

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**



**“CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN  
EQUIPO PARA SECADO POR ÓSMOSIS Y SU  
EVALUACIÓN EN PAPAYA (*Carica papaya*)”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

- ❖ **Bach. KLEVER EDWIN DEZA DEZA**
- ❖ **Bach. JAMYLETH GHOYA SÁNCHEZ GUERRA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

PUNO

-

PERU

2011

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
ALTIPLANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**

**TESIS:**

**CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN EQUIPO PARA  
SECADO POR ÓSMOSIS Y SU EVALUACIÓN EN PAPAYA (Carga  
papaya)**

**PRESENTADO POR:**

- ✓ Bach. Klever Edwin Deza Deza
- ✓ Bach. Jamyleth Ghoya Sánchez Guerra

Aprobado por el jurado revisor conformado por:

**PRESIDENTE**

:

.....  
Ing. Mg.Sc. Eduardo Manzaneda Cabala.

**PRIMER MIEMBRO**

:

.....  
Ing. M.Sc. F. Victor Choquehuanca Cáceres.

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

.....  
Ing. M.Sc. Jhony Mayta Hancoo.

**DIRECTOR DE TESIS**

:

.....  
Ing. M.Sc. Lizandro Gilberto Fernandez Castro.

**ASESOR DE TESIS**

:

.....  
Ing. Jimmy Quispe Huarahuara.

**Área: Ingeniería y tecnología**

**Tema: Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes**

**DEDICATORIA**

**“En memoria: Ing. Ciro Guztavo Rosel Zevallos”**

*Con amor y gratitud a mi madre Lucía Elizabeth; por brindarme todo su apoyo incondicional y comprensión en el logro de mi formación profesional.*

*A Gabi Lilian; compañera de mi vida; por su amor, paciencia, cariño y fuerza moral para poder concluir mi proyecto. Gracias mi cielo...*

*A mi hijo Brandon Jamil, razón del logro de este proyecto y fuerza moral para salir adelante.*

*A mis hermanos Rosa, Guido Raúl y Katherine, a quienes siempre los tengo presente.*

**Klever E.**

*A mis queridos padres Jesús y Carmen con mucho cariño y amor, por sus nobles sacrificios para el logro de mis objetivos e ideales.*

*A mis hermanos César y Hellen por su apoyo incondicional durante mi formación profesional.*

**Jamyleth G.**

## AGRADECIMIENTOS

- ✓ A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial y su plana docente por la formación profesional.
- ✓ Al M.Sc. Alejandro Coloma Paxi, por sus consejos y orientaciones durante la ejecución del presente trabajo de investigación.
- ✓ M.Sc. Wenceslao T. Medina Espinoza, y todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial; por haber compartido conocimientos y experiencias que han contribuido a nuestra formación profesional.
- ✓ Al Ing. Jimmy Quispe Huarahuara. Por su valioso asesoramiento en la automatización del deshidratador omótico.
- ✓ A los miembros del jurado: Ing. Mg.Sc. Eduardo Manzaneda, Ing. M.Sc. Victor Choquehuanca e Ing. M.Sc. Jhony Mayta; por su comprensión y colaboración para la culminación de este estudio.
- ✓ A nuestro amigo Ing. Franck Rosvelt Ponce Alvarez, por su orientación en el análisis estadístico del presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE

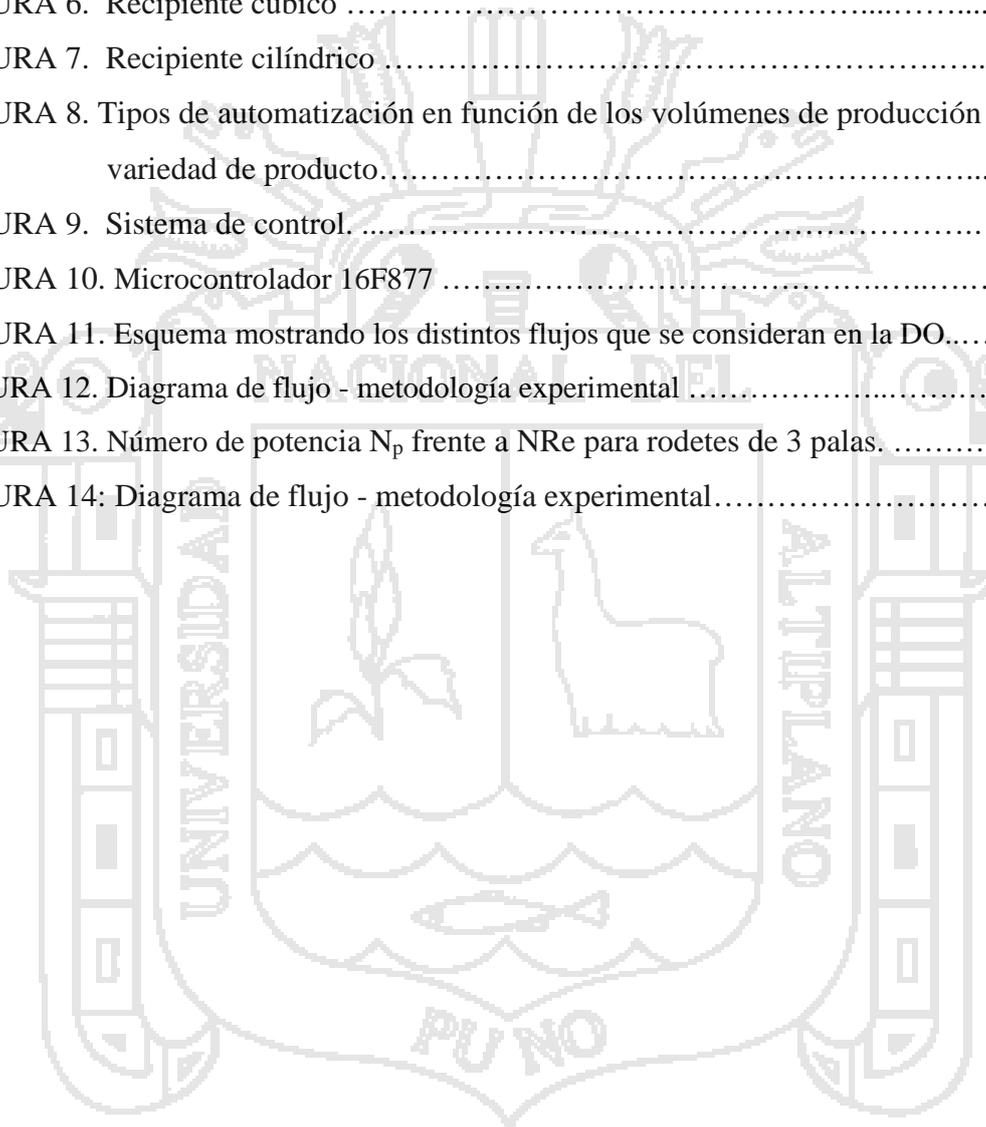
### RESUMEN

	Páginas
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>01</b>
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>03</b>
<b>2.1. Materiales para la construcción del deshidratador omótico.....</b>	<b>03</b>
2.1.1. Acero inoxidable.....	03
2.1.1.1. Tipos de acero inoxidable.....	03
2.1.1.2. Aceros inoxidables utilizados en la industria. ....	04
2.1.2. Soldaduras. ....	05
2.1.3. Accesorios. ....	05
2.1.3.1. Fondos o tapas ....	05
2.1.3.2. Apoyos.....	05
2.1.3.3. Motor.....	06
<b>2.2. Instrumentos a utilizar .....</b>	<b>06</b>
2.2.1. Sensor de temperatura.....	06
2.2.2. Dispositivo de agitación.....	08
2.2.2.1. Tipos de flujos en tanques agitados .....	13
2.2.2.2. Consumo de potencia del motor.....	15
2.2.2.3. Configuración de los agitadores. ....	15
2.2.2.4. La geometría de los recipientes.....	16
<b>2.3. Automatización.....</b>	<b>17</b>
2.3.1. Concepto.....	17
2.3.2. La automatización en la industria. ....	19
2.3.3. Conceptos importantes y objetivos del control.....	19
2.3.3.1 Control automático.....	19
2.3.4 Componentes básicos de todo sistema de control.....	20
2.3.5 Control de procesos. ....	22
2.3.6 Microcontrolador ( cc). ....	24
<b>2.4. Deshidratación osmótica.....</b>	<b>27</b>
2.4.1 Deshidratación o secado .....	27
2.4.2 Ósmosis.....	28

2.4.3	Deshidratación osmótica. ....	29
2.4.4	Fundamentos de deshidratación osmótica.....	32
2.4.5	Factores que afectan la eficiencia del proceso.....	34
2.4.6	Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica.....	38
<b>2.5</b>	<b>Aspectos generales de la papaya.....</b>	<b>39</b>
2.5.1.	Definición.....	39
2.5.2.	Taxonomía.....	40
2.5.3	Características de la papaya ( <i>Pauna Amarilla</i> ).....	40
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>43</b>
3.1	Materiales y Métodos para la construcción.....	43
3.2	Materiales y Métodos para la automatización.....	50
3.3	Materiales y Métodos Para la evaluación .....	51
3.3.1	Lugar de ejecución.....	51
3.3.2	Materia prima.....	52
3.3.3	Método para la evaluación .....	53
3.3.4	Descripción de la metodología experimental .....	54
3.3.5	Diseño experimental.....	55
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>57</b>
4.1.	De la construcción y automatización de un equipo en secado por ósmosis .....	57
4.2.	De la evaluación.....	58
4.2.1.	Efecto de los factores en estudio sobre la variación d e sólidos solubles .....	60
4.2.2.	Efecto de los factores en estudio sobre la variación de peso.....	63
4.2.3.	Efecto de los factores en estudio sobre la variación de humedad.....	64
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>70</b>
<b>VIII.</b>	<b>WEBGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Tipos y clasificación de los aceros inoxidables. ....	03
FIGURA 2. Tipos de agitadores. ....	10
FIGURA 3. . Hélices para agitador mecánico.....	11
FIGURA 4. Tipos de flujos en tanques agitados .....	14
FIGURA 5. Recipiente cónico .....	16
FIGURA 6. Recipiente cúbico .....	16
FIGURA 7. Recipiente cilíndrico .....	17
FIGURA 8. Tipos de automatización en función de los volúmenes de producción y variedad de producto.....	18
FIGURA 9. Sistema de control.....	21
FIGURA 10. Microcontrolador 16F877 .....	25
FIGURA 11. Esquema mostrando los distintos flujos que se consideran en la DO.....	33
FIGURA 12. Diagrama de flujo - metodología experimental .....	46
FIGURA 13. Número de potencia $N_p$ frente a $N_{Re}$ para rodetes de 3 palas. ....	47
FIGURA 14: Diagrama de flujo - metodología experimental.....	53



## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Propiedades de los aceros inoxidable. ....	04
CUADRO 2. Tipos de termocuplas .....	07
CUADRO 3. Usos y ventajas de los solutos .....	36
CUADRO 4. Valores de pH y sólidos solubles de la papaya variedad Pauna .....	41
CUADRO 5. Análisis físico químico de frutas de papaya .....	42
CUADRO 6. Composición físico química de la papaya variedad Pauna. ....	42
CUADRO 7. Materiales para la construcción .....	43
CUADRO 8. Factores de forma para este agitador .....	46
CUADRO 9: Constantes a y b para las curvas de la Figura 13.....	49
CUADRO 10. Materiales para la automatización. ....	50
CUADRO 11: Materiales para la evaluación .....	52
CUADRO 12 Niveles y sus respectivos valores reales de los dos factores en estudio para la evaluación. ....	56
CUADRO 13: Características del deshidratador osmótico automatizado construido en la Empresa Industrial “SISOLAR” (2009).....	57
CUADRO 14: Resultados de la evaluación del deshidratador osmótico evaluado en papaya ( <i>Carica Papaya</i> ) var. Pauna Amarilla obtenidos en la Planta Piloto de EPIA – FCA. (2010) .....	58
CUADRO 15. Análisis de varianza de sólidos solubles, peso y humedad; de la evaluación del deshidratador osmótico en papaya ( <i>Carica Papaya</i> ) var. Pauna Amarilla. (2010). ....	59
CUADRO 16: Análisis de Varianza para VARIACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES, de la evaluación del deshidratador osmótico en papaya ( <i>Carica Papaya</i> ) var. Pauna Amarilla. (2010). ....	60
CUADRO 17: Análisis de Varianza para VARIACIÓN DEL PESO, de la evaluación del deshidratador osmótico en papaya ( <i>Carica Papaya</i> ) var. Pauna Amarilla. (2010) .....	63
CUADRO 18: Análisis de Varianza para VARIACIÓN DE HUMEDAD, de la evaluación del deshidratador osmótico en papaya ( <i>Carica Papaya</i> ) var. Pauna Amarilla. (2010). ....	65

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 1. Diagrama de Pareto estandarizado que muestra el ANOVA para la variación de sólidos solubles en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla, de la evaluación del deshidratador osmótico. (2010)..... 60
- GRÁFICO 2. Efecto de la temperatura y velocidad de agitación en la variación de sólidos solubles en el proceso de deshidratación osmótica de la papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla, realizado en la Planta Piloto de EPIA – FCA (2010). ..... 61
- GRÁFICO 3. Diagrama de Pareto estandarizado que muestra el ANOVA para la variación peso en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla, de la evaluación del deshidratador osmótico. (2010)..... 64
- GRÁFICO 4. Diagrama de Pareto Estandarizado que muestra el ANOVA para la variación de humedad. en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla, de la evaluación del deshidratador osmótico. (2010)..... 65
- GRÁFICO 5. Efecto de la temperatura y velocidad de agitación en la variación de humedad en el proceso de deshidratación osmótica de la papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla, realizado en la Planta Piloto de EPIA – FCA (2010). ..... 66

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado “Construcción y automatización de un equipo para secado por osmosis y su evaluación en papaya (*Carica Papaya*)”, se realizó en los laboratorios de la E. P. de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Cs. Agrarias de la UNA-Puno; con los objetivos de construir y caracterizar un equipo automatizado de deshidratación osmótica; evaluar en papaya (*Carica Papaya*) variedad Pauna amarilla, el efecto de la velocidad de agitación del proceso osmótico sobre la variación de sólidos solubles, peso y humedad, evaluar la temperatura del proceso osmótico sobre la variación de sólidos solubles, peso y humedad e, implementar el laboratorio de Simulación y Automatización de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Fac. de Cs. Agrarias de la U.N.A.- Puno.

Como resultados del presente trabajo se tiene: la construcción de un deshidratador osmótico para el procesamiento de productos como: frutas, verduras, carnes, y otros. El equipo es de forma cilíndrica con un diámetro de 0.25 m., una altura de 0.35m y una capacidad de 0.01534 m<sup>3</sup>; está provisto de una canastilla que sostiene al producto, una termocupla para el control de temperatura y un motor eléctrico para el sistema de agitación.

El deshidratador osmótico fue evaluado con papaya (*Carica papaya*) variedad Pauna Amarilla, considerando los siguientes factores de estudio: temperatura y velocidad de agitación del proceso. Para determinar los parámetros óptimos de los factores de proceso se utilizó el diseño compuesto central rotatable (DCCR) con tratamientos factoriales, tratamientos estrella y tratamiento central. El número total de tratamientos fue 13 (4 tratamientos básicos de la parte factorial, 4 tratamientos de la parte axial o estrella y 5 repeticiones que constituyen el tratamiento central).

Se determinó que la temperatura controlada tiene efectos altamente significativos en el proceso de deshidratado osmótico, siendo el punto óptimo aproximado de 44°C. y que la velocidad de agitación no es relevante, solamente es necesaria en la parte inicial del proceso; además el uso de la automatización en equipos para procesamiento de alimentos, en este caso la automatización de un equipo para

secado osmótico con controles de temperatura y velocidad de agitación; mejora significativamente el proceso de deshidratación osmótica; manteniendo los valores de las variables a controlar lo mas cercanos posible del punto de control.

Con la construcción del equipo de deshidratación osmótica se implementa el laboratorio de Simulación y Automatización de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNAP.



## I. INTRODUCCIÓN

La deshidratación es un método de conservación de alimentos bastante conocido, que se puede dar mediante diversos procesos, como en este caso el de deshidratación osmótica de fruta (papaya) o de otros productos como verduras, carnes, etc. y; los procesos comunes de deshidratación que hacen uso de altas temperaturas, alteran las características físicas, químicas, nutricionales y organolépticas de los alimentos procesados. Además las variaciones de temperatura, muy distantes del punto óptimo de procesamiento y la falta de homogenización del medio osmótico incrementan el tiempo de procesamiento.

La agroindustria se ha convertido en los últimos años en uno de los motores socioeconómicos de nuestro país, dentro de la cual la deshidratación es bastante aplicada como método de conservación de alimentos. Sin embargo, el enfoque tradicional de la deshidratación, basado en los fenómenos de transferencia, ha sido sometido a continuas revisiones, debido a la creciente demanda del mercado por productos finales de óptima calidad.

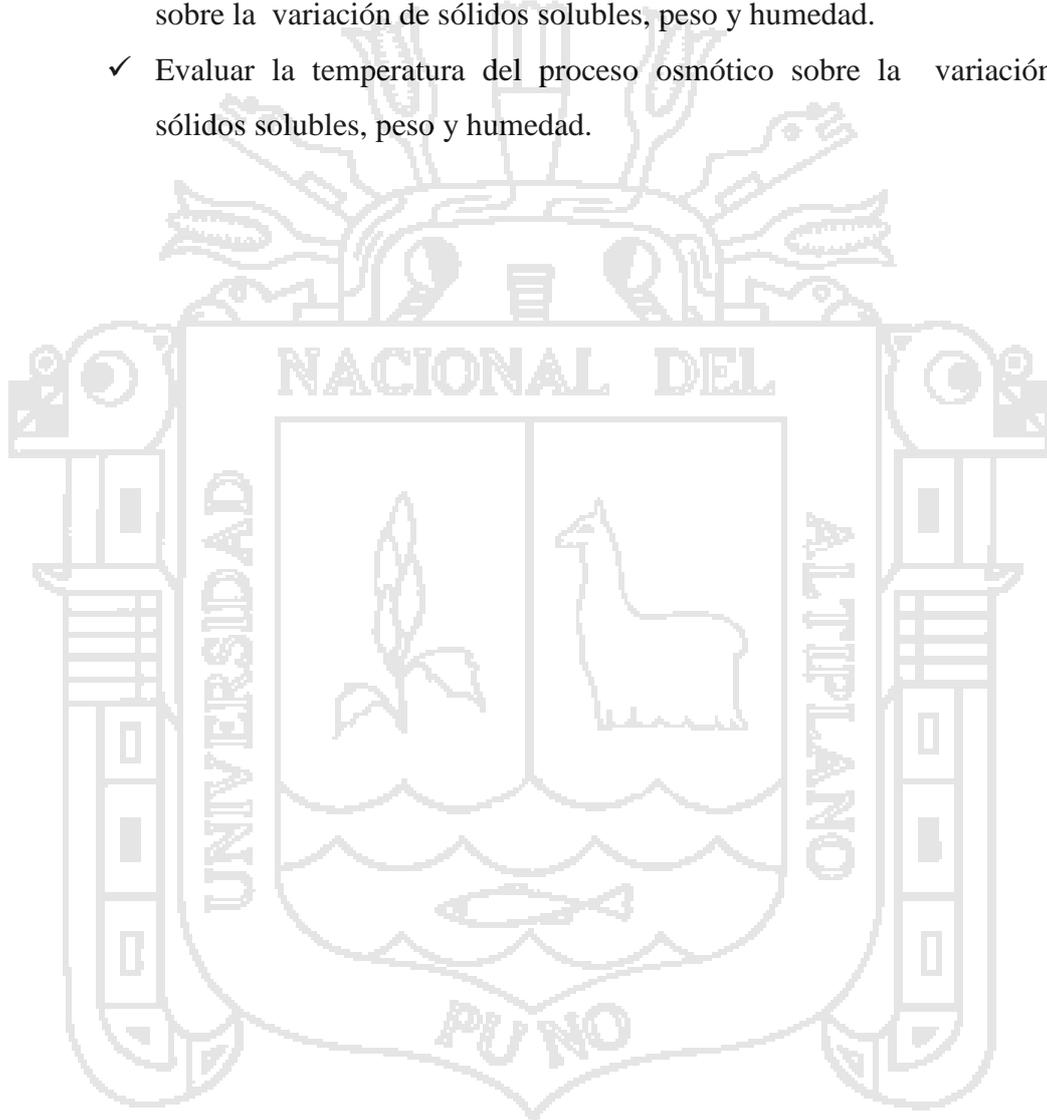
La Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial cuenta con un laboratorio de simulación y automatización, el que requiere contar con equipos automatizados a escala experimental, orientados a realizar trabajos de investigación y teórico-demostrativos en los diferentes campos de la ingeniería de procesos, operaciones unitarias y ramas afines de la Ingeniería Agroindustrial.

Muchos de los procesos industriales, como la deshidratación osmótica, carecen del control de algunos parámetros, tales como la temperatura, presión, velocidad de agitación, tiempo, etc., los cuales deben ser mantenidos tanto como sea posible cercanos al punto de operación. Para tal efecto es necesaria la aplicación de la automatización en los procesos agroindustriales.

El presente trabajo de investigación está orientado al desarrollo tecnológico de un equipo de deshidratado osmótico de laboratorio, mediante su automatización para el control de parámetros del proceso de secado osmótico como son la temperatura y la velocidad de agitación.

Basado en lo anterior es que se planteó la construcción de un equipo automatizado de deshidratación osmótica con los siguientes objetivos:

- ✓ Construir y caracterizar un equipo automatizado de deshidratación osmótica.
- ✓ Evaluar el efecto de la velocidad de agitación del proceso osmótico sobre la variación de sólidos solubles, peso y humedad.
- ✓ Evaluar la temperatura del proceso osmótico sobre la variación de sólidos solubles, peso y humedad.



## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL DESHIDRATADOR OSMÓTICO

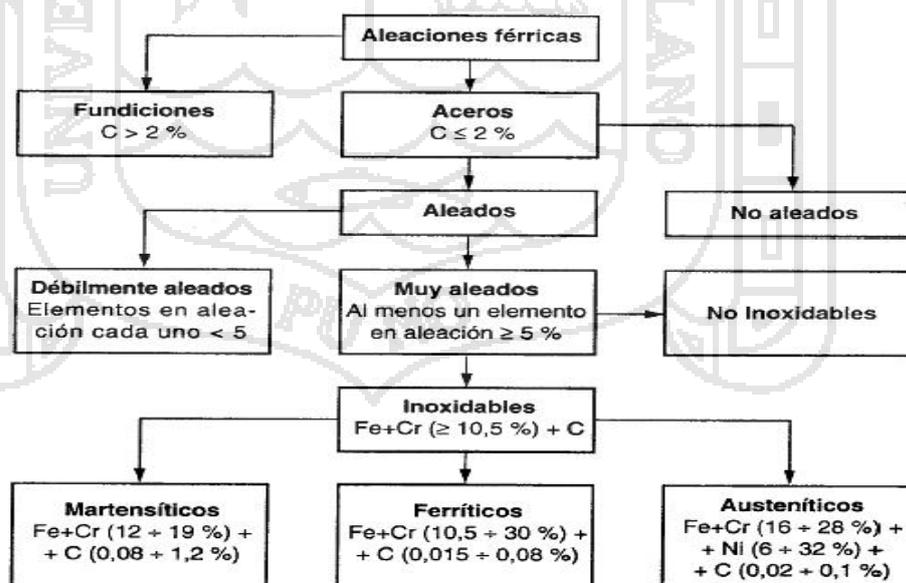
#### 2.1.1. ACERO INOXIDABLE

Se conoce como aceros inoxidable a una serie de aceros resistentes a la corrosión atmosférica, a los ácidos y alcoholes y también a la oxidación a temperaturas no muy elevadas (*Laceras y Zanches; citados por Borda y Gamarra, 2002*).

##### 2.1.1.1. Tipos de acero inoxidable

Los principales elementos después del hierro son el cromo, carbono y níquel. El porcentaje de dichos elementos y su variación cambia la porción de las fases presentes, lo cual da lugar a los diferentes aceros inoxidables como austeníticos, ferríticos, martensíticos y duplex (*Guerra Martínez et al. 2006*).

**FIGURA 1:** Tipos y clasificación de los aceros inoxidables



Otros tipos: **Austeníticos** al Cr, Mn, Ni  
**Austeno-Ferríticos** (Dúplex, Bifásicos o *Dual Phase*)  
**Endurecidos por precipitación** (PH, *Precipitation Hardening*)

FUENTE: Guerra Martínez et al. 2006

### 2.1.1.2. Aceros inoxidables utilizados en la industria

El acero inoxidable caracteriza el alto nivel de resistencia a la corrosión que ofrecen las aleaciones en este grupo. Para ser clasificada como acero inoxidable, la aleación debe tener al menos 10% de contenido de cromo. La AISI (American Iron and Steel Institute), designa casi todos los aceros inoxidables por sus series 200, 300 y 400 (Mott, 1992).

Los tres grupos principales de aceros inoxidables son el austenítico, el ferroso y el martensítico. Los aceros austeníticos se encuentran dentro de las series AISI 200 y 300. Son grados de uso general cuya resistencia es moderada. En su mayor parte no son susceptibles al tratamiento térmico y sus propiedades finales se determinan por el grado en que se trabaja, el temple resultante se indica como  $\frac{1}{4}$  de dureza,  $\frac{1}{2}$  de dureza,  $\frac{3}{4}$  de dureza y totalmente duro. Estas aleaciones amagnéticas por lo general se emplean en equipos para procesar alimentos (Mott, 1992).

**CUADRO 1:** Propiedades de los aceros inoxidables

Designación del material	Condición	Resistencia a la tracción M pa	Resistente a punto sedente M pa	Dualidad (elongación porcentual) Pulg.
Numero AISI				
Aceros austeníticos.				
201	Recocido	793	379	55
	$\frac{1}{4}$ duro	862	517	20
	$\frac{1}{2}$ duro	1030	758	10
	$\frac{3}{4}$ duro	1210	931	5
	Totalmente duro	1280	966	4
301	Recocido	758	276	60
	$\frac{1}{4}$ duro	862	517	25
	$\frac{1}{2}$ duro	1030	758	15
	$\frac{3}{4}$ duro	1210	931	12
	Totalmente duro	1280	966	8

**FUENTE:** Mott (1992)

### 2.1.2. SOLDADURAS

La soldadura es un proceso de coalescencia localizada de metal que se produce mediante calentamiento a temperaturas convenientes, con aplicación de presión o sin ella, y con utilización de material de relleno o sin él (*Alerich; citado por Borda y Gamarra, 2002*).

El metal de relleno puede tener el mismo punto de fusión que los metales, (como en la soldadura de arco ò con gas) o puede tener un punto de fusión inferior o arriba de 427° C como en la soldadura fuerte. Según esta definición, la soldadura es distinta de la unión mecánica a la ubicación adhesiva.

El límite de 982° C distingue a la soldadura fuerte de la soldadura suave, la cual no se analiza (*Marcks; citado por Borda y Gamarra, 2002*).

### 2.1.3. ACCESORIOS

#### 2.1.3.1. Fondos o tapas

Los fondos son las tapas que cierran, generalmente, son abovedados o hemiesferoidales, que también pueden ser cónicos o planos, los que son de reducida utilización.

Son las envolturas mecánicas que forman propiamente el recipiente y están conformados por la parte cilíndrica y los fondos (*Marcks; citado por Borda y Gamarra, 2002*).

#### 2.1.3.2. Apoyos

La carga del recipiente mas su propio peso, respecto a las condiciones de estabilidad de instalación y operación, mantienen una distancia al suelo por medio de unos apoyos que transmiten su carga al suelo (*Marcks; citado por Borda y Gamarra, 2002*).

### 2.1.3.3. Motor

Es un dispositivo para convertir la energía eléctrica en trabajo mecánico por medio de un movimiento rotatorio (*Alerich; citado por Borda y Gamarra, 2002*).

Según *Martínez; citado por Borda y Gamarra, 2002*, por lo general todo motor eléctrico está formado por tres partes principales:

- Carcasa
- Estator (llamado inductor en los motores de corriente continua)
- Rotor (llamado inducido en los motores de corriente continua)

## 2.2. INSTRUMENTOS A UTILIZAR

### 2.2.1. SENSOR DE TEMPERATURA

- La temperatura, junto con el flujo, es la variable que con mayor frecuencia se mide en la industria de proceso. La razón simple es que casi todos los fenómenos físicos se ven afectados por estas. La temperatura se utiliza frecuentemente para inferir otras variables del proceso; dos ejemplos más comunes son las columnas de destilación y los reactores químicos. En los reactores químicos la temperatura se utiliza como un indicador de la extensión de la conversión o reacción (*Carranza (1998)*). Los principales sensores de temperatura utilizados son las termocuplas.

En el siguiente cuadro se describe los tipos de termocuplas.

**CUADRO 2:** Tipos de termocuplas

TIPOS	NOMBRE DE LOS MATERIALES	USOS Y APLICACIONES RANGO (°F)	EN MILIVOLTIOS (mV)	NOTAS
B	Platino 30%, Rodio (+) Platino 6%, Rodio (-)	100 – 3270	0,007 – 13,499	Contaminado fácilmente, requiere protección
C	Tungsteno 5%, Renio (+) Tungsteno 26%, Renio (-)	3000 – 4200	-	No resiste la oxidación
E	Cromel (Cr-Ni)(+) Constantan (Cu-Ni)(-)	32 – 1800	0 – 75,12	El de mayor voltaje/°C
J	Acero (+) Constantan (-)	-300 – 1600	-7,52 – 50,05	Atmósfera reductora. Hierro se oxida a altas temperaturas
K	Cromel (+) Alumel (-)	-300 – 2300	-5,51 – 51,05	Atmósferas oxidantes
N	Nicrosil (+) Nisil (-)	1200 – 2300	-	Uso general. Mejor resistencia a oxidación.
R	Platino 13%, Rodio (+) Platino (-)	32 – 2900	0 – 18,636	Atmósfera oxidante contaminado fácilmente.
S	Platino 10% Rodio (+) Platino (-)	32 – 2800	0 – 15,979	Contaminado fácilmente atmósfera oxidante.
T	Cobre (+) Constantan (-)	-300 – 750	-5,28 – 20,80	Estable a temperatura criogénicas, atmósfera oxidantes y reductores.

FUENTE: Carranza (1998)

### 2.2.2. DISPOSITIVO DE AGITACIÓN

La agitación o mezclado es una de las operaciones unitarias más antigua y más ampliamente utilizada, si bien la comprensión de la materia es limitada. Aunque la efectividad y consumo de energía de la operación depende de principios básicos de la mecánica de fluidos, los modelos de flujo que se desarrollan en un tanque son tan complejos que la aplicación rigurosa de los principios básicos resulta prácticamente imposible (*ITESCAM, 2006*).

La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. Los objetivos de la agitación pueden ser:

- Mezcla de dos líquidos miscibles (Ej: alcohol y agua)
- Disolución de sólidos en líquido (Ej.: azúcar y agua)
- Mejorar la transferencia de calor (en calentamiento o enfriamiento)
- Dispersión de un gas en un líquido (oxígeno en caldo de fermentación)
- Dispersión de partículas finas en un líquido
- Dispersión de dos fases no miscibles (grasa en la leche)

Generalmente el equipo consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto), y un agitador mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. Las proporciones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El fondo del tanque debe ser redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido. La altura del líquido, es aproximadamente igual al diámetro del tanque. Sobre un eje suspendido desde la parte superior, va montado un agitador. El eje está accionado por un motor, conectado a veces, directamente al mismo, pero con mayor frecuencia, a través de una caja de engranajes reductores (*Pérez Polo, 2006*).

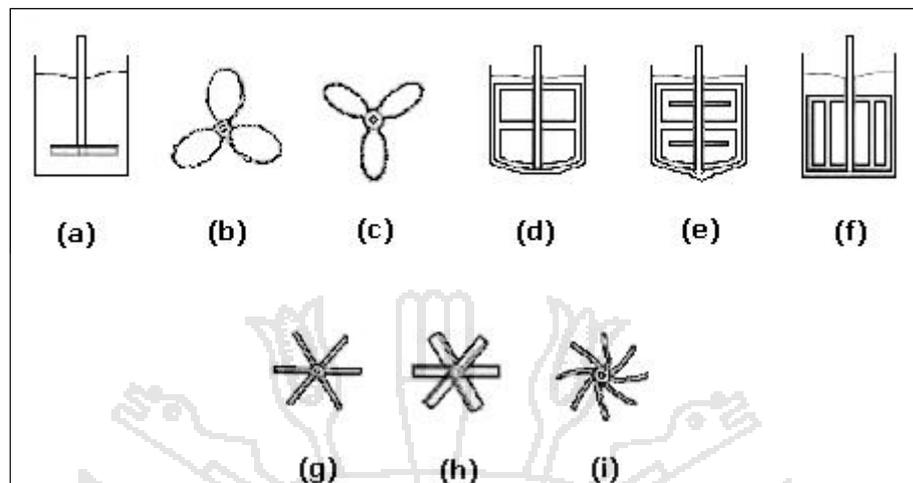
El agitador crea un cierto tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente y vuelva de vez en cuando al agitador. El mezclado y/o agitación de líquidos miscibles o de sólidos en

líquidos se efectúa con el objeto de lograr una distribución uniforme de los componentes entre sí por medio del flujo. Dicho flujo es producido por medios mecánicos generalmente cuando se mezclan líquidos miscibles o sólidos en líquidos se puede lograr un mezclado íntimo, pero con líquidos inmiscibles y materiales muy viscosos o pastosos el grado de mezclado logrado es menor (*Martínez; citado por Borda y Gamarra, 2002*).

