su bioasimilación en *Penaeus Vannamei*. Tesis (Ingeniería en alimentos). México, Universidad Autónoma Metropolitana, 1-36 *idem* 65 p. 1995.
2. ANONIMO, Catálogos de almidones y productos, cortesía MAKIMAT, ARANCIA 2003.
3. AYALA Ana, Montes Marlen. Almidones aniónicos y catiónicos. Tesis (procesamiento de cereales y oleaginosas). México Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2004.
4. BALAZ, Anna C y STROEVE, Pieter. Macromolecular assemblies in polymeric system. Washington D.C, ACCS Symposium series 493, 218-225 p. 1992.
5. BARRAZA Edith. Proceso de extrusión: una alternativa tecnológica aplicada en la elaboración de productos alimenticios. Tesis (Ingeniería en alimentos). México, Universidad Nacional Autónoma de México, 14-28 p. 1993.
6. BERISTAIN, C.I. GARCIA, H.C. and VERNOR-CARTER, E.J. Spray-dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*Prosopis juliflora*) gum. Lebensm.-wiss.u.-Technol. 34, 398-401, 2001.
7. CASPER D, GF was first in encapsulation, Food Technology, 57 (1), 89-89, 2003.
8. CHATTOPADHYAYA, Sumana, SINGHAL, Rekha, and KULKARNI, Pusha R. Oxidised starch as gum Arabic substitute for encapsulation of flavours. Carbohydrate polymers, 37, 143-144, 1998.
9. CHEHTEL, Jean. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. España, Acribia, 81-87 *idem* 118-129 *idem* 229-233 p. 1976.

10. DUARTE, M.G. BRUNNEL, D. GIL, M.H. and SCHACHT, E. Microcapsules prepared from starch derivatives. Journal of materials science, 8, 321-323, 1997.
11. FELLOWS, Peter. Tecnología del procesado de los alimentos principios y practicas. España. Acribia, 273-284 p. 1994.
12. GARZON, G.A., GAINES, C.S., MOHAMED, A. and PALMQUIST, D.E. Effect of oil Content and pH on the Physicochemical Properties of Corn Starch-Soybean Oil Composites. 80, 154-158. 1998.
13. GEANKOPOLIS, Christie, J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. México, Continental. 583-584 p. 1999.
14. GRATTARD, N. SALAUN, F. CHAMPION, D. ROUDAUT, G. and MESTE, Le. Influence of physical state and molecular mobility of freeze-dried maltodextrins matrices on the oxidation rate of encapsulated lipids. Journal of food science, 67(8), 3002-3010, 2002.
15. HARPER, J. M, MERCIER, C y LINKO, P. Extrusion cooking. Minnesota USA, American association of cereal, 247-398 p. 1989.
16. HEINIO, Raija-Liisa, KATINA, Kati, WILHELMSON, Annika, MYLLYMAKI, Olavi, RAJAMAKI, Tiina, LATVA-KALA, Kyosti, LIUKKONEN, Kirsi-Helena, POUTANEN, Kaisa. Relationship between sensory perception and flavour-active volatile compounds of germinated, sourdough fermented and native rye following the extrusion process. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 36, 533-545. 2003.
17. HERNANDEZ Blanca, LEIVA Gabriela, ZAANZ Andrés y SANCEZ Juan Carlos. Aceites esenciales de ajo y cebolla extraída mediante extracción de vapor y microencapsulado en almidones modificados. Tesis (Ingeniería en alimentos). México, Universidad Autónoma Metropolitana, 1998.
18. HWANG, Chin-fa, Riha, III, E, William, JIN, Baoping, V, Mukund V, HARMAN, G. Thomas, DAUN, Henryk, and HO, Chi-tang. Effect of cysteine addition on the volatile compounds released at the die during twin-screw extrusion of wheat flour. Lebensm.-wiss.u.-Technol. 30, 411-416, 1997.

19. JOLLY, M.S., BLACKBURN, S, and BECKETT, S.T. Energy reduction during chocolate conching using a reciprocating multihole extruder. Journal of Food Engineering. 59, 137-142. 1994.
20. KENYON MM, Modified starch, maltodextrin and corn syrup solids as wall materials for food encapsulation, ACS Symposium series, (590), 42-50 1995.
21. KOLLENGODE, Anantha N.R. and MILFORD, A. Hanna. Effect of Low Boiling Point Liquids on Volatile Retentions in Starch Extrudates. Lebensm.-Wiss. u.-Technol, 30, 814-818. 1997.
22. KRASAEKOOPT, Wunwisa, BHANDARI, Bhesh and DEETH, Hilton. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. International Dairy Journal. 13, 3-13. 2003.
23. LI, L.C. and PECK, G.E. The effect of moisture content on the compression properties of maltodextrins. Pharm pharmacol, 42, 272-275, august 10 1989.
24. LONCIN, Marcel. Tecnología de la industria alimentaria. Madrid, Dossat, 1966. 614-632 p.
25. MOSS, A.A.H y NONHEBEL, G. el secado de sólidos en la industria química. Barcelona, Reverte, 295-306 p. 1979.
26. McPHERSON, A.E. and SEIB, P.A. Preparation and properties of wheat and corn starch maltodextrins with a low dextrose equivalent. Cereal chemistry, 74 (4), 424-430, 1997.
27. McNAMEE, Brian F., O'RIORDAN, E. Dolores and O' SULLIVAN, Michael. Effect of partial Replacement of Gum Arabic with carbohydrates on Its Microencapsulation Properties. Journal Agriculture Food Chemical. 49, 3385-3388, 2001.
28. MERCIER, C., CHARBONNIERE, R., GREBAUT, J, and DE LA GUERIVIERE, J.F. Formation of Amylose-Lipid Complexes by Twin-Screw Extrusion Cooking of Manioc Starch. Institute National de la Recherche. 57(1), 4-9. 1980.