La eficiencia del proceso de mezclado depende de una efectiva utilización de la energía que se emplea para generar el flujo de componentes. Para lograr proporcionar un suministro de energía adecuado hay que considerar las propiedades físicas de los componentes, el diseño del agitador que transmite la energía y la configuración del tanque de mezclado.

Los materiales a ser mezclados pueden ser líquidos de muy baja viscosidad hasta pastas altamente viscosas. Esencialmente existen dos tipos de sistemas de mezclado (*Marcks; citado por Borda y Gamarra, 2002*):

- 1) Tanque estacionario conteniendo un sistema de impulsión montado en un eje, que rota. Para líquidos poco viscosos se emplean impulsores de tipo paleta (Fig. 2a) o propelas tipo marino (Fig.2 b, c) montados en tanques verticales. Suspensiones líquido-sólido fluidas o para la dispersión de gases en líquidos. Para mezclar líquidos de alta consistencia como líquidos viscosos, pastas, grasas, etc., se emplean impulsores tipo agitador de ancla, de paletas contra rotatorias o de compuerta (Fig.2 d, e, f).
- 2) Tanque móvil con impulsor móvil y/o estacionario, generalmente utilizado para materiales altamente consistentes como masa o plásticos fundidos.

**FIGURA 2:** Tipos de agitadores

Algunos impulsores típicos. (a) de paleta, (b) propela marina, (c) propela marina dentada de ancla, (d) y (e) de paletas contrarrotatorias, (f) de compuerta, (g) turbina recta, (h) turbina inclinada, e (i) turbina curva.

**FUENTE:** Marcks; citado por Borda y Gamarra, 2002

Los agitadores se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial. Los primeros se llaman agitadores de flujo axial y los segundos agitadores de flujo radial. (Pérez Polo, 2006).

Los tres tipos principales de agitadores son, de hélice, de paletas, y de turbina (Singh y Heldman, 1998).

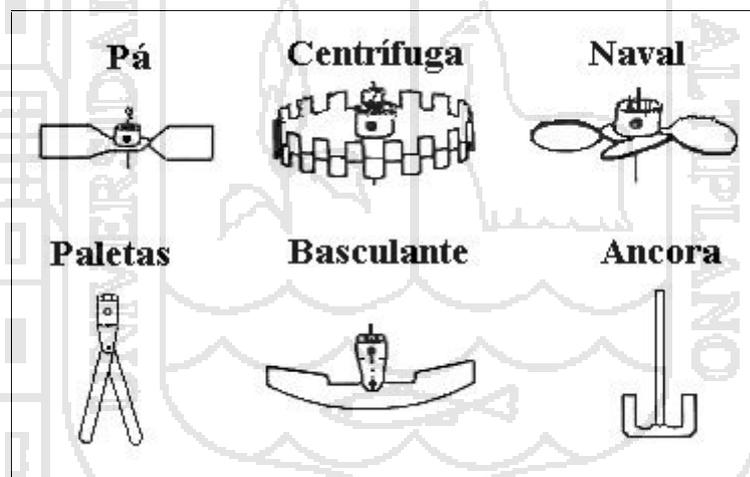
### Agitadores de hélices

Un agitador de hélice, es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos poco viscosos. Los agitadores de hélice más pequeños, giran a toda la velocidad del motor, a unas 1.150 ó 1.750 rpm; los mayores giran de 400 a 800 rpm. Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. La columna de remolinos de líquido de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado, generando un efecto

considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño. Para tanques extraordinariamente grandes, del orden de 1500m<sup>3</sup> se han utilizado agitadores múltiples, con entradas laterales al tanque (*Singh y Heldman, 1998*).

El diámetro de los agitadores de hélice, raramente es mayor de 45 cm, independientemente del tamaño del tanque. En tanques de gran altura, pueden disponerse dos o más hélices sobre el mismo eje, moviendo el líquido generalmente en la misma dirección. A veces dos agitadores operan en sentido opuesto creando una zona de elevada turbulencia en el espacio comprendido entre ellos (*ITESCAM, 2006*).

**FIGURA 3:** Hélices para agitador mecánico.



FUENTE: ITESCAM, 2006

### **Agitadores de paletas**

Para problemas sencillos, un agitador eficaz está formado por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical. Son corrientes los agitadores formados por dos y 3 paletas (*ITESCAM, 2006*).

Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo (*Marcks; citado por Borda y Gamarra, 2002*).

Las paletas también pueden adaptarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rascan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña. Un agitador de este tipo se conoce como agitador de ancla. Estos agitadores son útiles cuando se desea evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, como ocurre en un tanque enchaquetado, pero no son buenos mezcladores. Generalmente trabajan conjuntamente con un agitador de paletas de otro tipo, que se mueve con velocidad elevada y que gira normalmente en sentido opuesto (*Guerra Martínez et al. 2006*).

Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 RPM. La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del diámetro interior del tanque. La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud. A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla.

### **Agitadores de turbina**

La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que en el caso de agitadores de paletas,

siendo del orden del 30 al 50% del diámetro del tanque. (*Guerra Martínez et al. 2006*).

Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado. En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

El agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas, se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior del eje del rodete; las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas, con lo cual se aumenta grandemente el área interfacial entre el gas y el líquido.

#### **2.2.2.1. Tipos de flujos en tanques agitados**

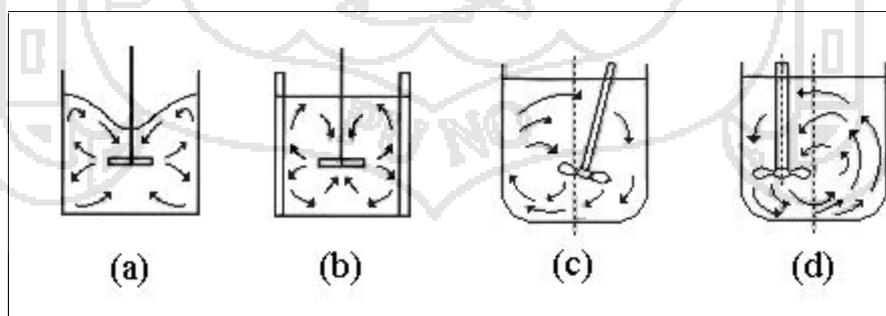
El tipo de flujo que se produce en un tanque agitado, depende del tipo de rodete, de las características del fluido y del tamaño y proporciones del tanque, placas deflectoras y agitador. La velocidad del fluido en un punto del tanque tiene tres componentes y el tipo de flujo global en el mismo, depende de las variaciones de estas tres componentes de la velocidad, de un punto a otro. La primera componente de velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del rodete. La segunda es longitudinal y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete (*Pérez Polo, 2006*).

Para el caso corriente de un eje vertical, las componentes radial y tangencial están en un plano horizontal y la componente longitudinal es vertical. Las componentes radial y longitudinal son útiles porque dan lugar

al flujo necesario para que se produzca la mezcla. Cuando el eje es vertical y está dispuesto en el centro del tanque, la componente tangencial de velocidad es generalmente perjudicial para la mezcla. El flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje y crea un vórtice en la superficie del líquido que debido a la circulación en flujo laminar, da lugar a una estratificación permanente en diferentes niveles, de sustancias sin mezclar, sin que exista flujo longitudinal de un nivel a otro. Si están presentes partículas sólidas, las corrientes circulatorias tienden a lanzar las partículas contra la pared del tanque, debido a la fuerza centrífuga, desde donde caen acumulándose en la parte central del fondo del tanque. Por consiguiente en vez de mezcla, se produce la acción contraria (ITESCAM, 2006).

En un tanque sin placas deflectoras, el flujo circulatorio es inducido por todos los tipos de rodete, tanto si el flujo es axial como radial. Si los remolinos son intensos, el tipo de flujo dentro del tanque es esencialmente el mismo, independientemente del diseño del rodete. Para velocidades de giro del rodete elevadas, la profundidad del vórtice puede ser tan grande que llegue al rodete mismo, dando lugar a que en el líquido se introduzca el gas que está encima de él, lo cual normalmente debe evitarse.

**FIGURA 4:** Tipos de flujos en tanques agitados



*Trayectoria de flujo en tanques cilíndricos: (a) formación de vórtice con agitador centrado con deflector, (b) con agitador centrado con deflectores, (c) con agitador inclinado, (d) con agitador vertical descentrado.*

**FUENTE:** ITESCAM, 2006

### 2.2.2.2. Consumo de potencia del motor

Las variables que pueden ser controladas y que influyen en la potencia consumida por el agitador son (*Geankoplis citado por Borda y Gamarra, 2002*):

- Dimensiones principales del tanque y del rodete: Diámetro del tanque (Dt), Diámetro del rodete (Da), altura del líquido (H), ancho de la placa deflectora (J), distancia del fondo del tanque hasta el rodete (E), y dimensiones de las paletas.
- Viscosidad y densidad del fluido.
- Velocidad de giro del agitador (N).

El cálculo de la potencia consumida se hace a través de números adimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el número de potencia (*Geankoplis, 1998*).

Estas gráficas dependerán de las características geométricas del agitador y de si están presentes o no, las placas deflectoras.

Número de Reynolds = esfuerzo de inercia / esfuerzo cortante

Número de Potencia = esfuerzo de frotamiento / esfuerzo de inercia

Número de Froude = esfuerzo de inercia / esfuerzo gravitacional

Para bajos números de Reynolds ( $Re < 10$ ) el flujo es laminar, la densidad deja de ser un factor importante y la potencia puede encontrarse como: En tanques con placas deflectoras y para números de Reynolds superiores a 10.000, la función de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad deja de ser un factor. Las variaciones del Número de Froude tampoco influyen (*Geankoplis, 1998*):

### 2.2.2.3. Configuración de los agitadores

Los agitadores verticales son herramientas industriales caracterizadas por la presencia de un rodete montado en un eje que, gracias al movimiento

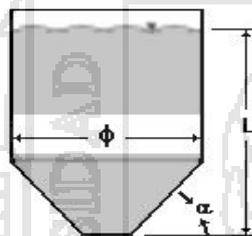
rotatorio transmitido por un motor eléctrico, produce un flujo (axial o radial) en los líquidos en los cuales está sumergida (ITESCAM, 2006).

En la elección de un agitador es necesario conocer algunas informaciones básicas para individualizar el producto adecuado: el volumen total del fluido que se agita, su naturaleza y su viscosidad, la posible presencia de sólidos, la tipología del proceso al que está destinado el agitador.

#### 2.2.2.4. La geometría de los recipientes

Para seleccionar un agitador, es necesario elegir y regular el recipiente, la tapa y/o la base del mismo agitador (Pérez Polo, 2006).

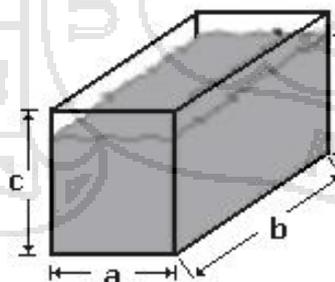
**FIGURA 5:** Recipiente cónico



Recipiente cónico: en este caso es importante conocer el tamaño de la parte cónica: Se aconseja el uso de rompe flujos.

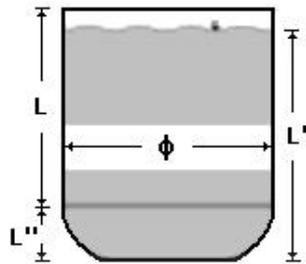
**FUENTE:** Pérez Polo, 2006

**FIGURA 6:** Recipiente cúbico



En este dibujo se representa el caso en el cual la mejor instalación del agitador es la que no está en el medio del mismo pozo: esto es para evitar fenómenos de rotación del líquido.

**FUENTE:** Pérez Polo, 2006

**FIGURA 7:** Recipiente cilíndrico

En esta tercera imagen hay, como ejemplo, un recipiente cilíndrico. La situación es muy similar a la del pozo cónico: también en este caso se aconseja el uso de rompe flujo.

FUENTE: Pérez Polo, 2006

## 2.3. AUTOMATIZACIÓN

### 2.3.1. CONCEPTO

La automatización es el nivel en que el trabajo humano es reemplazado por el uso de máquinas (OIT, 1998).

La automatización se ha entendido como una tecnología en la cual se aplican los sistemas mecánicos, electrónicos y computarizados, con el fin de operar y controlar la producción, de bienes físicos de consumo, además involucra una gran variedad de sistemas y procesos que se ejecutan con mínima o ninguna intervención del ser humano (Groover, Moreno, Piedrahita, citados por Vallejo y Vallejo, 2005).

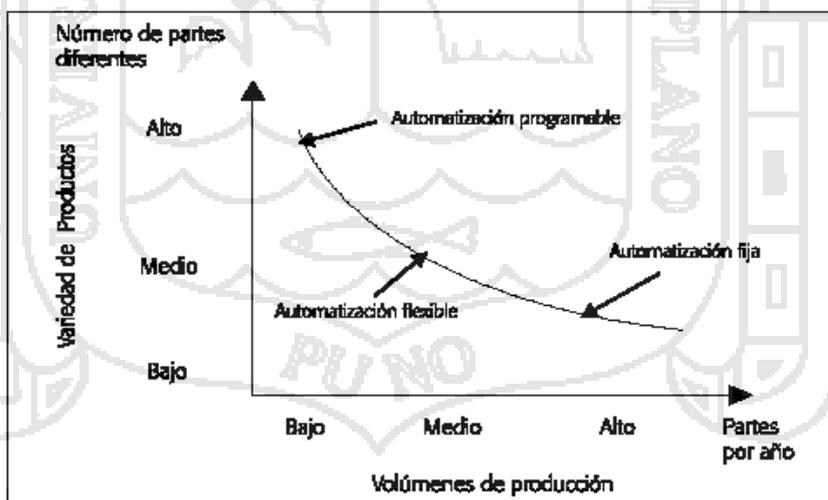
La automatización son teorías y tecnologías para sustituir el trabajo del hombre por el de la máquina. Mecanismo de feedback relacionada con las teorías de control y de sistemas. Adopta los más recientes avances. Para automatizar procesos; es necesario saber como funcionan esos procesos (González de Durana, 2004).

- Procesos continuos
- Procesos comandados por eventos

La automatización son tecnologías asociadas con la aplicación de sistemas de tipo mecánico, electrónico y basado en ordenador, a la operación y control de la producción (Gómez-Estern, 2004).

Se ha clasificado la automatización en tres procesos diferentes de acuerdo a los requerimientos del proceso productivo, los volúmenes de producción y la variedad de productos que se fabrican: a) automatización fija, se caracterizan por la secuencia única de operaciones de procesamiento y ensamble; b) automatización programable o “batch”, la secuencia de operaciones es controlada por un programa y cambia para diferentes configuraciones del producto; y c) automatización flexible, en donde es posible fabricar productos de diferentes especificaciones sin pérdidas de tiempo, atribuibles a los cambios y ajustes de los equipos de proceso entre un producto y otro ( Figura 8 ) (Groover citado por Vallejo y Vallejo, 2005).

**FIGURA 8:** Tipos de automatización en función de los volúmenes de producción y variedad de producto.



**FUENTE:** Grover citado por Vallejo y Vallejo (2005).

### 2.3.2. LA AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA

La automatización industrial, considerada como el manejo de la información en las empresas para la toma de decisiones en tiempo real, incorpora la informática y el control automatizado para la ejecución autónoma y de forma óptima de procesos diseñados según criterios de ingeniería y en consonancia con los planes de la dirección empresarial (Córdoba Nieto, 2006).

El concepto de automatización (del griego *autos* que significa .por sí mismo. y *maiomai* que significa lanzar.) corresponde a la necesidad de minimizar la intervención humana en los procesos de gobierno directo en la producción, vale decir, ahorrar esfuerzo laboral (Gutiérrez *et al.* citado por Córdoba Nieto, 2006).

Merriam Webster sugiere una interesante definición de automatización: .método de controlar automáticamente la operación de un aparato .artefacto, proceso o sistema integrado por diversos componentes a través de medios mecatrónicos, electrónicos y computacionales que sustituyen los órganos sensitivos y la capacidad de decisión del ser humano (Derby; citado por Córdoba Nieto, 2006).

En un contexto industrial moderno, se puede definir la automatización como: “una tecnología que está relacionado con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción” (Rosado Muñoz, 2000).

### 2.3.3. CONCEPTOS IMPORTANTES Y OBJETIVOS DEL CONTROL

#### 2.3.3.1. Control automático.

Se entiende por control automático, el mantener estable una variable de proceso mediante un dispositivo, por lo general electrónico, cuyo valor deseado está almacenado en la memoria de este y al recibir la señal de la

variable controlada realiza los cálculos y estima la acción sobre la variable manipulada corrigiendo y estabilizando el control (*Carranza, 1998*)

El objetivo del sistema control automático del proceso es utilizar la variable manipulada para mantener a la variable controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones.

**Variable controlada.-** Esta es la variable que se debe mantener o controlar dentro de algún valor deseado.

**Punto de control.-** Es el valor que se desea que tenga la variable controlada. Ej: “set point de la temperatura”.

**Variable manipulada.-** Es la variable que se utiliza para mantener a la variable controlada en el punto de control (punto de fijación o régimen) .

**Perturbación o trastorno.-** Es cualquier variable que ocasiona que la variable de control se desvíe del punto de control, como condiciones ambientales, la concentración del fluido que se procesa, contaminación etc. (*Smith y Corripio, 1997*).

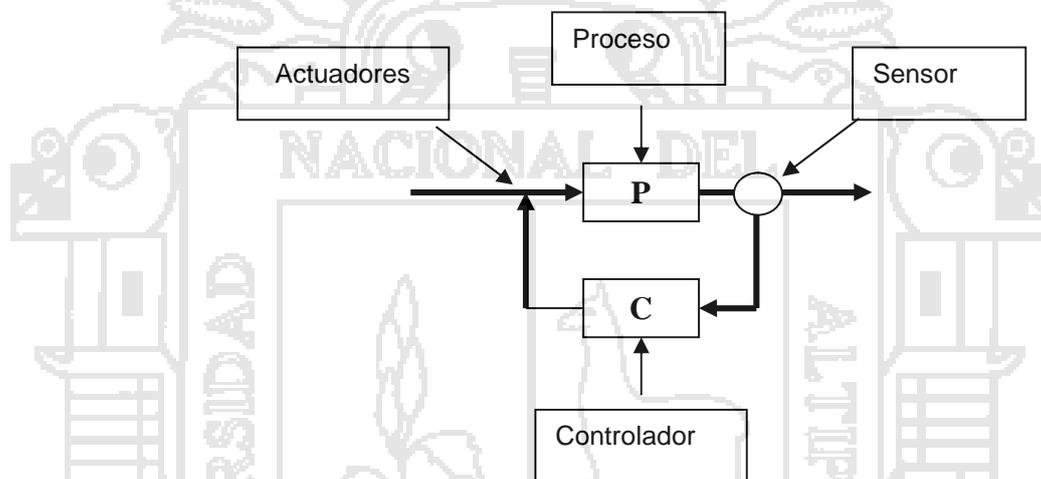
**Tiempo real.-** La capacidad en tiempo real se refiere a la capacidad del ordenador en programas de procesamiento de datos para que siempre esté listo para procesar y proporcionar los resultados dentro de un tiempo especificado. En este contexto "estrictamente en tiempo real" significa que un sistema reacciona a los eventos externos dentro de un tiempo especificado en un 100% de los casos. Además si se habla de “tiempo real” el sistema debe responder en tiempos concretos también en un 100% de los casos.

#### 2.3.4. COMPONENTES BÁSICOS DE TODO SISTEMA DE CONTROL

Para realizar un sistema de control el primer paso es medir la temperatura del proceso, esto se hace mediante un *sensor* (termopar, dispositivos de resistencia térmica, termistores, etc.). El *sensor* se conecta físicamente al *transmisor*, el cual capta la salida del *sensor* y lo convierte en una señal lo

suficientemente intensa como para transmitirla al *controlador*. El *controlador* recibe la señal, que está en relación con la temperatura, la compara con el valor que se desea y según el resultado de la comparación, decide que hacer para mantener la temperatura en el valor deseado. Con base en la decisión, el *controlador* envía otra señal al *elemento final de control* (bomba de velocidad variable, sistema de calentamiento) (Smith y Corripio, 1997).

**FIGURA 9:** Sistema de control.



**FUENTE:** Guerra Martínez et al. 2006.

Estos cuatro componentes básicos de todo sistema de control, forman el denominado bucle o lazo de control.

- Sensor, que también se conoce como elemento primario.
- Trasmisor, el cual se conoce como elemento secundario.
- Controlador, que es el cerebro del sistema de control.
- Elemento final de control, en nuestro caso bomba de velocidad variable.

### 2.3.5. CONTROL DE PROCESOS

El control de procesos es la función fundamental de la ingeniería y la administración cuyo propósito principal es medir, evaluar y ajustar la operación de un proceso, una máquina o un sistema en condiciones dinámicas, de tal modo que logre objetivos deseados dentro de especificaciones planeadas y de acuerdo con factores de costo y seguridad (*Smith y Corripio, 1997*).

El término control automático significa autocorrección o control por retroalimentación; una explicación sencilla de este concepto se puede ilustrar con las siguientes palabras:

- Algún instrumento de control está monitoreando continuamente ciertas variables de salida de un proceso controlado.
- Está comparando esta salida con ciertos valores deseados preestablecidos.
- Cualquier error resultante que se obtenga en esta comparación se usa para calcular la corrección requerida para ajustar el control del equipo controlado.
- En consecuencia, el valor de la variable de salida se ajustará a su nivel deseado y se mantendrá en él. Este tipo de control se conoce como servomecanismo. Un lazo de control típico se conforma por el proceso, el instrumento de medición, el instrumento controlador y el elemento final de control (válvula de control, por ejemplo).

a) **Control de dos posiciones.**- Se basa en fijar límites de la variable a controlar de manera que al llegar a éstos el controlador actúa rápidamente accionando o no al elemento final de control. Ejemplos son el control de nivel de agua en tanques con flotador y el control de calentadores domésticos de agua (*Vega y Scenna, 1999*).