29. MOLLAN, Matthew, J. and CELIK, Metin. The effects of humidity and storage time on the behavior of maltodextrins for direct compression. International journal of pharmaceutics. 114, 23-32, 1995.
30. MULVANEY, Steven J. SHRIK y RIZVI, Syed S. Ingeniería de los alimentos operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. México, Limusa, 205-212 *idem* 268-279 p. 2003.
31. NAKAKAWA Maria del Carmen. Microencapsulación en cosméticos. Tesis (Maestría en microencapsulación). México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1981. 4-13 p. 1981.
32. ONGEN, G. YILMAZ, G. and JONGBOOM, R.O.J. Encapsulation of  $\alpha$ -amylase in starch matrix. Carbohydrate polymers, 50, 1-5, 2002.
33. PEDROZA-ISLAS, R., ALVAREZ-RAMIREZ, J. and VERNON-CARTER, E.J. Food Research International. 33, 119-124. 1999.
34. PEREZ-ALOSO, C., BAEZ-GONZALEZ, J.G., BERISTAIN, C.I., VERNON-CARTER, E.J. and VIZCARRA-MENDOZA, M.G. Estimation of the activation energy of carbohydrate polymers blends as selection criteria for their use as wall material for spray-dried microcapsules. Science Direct. 53, 197-203. 1997.
35. ROSSEN, J. L. y Miller, R. C., Food Technol: (Chicago), 27(8), 46, 1963.
36. ROSS KRIS, Effect of texture and microstructure on flavour retention and release, Dairy Journal 212 (6) 661-670, 2001.
37. ROSENBERG, M. and SHEU, T- Y. Microencapsulation by spray drying ethyl caprylate in whey protein and carbohydrate wall systems. Journal of food science, 60 (1), 98-103, 1995.
38. ROSENBERG, M. and SHEU, T- Y. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. Journal of food science, 63 (3), 491-494, 1998.
39. ROSENBERG, M. and SATPATHY, G. Encapsulation of chlorothiazide in whey proteins: effects of wall-to-core ratio and cross-linking conditions on properties and drug release. Journal of Microencapsulation, 20(2), 227-245, 2003.

40. SANTILLAN Edgar. Estudio comparativo de las técnicas de microencapsulación empleadas en la industria farmacéutica. Tesis (Ingeniería química). México, Universidad Nacional Autónoma de México, 3-8 p. 1990.
41. SAN MARTIN Eduardo. Efeito do processo de extrusao na formacao de complexos amido-monogliceridos. Tesis (Doctorado en tecnología de alimentos). Brasil. Universidade Estadual de Campinas, 13-20 P. 1989.
42. SELIM, K, TSIMIDOU and M. BILIADERIS, C.G. Kinetic studies of degradation of saffron carotenoids encapsulated in amorphous polymer matrices. Food Chemistry. 71, 199-206. 2000.
43. SHEPHERD, R. ROBERTSON, A. and OFMAN, D. Dairy glycoconjugate emulsifiers: casein-maltodextrins. Food hydrocolloids, 14, 281-286, 2000.
44. SHEU TY, ROSENBERG M, Microestructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates, Journal of Food Processing and Preservation, 63 (3), 491-494, 1998.
45. SHEU TY, ROSENBERG M, Microencapsulation by spray-drying ethyl caprylate in whey-protein an carbohydrate wall system, Journal Food Science, 60 (1), 98-103, 1995.
46. SOTO Federico. Sustitución de la goma arábica como agente encapsulante de sabor. Tesis (Maestría en tecnología de alimentos). México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2-18 p. 1995.
47. SWARBRICK, James. Microencapsulation methods and industrial application drugs and the pharmaceutical sciences. 73<sup>rd</sup>, USA, Simon Benita, 1-33 p. 1997.
48. VARAVINIT, Salyavit, CHAOKASEM, Narisa, and SHOBSNGOB, Sujin. Starch/starke 53, 281-287, 2001.
49. VISAVARUNGROJN, REMON JP, Evaluation of maltodextrin as binding-agent, Abstracts of papers of the american chemical society, 198: 69-Carbs 10, 1989.
50. YAÑES F, Aplicaciones biotecnologicas de la microencapsulación, 21, 2002.

51. ZHOU F, VERVAET C, REMON JP, Matrix pellets based on the combination of waxes starches and maltodextrins. International Journal of Pharmaceutics, 133 (1-2), 155-160, 1996.