- b) Control proporcional.-** Se caracteriza por mantener una relación lineal entre la acción de control,  $m(t)$ , y el error,  $e(t)$ , resultante de comparar el valor de referencia con el valor actual de la variable. La constante de proporcionalidad se denomina ganancia del controlador. El inverso de la ganancia se denomina banda proporcional (BP), que expresada en porcentaje de variación de la variable controlada necesaria para provocar una carrera completa del elemento final de control (Vega y Scenna, 1999).
- c) Control proporcional-integral (PI).-** Se caracteriza por la acción integral de control que varía la razón de cambio de la salida del controlador proporcionalmente al error. IT es el tiempo integral, se acostumbra expresar con su recíproco (frecuencia de reposición) en repeticiones por minuto indicando el número de veces por minuto con que se repite la acción proporcional (Vega y Scenna, 1999).
- d) Control proporcional-derivativo (PD).-** En este tipo de acción de control, la acción derivativa varía a la señal de control en proporción con la razón de cambio del error. Esta acción suele llamarse de velocidad, pero nunca puede tenerse sola pues es efectiva sólo en periodos transitorios. La proporción está dada por el tiempo derivativo (DT); intervalo de tiempo en que la acción de velocidad se adelanta al efecto de acción proporcional (minutos de anticipo) (Vega y Scenna, 1999).
- e) Control proporcional-integral-derivativo (PID).-** Este tipo de acción de control combina los tres tipos de reguladores inmediatos anteriores ya descritos (Vega y Scenna, 1999).
- f) Controladores secuenciales.-** Los procesos discretos y discontinuos tienen gran similitud entre ellos. Ambos procesos podrán controlarse mediante el mismo tipo de sistema de control, llamado controlador secuencial. Los procesos que se pueden controlar en forma secuencial tienen las siguientes características (Vega y Scenna, 1999):

- El proceso se puede descomponer en una serie de estados que se activarán en forma secuencial.
- Cada uno de los estados cuando está activo, realiza una serie de acciones sobre los actuadores.
- Las señales procedentes de los sensores, controlan la transición entre estados.
- Las variables empleadas en el proceso y sistema de control, son múltiples y generalmente de tipo discreto, solo toman dos valores: activado o desactivado.
- Dependiendo de cómo se realice la transición entre los estados, los controladores secuenciales pueden ser de dos tipos: asíncronos y síncronos.

#### 2.3.6. MICROCONTROLADOR ( $\mu$ cc)

Es una microcomputadora en un solo circuito integrado (*UMSNH-FIE, 2005*)

Microcontrolador es un circuito integrado que contiene muchas de las mismas cualidades que una computadora de escritorio, tales como la CPU, la memoria, etc., pero no incluye ningún dispositivo de “comunicación con humanos”, como monitor, teclados o mouse. Los microcontroladores son diseñados para aplicación de control de máquinas, más que para interactuar con humanos (*PARALAX, 2003*)

Llamamos a éstos dispositivos “microcontroladores”. Micro porque son pequeños, y controladores porque controlan máquinas o incluso otros controladores. Los Microcontroladores, por definición entonces, son diseñados para ser conectados más a máquinas que a personas (*PARALAX, 2003*)

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador (*PUC, 2006*)

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertos serie y paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

**FIGURA 10:** Microcontrolador 16F877



FUENTE: PARALAX, 2003

### Los Puertos Paralelos de Entrada / Salida

Los integrados PIC16F874 y PIC16F877 poseen cinco puertos de entrada/salida denominados PORTA, PORTB,..., PORTE. Estos puertos son totalmente programables, es decir, sus líneas pueden ser configuradas para trabajar como entradas o como salidas a selección del programador (Smith y Corripio, 1997).

#### El Puerto A (PORTA).

El puerto A posee seis líneas bidireccionales. Los tres registros asociados a este puerto son: registros PORTA (05H).- Registro de estado del Puerto A. Cada uno de los seis bits menos significativos (RA5,...,RA0) de este registro están asociados a la línea física correspondiente del puerto. Al

hacer una *lectura* este registro se lee el estado de *todas* las patitas del puerto. Todas las *escrituras* al registro son operaciones del tipo “lee-modifica-escribe”, es decir, toda escritura al puerto implica que el estado de las patitas es leído, luego es modificado y posteriormente se escribe al latch de datos del puerto (*Smith y Corripio, 1997*).

### **El Puerto B (PORTB)**

El puerto B es un puerto digital de 8 bits, todas sus patitas son bidireccionales y trabaja en forma similar al puerto A. Tiene tres registros asociados: El registro de datos PORTB, el registro de dirección de los datos TRISB y el registro OPTION\_REG (*Smith y Corripio, 1997*).

### **El puerto C (PORTC)**

El puerto C consta de 8 líneas bidireccionales. Trabaja en forma similar a los dos puertos anteriores (*Smith y Corripio, 1997*).

### **Los Puertos D y E**

**El puerto D** es un puerto de 8 líneas configurables como entradas o salidas mediante el registro TRISD (88H) y cuyas líneas pueden ser accedidas mediante el registro PORTD (08H). Cuando se configuran como entradas éstas poseen un disparador Schmitt (*Smith y Corripio, 1997*).

**El Puerto E** sólo posee 3 líneas configurables como entradas o salidas mediante el los 3 bits menos significativos del registro TRISE (89H). Sus líneas pueden ser acezadas mediante los 3 bits menos significativos del registro PORTE (09H). Las líneas del puerto E están compartidas con el convertidor analógico / digital, por ello, antes de usarlas deberán ser configuradas como entradas / salidas digitales o analógicas, según se desee en forma similar a como se hizo con el puerto A, usando el registro de configuración ADCON1 (9FH) (*Smith y Corripio, 1997*).

El Puerto D puede configurarse para trabajar simultáneamente con sus 8 bits como un puerto esclavo (**Parallel Slave Port**) de comunicación paralela bidireccional con líneas de protocolo proporcionadas por las tres líneas del Puerto E, para ello se deberá activar el bit PSPMODE (TRISE<4>) (*Smith y Corripio, 1997*).

## 2.4. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

### 2.4.1. DESHIDRATACIÓN O SECADO

La deshidratación, desecación o secado es la operación unitaria en la que se elimina por evaporación o sublimación casi todo el agua presente en los alimentos, mediante la aplicación de calor bajo condiciones controladas. La deshidratación de alimentos determina una reducción del peso y normalmente también, del volumen, por unidad de valor alimenticio, e incrementa la vida útil de los productos desecados por reducción de su actividad de agua. Al reducir el contenido de agua de un alimento hasta un nivel muy bajo, se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y se reducen apreciablemente las velocidades de otros mecanismos de deterioro. Además del efecto conservante, mediante la deshidratación se reducen el peso y el volumen del alimento, aumentando la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje. La humedad final de esos alimentos deshidratados es del 1 al 16%, según el producto. En la operación básica de deshidratación intervienen dos factores importantes (*Alcázar, 2000*):

- 1) Transmisión de calor para suministrar el calor latente de vaporización necesario.
- 2) Movimiento del agua o vapor de agua a través del producto alimenticio y su alejamiento del mismo.

### 2.4.2. ÓSMOSIS

La ósmosis puede ser definida como el transporte de un disolvente a través de una membrana semipermeable, que separa dos soluciones de diferente concentración. La dirección de la corriente es siempre desde la solución más diluida (generalmente el disolvente puro) hacia la más concentrada. El fenómeno de ósmosis se presenta cuando una solución está separada de su solvente por una membrana semipermeable. La ósmosis es la difusión de solvente a través de la membrana desde la parte de menor a la de mayor concentración. Las membranas biológicas tienen permeabilidades distintas y se dice que son semipermeables, es decir que son permeables para las moléculas de los solventes o pequeñas moléculas, pero no permiten el paso libre de todas las moléculas disueltas, pues la ósmosis tiende a igualar las concentraciones de las soluciones en ambos lados de una membrana. El resultado final es la extracción de agua pura del medio ambiente (*Fito y Chiralt; citado por Ugarte, 2006*).

El fenómeno de ósmosis está sujeto a las siguientes leyes definidas:

- a. Para que el fenómeno de ósmosis tenga lugar, precisa de interposición de una membrana semipermeable.
- b. Precisa que dicha membrana semipermeable sea mojada, o mejor dicho que se deje inhibir por los líquidos que constituyen el solvente.
- c. Es indispensable que los líquidos que separa la membrana sean miscibles el uno en el otro.

Si un elemento anatómico se halla sumergido en el agua (medio hipotónico) éste pasará a hinchar la célula. Si por el contrario, se sumerge en un medio fuertemente concentrado (medio hipertónico) entonces el agua, es la que sale del alimento y este se corruga y deseca. Finalmente, la introducción en un medio de igual concentración molecular (medio isotónico), no gana ni pierde agua.

### 2.4.3. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

El agua contenida en un alimento no está toda disponible para el crecimiento microbiano pues parte de ella está ligada a los componentes del mismo. La actividad de agua es la mejor medida de la disponibilidad del agua necesaria para el crecimiento y desarrollo de las funciones metabólicas de los microorganismos y de la actividad enzimática. En el caso de los alimentos, se puede expresar como la relación entre la presión de vapor del alimento (pv) y la presión de vapor del agua pura (pvo), a la misma temperatura (pv/pvo) (Wolti; citado por Tepper, 1996).

La remoción de agua a partir de trozos de alimento se realiza con el fin de disminuir su actividad de agua y así inhibir el desarrollo microbiano y las relaciones de deterioro. Una de las formas más eficientes para remover agua de los alimentos es a través de la ósmosis, ya que no tiene que sufrir un cambio de estado (Bolin et al, y Schwartz; citados por Tepper, 1996).

La deshidratación osmótica es un proceso de obtención de alimentos de humedad intermedia (20 a 50% de agua, que no se pueden considerar como alimentos deshidratados), por inmersión en una solución altamente activa osmóticamente, mediante un proceso de transferencia de masa en contracorriente entre los tejidos vegetales y una solución concentrada, que lleva a la deshidratación del producto y también a cambios en su composición química, por lo que las propiedades del alimento así deshidratado difiere sustancialmente del producto secado por métodos convencionales (Alcázar, 2000).

En la deshidratación osmótica de frutas y hortalizas se han utilizado, soluciones de sacarosa, lactosa, glucosa, fructosa, maltodextrinas y almidón o jarabes de maíz. La deshidratación osmótica no reduce suficientemente la actividad de agua para impedir la proliferación de los microorganismos, pero aumenta en cierta forma la vida útil del alimento. Como ejemplos de este tipo de alimentos tenemos ciruelas, higos, melocotones y uvas confitadas, así como la fruta confitada.

La deshidratación osmótica es la primera mitad (pre-concentración) de un proceso de secado y consiste en la remoción de agua desde una solución contenida dentro de una membrana semipermeable (alimento) hacia una solución hipertónica que rodea al primero. Dado que ésta última tiene mas alta presión osmótica y, por lo tanto, más baja actividad de agua ( $a_w$ ), surge una fuerza impulsora de remoción de agua entre la solución y el alimento, mientras la natural pared celular actúa como la membrana semipermeable (Romero *et al*, 2001).

La deshidratación osmótica, consiste en la inmersión de un alimento en una solución de actividad de agua ( $a_w$ ) inferior a la suya, lo que establece un flujo de agua desde el alimento a la solución y un flujo de soluto en sentido contrario (Adambounou y Castaigne; citados por Ugarte, 2006).

La deshidratación osmótica consiste en sumergir los alimentos en soluciones hipertónicas con el objetivo de producir dos efectos principales: flujo de agua desde el producto hacia la solución hipertónica y flujo de solutos hacia el interior del alimento. En algunos casos se puede presentar la salida de solutos como son los ácidos orgánicos. Este fenómeno, aunque es poco importante por el bajo flujo de sólidos perdidos, puede modificar sustancialmente algunas propiedades del fruto como son las organolépticas (Genina, 2002).

La deshidratación osmótica es un proceso de deshidratación determinado por fenómenos de transporte, de difusión en un medio líquido. Se trata de extraer parcialmente el agua de un producto mediante el uso de la fuerza osmótica aportada por una solución concentrada de solutos diversos. La alta concentración del medio debe promover el transporte de agua desde el producto debido al gradiente de presión osmótica existente y al gradiente de concentración de agua entre producto y medio (Paltrinieri y Figuerola, 1997).

En este proceso de deshidratación se pierde la dependencia de las condiciones ecológicas externas al sistema y se pueden controlar todas las variables del proceso en la planta. La desventaja de este proceso es que el gradiente de presión osmótica no permite la eliminación de agua a niveles muy bajos como para permitir la absoluta conservación de los materiales en forma autónoma y se debe considerar este proceso como una etapa intermedia de elaboración y los productos, como productos intermediarios en una cadena que puede continuar hacia el deshidratado por medio de aire caliente o por liofilización, o el uso de los materiales para la extracción de pulpas o jugos, o la preparación de conservas.

La deshidratación osmótica consiste en la inmersión de un alimento, generalmente una fruta, ya sea entero ó en piezas, en una solución acuosa de alta concentración de soluto (*Torreggiani y Fito; citados por Corzo y Centeno, 2003*).

La deshidratación osmótica provoca al menos dos flujos en contra corriente: un flujo de agua del alimento a la solución y una transferencia de soluto desde la solución hacia el alimento. De manera general en función de los mecanismos de transporte de materia, las variables que afectan el proceso de deshidratación osmótica y que pueden manejarse operativamente son: temperatura del proceso, concentración de la solución osmótica, naturaleza del agente osmótico utilizado, presión relación masa producto a volumen de solución osmótica y agitación (*Raoult-Wack et al.; Argaiiz et al.; Rastogi y Raghavarao; Rastogi y Niranjani; Simal et al.; citados por Corzo y Centeno, 2003*).

El proceso de deshidratación osmótica se puede caracterizar por un periodo dinámico y otro de equilibrio (*Rahman citado por Corzo et al. 2004*).

Durante el periodo dinámico, la velocidad de transferencia de masa aumenta o disminuye hasta alcanzar el equilibrio. El equilibrio es la finalización del proceso osmótico, y por lo tanto la velocidad neta de transferencia de masa es cero. El estudio del estado de equilibrio es necesario para la modelación del proceso osmótico como una operación unitaria y es importante a la vez

para tener un buen conocimiento de los mecanismos de transferencia de masa en el sistema (*Barat et al. 1999*).

#### 2.4.4. FUNDAMENTOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Como se trata de la conservación de un material por disminución de actividad de agua, usando la fuerza osmótica de una solución de azúcar, sal u otros materiales, se puede realizar a temperatura del ambiente. Ello trae consigo muchos beneficios, especialmente en la calidad sensorial como sabor, aroma y color. Las soluciones que se usan como agentes osmóticos son soluciones concentradas de sacarosa, salmueras de alta concentración, maltodextrinas y jarabes de maíz de variada composición (*Ponnting et al; citado por Ugarte (2006)*).

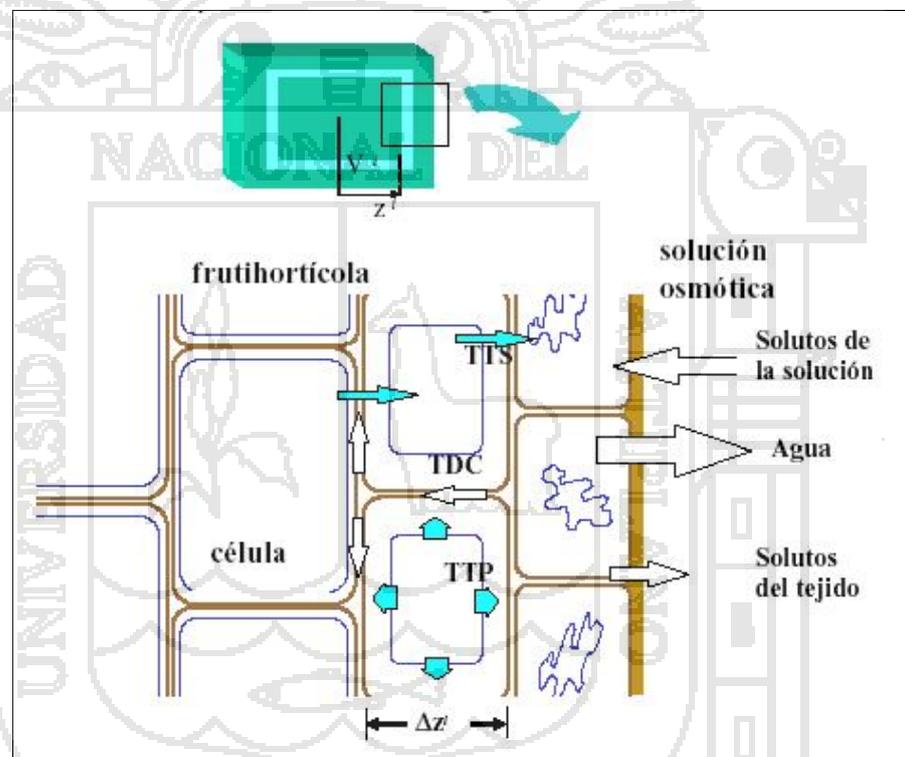
El proceso de ósmosis puede ser utilizado para remover agua de una solución diluida contenida dentro de una membrana semipermeable, rodeando ésta, con una solución más concentrada. El agua difunde a través de la membrana, desde la solución diluida hacia la concentrada hasta alcanzar equilibrio en la concentración. El principio puede aplicarse a cualquier tipo de tejido animal o vegetal, que pueda ser sumergido en soluciones concentradas de azúcar o sal.

Se considera que la membrana celular es semipermeable, con lo que sólo es posible transferencia de agua y de sales y azúcares naturales (fructosa, glucosa) a través de ella hacia el espacio extracelular (Transporte Transmembranario Plasmalemmático, TTP), o aún hacia una célula adyacente (Transporte Transmembranario Simplástico, TTS). Una vez que el agua y los constituyentes naturales alcanzan los espacios extracelulares, se transfieren hacia la solución osmótica. A su vez, los solutos de la solución osmótica se transfieren hacia el producto mediante un mecanismo semejante pero de dirección opuesta (Transporte Difusional-Convectivo, TDC). Como la pared celular es permeable a la mayoría de los solutos utilizados en DO, el espacio comprendido entre la membrana celular y la pared celular también es

considerado como espacio intercelular a los fines del modelado (Spiazzi y Mascheroni, 2001).

Durante la deshidratación la transferencia de materia en un tejido vegetal puede ser interpretada a través del esquema desarrollado en la Figura siguiente.

**FIGURA 11:** Esquema mostrando los distintos flujos que se consideran en la deshidratación osmótica



**FUENTE:** Spiazzi y Mascheroni, 2001

Los procesos de conservación de alimentos en general se diseñan en forma tal de asegurar una adecuada estabilidad microbiológica y bajo deterioro físico-químico y organoléptico del producto. La estabilidad microbiológica está relacionada con la actividad de agua del alimento y muchos procesos de preservación se basan en la disminución de actividad de agua ( $a_w$ ) (deshidratación, liofilización, etc.). Sumergiendo pedazos del alimento en

soluciones concentradas de azúcar, el agua puede ser extraída en más del 50% del peso original del alimento.

#### 2.4.5. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DEL PROCESO

Los factores que pueden afectar la deshidratación osmótica lo hacen sobre la velocidad de deshidratación. Estos factores que son de suma importancia en la deshidratación son la naturaleza del alimento, la relación alimento-solución, aditivos, agitación, el tipo y concentración de la solución osmótica, la temperatura, presión y el uso de películas (Torregani citado por Díaz Mora, 2003).

Las variables que influyen sobre el proceso de deshidratación osmótica son: características intrínsecas del alimento, tamaño de los trozos de éste, tipo de agente osmótico, concentración de la solución osmótica, temperatura, presión, agitación, la razón entre cantidad de alimento y cantidad de solución y tiempo (Tepper, 1996).

- a. **Características intrínsecas del alimento** El grado de compactación del tejido, actividad enzimática, el estado de madurez y el cultivar, el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles, espacio intercelular, proporción entre las diferentes sustancias pécticas y grado de gelificación de la pectina son factores que afectan el grado de deshidratación (Giangiacomo et al, Lerici et al, Schwartz, Lenart y Flink; citados por Tepper, 1996).

Torregani encontró que cada alimento tiene una estructura celular diferente, por lo que permite el paso de moléculas distintas. La permeabilidad del tejido varía con la madurez, estructura física, condiciones de almacenamiento, compactación de tejido, contenido de sólidos solubles y espacios intercelulares. También los factores que se ven influenciados son la variabilidad en la pérdida de agua y ganancia

de sólidos en diferentes vegetales que son sometidos a una deshidratación osmótica (Díaz Mora, 2003).

- b. **Tamaño de los trozos** Al reducir el tamaño del trozo sometido a una deshidratación osmótica aumenta la superficie específica y también la pérdida de agua. Sin embargo existe un límite de tamaño bajo el cual lo que se favorece en gran medida es la ganancia de sólidos (Islam y Flink, Lerici et al; citados por Tepper, 1996).
- c. **Tipo de agente osmótico** El agente osmótico debe tener una alta solubilidad, un alto poder depresor de la actividad de agua y características organolépticas compatibles con el alimento. Un soluto de mayor peso molecular favorece la pérdida de agua en desmedro de la ganancia de sólidos, mientras que un soluto de bajo peso molecular (como mono/disacáridos o NaCl), favorece la ganancia de sólidos con una consecuente menor pérdida de agua. Los agentes más usados son el NaCl y la sacarosa, pero se puede usar cualquier soluto soluble (como dextrosa y jarabe de maíz) o solvente miscible con el agua, como etanol, entre otros (Raoult-Wack, 1994), ( Lerici et al, Heng et al, Raoult-Wack; citados por Tepper, 1996). en la selección de cual solución osmótica se puede usar, debe tenerse en cuenta lo siguiente (Paltrinieri y Figuerola, 1997):
- Una solución con mayor peso molecular tendrá mejor efecto osmótico que una solución con bajo peso molecular.
  - Una solución con bajo peso molecular favorecerá el ingreso de soluto al producto más que la salida de agua desde el producto. Este es el caso de la sal común.

Cuando existe mayor madurez en el producto o se usan temperaturas más altas, se pueden usar soluciones de sustancias de tamaño

molecular mayor, porque el producto presenta una estructura más abierta a nivel de la pared celular.

Argaiz et al, y Marcotte; citados por Díaz Mora, 2003, sostienen que el tipo de agente osmótico afecta los parámetros de pérdida de agua y ganancia de sólidos. La selección de soluto o solutos para la solución osmótica está basada en 3 factores importantes:

- Características sensoriales del producto.
- El costo de los solutos.
- El peso molecular de los solutos.

**CUADRO 3:** Usos y ventajas de los solutos

Nombre	Usos	Ventajas
<b>Cloruro de sodio</b>	Principalmente en carnes y vegetales. Soluciones hasta 10%.	Gran capacidad de deprimir aw.
<b>Sacarosa</b>	Principalmente en frutas.	Reduce el oscurecimiento y aumenta la retención de volátiles.
<b>Lactosa</b>	Principalmente en frutas.	Sustitución parcial por sacarosa.
<b>Glicerol</b>	Frutas y vegetales.	Mejora textura.
<b>Combinación</b>	Frutas, vegetales y carnes.	Mejora las características sensoriales, combina gran capacidad de depresión de aw de sales, con una gran capacidad de remoción de agua de azúcares.

FUENTE: Barbosa Canóvas, (1996)

- d. **Concentración de la solución osmótica** La transferencia de masa, principalmente la pérdida de agua, se ve favorecida por el uso de

soluciones altamente concentradas (*Pointing et al, Farkas y Lazar, Heng et al, Raoult-Wack et al, Hawkes y Flink, Lenart y Flink*; citados por *Tepper, 1996*).

Los intercambios de masa son favorecidos al utilizar soluciones de alta concentración. Al incrementar la concentración de la solución, la proporción de pérdida de agua entre ganancia de sólidos se incrementa (*Raoult-Wack et al, citado por Díaz Mora, 2003*).

- e. **Temperatura** La temperatura tiene un efecto significativo sobre la deshidratación, afectando tanto la tasa osmótica como cambios bioquímicos. A pesar de que la tasa de deshidratación aumenta con la temperatura, no conviene sobrepasar los 49 °C ya que se generan problemas por pardeamiento enzimático y se deteriora el sabor. Temperaturas superiores a 60 °C modifican el tejido, favoreciendo los fenómenos de impregnación (*Liu, Shafiur, Pointing et al, Schwartz et al, Lenart y Flink, Farkas y Lazar, Bongirwar y Sreenivasan, citados por Tepper, 1996*).

La temperatura es un factor importante ya que la transferencia de masa en el proceso se ve afectado por éste. Sin embargo las velocidades de deshidratación se incrementan con el aumento de la temperatura, por arriba de 49°C se inicia el oscurecimiento enzimático y el deterioro del sabor (*Cortez; citado por Díaz Mora, 2003*).

Schwartz et al, deshidrataron por osmosis manzana variedad Granny Smith usando diferentes temperaturas, y determinaron que a medida que aumenta la temperatura, se producen una mayor pérdida de agua y peso (*Tepper, 1996*).

- f. **Presión** Bajo condiciones de vacío aumenta la ganancia de sólidos, posiblemente porque se liberan gases atrapados en el tejido, dejando el espacio libre para los solutos (*Hawkes y Flink; citado por Tepper, 1996*).

- g. **Agitación** Como se esperaría, la deshidratación aumenta en el inicio cuando se agita la solución (*Pointing et al, Bongirwar y Sreenivasan*; citados por *Tepper, 1996*); posteriormente, la difusión controla la velocidad de salida del agua.
- h. **Razón alimento vs solución** La tasa osmótica aumenta al aumentar la razón solución-alimento, pero el efecto es pequeño (*Bongirwar y Sreenivasan*; citado por *Tepper, 1996*).
- i. **Tiempo** En la medida en que aumenta el tiempo de procesamiento, se produce una mayor pérdida de agua y una mayor ganancia de sólidos, sin embargo, no conviene deshidratar más allá de una pérdida del 50% del peso pues la tasa osmótica disminuye en el tiempo. La principal pérdida de agua ocurre durante las dos primeras horas y la mayor ganancia de sólidos durante los primeros 30 minutos (*Conway et al, Pointing et al, Raoult-Wack et al*; citados por *Tepper, 1996*).

El incremento en el tiempo de contacto de la solución con el alimento da como resultado una deshidratación más efectiva. Se ha observado que en las primeras 2 horas del proceso, las velocidades de pérdida de agua y ganancia de sólidos son altas; a partir de las siguientes horas las velocidades sufren una dramática disminución (*Cortez*; citado por *Díaz Mora, 2003*).

#### 2.4.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

##### Ventajas:

- Existe la posibilidad de formular un alimento valiéndose del proceso de impregnación, lo que permite obtener productos con características nutricionales y organolépticas superiores.
- La textura final mejora considerablemente ya que las células no colapsan al perder agua y, además, la incorporación de solutos tiene

un efecto protector sobre la estructura celular, haciendo al alimento más resistente a tratamientos posteriores (*Raoult-Wack, 1994*).

- Se ahorra energía ya que como se dijo anteriormente la deshidratación ocurre por una ósmosis y no a través de un cambio de fase del agua (*Raoult-Wack, 1994*).
- Al aplicar temperaturas moderadas durante el proceso, el daño que se produce en el color y sabor es mínimo y hay una mayor retención de compuestos volátiles. Además, se inhibe el pardeamiento enzimático lo que evita el uso de sulfitos (*Berinstain et al, 1990*); *Schwartz, 1993*).
- La aplicación de esta técnica permite a los productores ofrecer la fruta para su procesamiento inmediato, o bien mantenerla durante varios meses como producto de humedad intermedia para su posterior industrialización cuando las condiciones del mercado lo aconsejen. *Schwartz, 1993*).

#### Desventajas:

- Es importante destacar que una DO no genera productos estables en el. Tiempo, por lo que preferentemente se debe usar como un pretratamiento de otros procesos como secado, congelado, pasteurizado, enlatado y otros (*Raoult-Wack; Guilbert et al; Collignan et al; citados por Tepper, 1996*).
- La cantidad de solución osmótica diluida que queda en un proceso a gran escala, constituye una gran limitante, ya que para que este proceso llegue a ser factible económicamente, la solución debería ser reconcentrada y reusada (*Bolin et al; citado por Tepper, 1996*).

## 2.5. ASPECTOS GENERALES DE LA PAPAYA

### 2.5.1. DEFINICIÓN

La caricácea más conocida es la papaya, originaria de las tierras bajas de América Central. El género *Carica* incluye por lo menos 40 especies nativas, de éstas, *C. papaya* L. de la variedad Pauna Amarilla es la que más se cultiva

en la ceja de selva de la región Puno. La especie *carica* papaya verdadero papayo es una planta siempre verde de crecimiento muy rápido. El tallo es herbáceo, fistulado, succulento y con látex lechoso. (*Franciosi 1992*).

### 2.5.2. TAXONOMIA

El papayo cuyo nombre científico es *Carica Papaya* Linn que se ubica dentro de la siguiente ubicación taxonómica (*Franciosi 1992*):

REINO : Vegetal.  
 DIVISIÓN : Magnoliophyta  
 CLASE : Dicotiledonea  
 SUB CLASE : Arquiclaroidea  
 FAMILIA : Caricaceae  
 GÉNERO : *Carica* L., 1753  
 ESPECIE : *Papaya* L., 1753  
 VARIEDAD : Pauna Amarilla

### 2.5.3. CARACTERÍSTICAS DE LA PAPAYA VARIEDAD “PAUNA AMARILLA”

#### Generalidades del Cultivar Pauna Amarilla

Desde agosto de 1964, la Universidad Nacional Agraria, a través de su Programa de Frutales Nativos, ha venido realizando una serie de experimentos sobre mejoramiento y obtención de nuevos cultivares de papaya en el Perú. Los resultados se han sido materializados con la obtención de una variedad llamada “Pauna”. El nombre Pauna proviene de: Papaya y U.N.A. de la Universidad Nacional Agraria, La Molina. La introducción de este nuevo cultivar, ha tenido gran aceptación de parte del agricultor. (*Franciosi 1992*)

#### Composición físico química de la Papaya variedad Pauna

Las condiciones fisiológicas y climáticas, temperaturas, horas de sol, suelo, etc. Contribuyen considerablemente en características físicas y químicas de la fruta de papaya.

El papayo desarrolla tallo único sin ramificaciones de consistencia herbácea, algo leñoso sobre la base. Este tallo termina en un mechón de hojas de peciolo largo. (Sevilla, 1978). Los frutos tienen un promedio del 12% de sólidos solubles compuestos principalmente por azúcares (10%); contienen además 35 – 55 mg de ácido ascórbico, 30 – 35 mg de tiamina y 150 – 170 mg de riboflavina por cada 100 gr. de pulpa. En cuanto a los otros componentes podemos mencionar los siguientes: proteínas (0.5 gr.), grasas (0.1 gr) y carbohidratos (6.2 gr.). La fruta que ha llegado a su máximo tamaño, pero que todavía no está madura se utiliza en la preparación de confitados (Franciosi, 1992)

Entre las características químicas de la papaya tenemos el contenido de ácido ascórbico, pH, la acidez y el porcentaje de azúcares totales. El pH de la papaya fluctúa de acuerdo al grado de madurez y a la variedad.

**CUADRO 4:** Valores de pH y sólidos solubles de la variedad Pauna

Estado de madurez	Sólidos solubles (°Brix)	pH
Papaya verde o inmadura	5.8	6.60
Papaya pintona o verde-amarillo	8.4	5.25
Papaya madura o amarilla	10.20	5.15

**FUENTE:** Sevilla, 1978

El análisis fisicoquímico de frutas de papaya se muestra en el siguiente cuadro:

**CUADRO 5:** Análisis físico químico de frutas de papaya

pH	MS (%)	Cenizas (%)	Proteínas (%)	Azuc. reductores	Sacarosa	Azuc. Total
5,600	6,480	0,550	0,542	-----	-----	2,200
5,650	5,950	0,632	-----	-----	-----	4,100
5,300	8,710	0,488	-----	-----	-----	5,400
5,500	7,820	0,488	-----	-----	-----	5,100
5,300	8,540	0,608	0,472	6,850	0,300	7,150
5,400	6,720	0,568	0,509	4,850	0,006	4,850
5,450	8,460	0,702	0,437	7,150	0,150	7,300
5,700	9,060	0,518	0,472	8,000	-----	8,000
5,700	6,870	0,562	0,420	4,100	-----	4,100

**FUENTE:** Schomberg (1968) citado por Sevilla (1978)

La relación que existe entre la acidez y el porcentaje de azúcares depende necesariamente de la variedad y del grado de madurez de la fruta. Así se puede decir que la fruta contiene de 7 a 12% de azúcares, la mayor parte de estos azúcares aparecen en el fruto durante las 2 a 3 semanas anteriores de la maduración (Alvarez 1984).

En el siguiente cuadro se representan las características físico-químicas de la papaya variedad Pauna Amarilla.

**CUADRO 6:** Composición físico química de la papaya variedad Pauna Amarilla

Características	Valores
Humedad (%)	87,00
Proteína (%)	0,39
Grasa (%)	0,05
Fibra (%)	0,77
Cenizas (%)	0,25
Sólidos Totales (%)	13,00
Vitamina C (mg/100g,)	2,00
Pectina (%)	0,81
Azúcares reductores (%)	2,75

**FUENTE:** Álvarez 1984

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

El deshidratador osmótico fue construido en la Empresa Industrial “SISOLAR” de la ciudad de Puno. Para la construcción del deshidratador osmótico se utilizaron los materiales que se muestran en el siguiente cuadro:

**CUADRO 7:** Materiales para la construcción

MATERIAL	UNIDAD DE MEDIDA	CARACTERISTICAS	FUNCIÓN
Plancha metálica de acero inoxidable..	Plancha inox.	AISI 304	Tanque agitador y canastilla.
Fierro angular	Barillas	1/8 plg	Estructura de soporte.
Soldaduras	Unidades	Inox-mic	Soldadura uniones.
Pernos		L=1.45 plg D= 1 PLG.	Seguro de estructura.
Poleas	Unidad	D= 20 cm H= 2 cm	Unión del equipo con el tanque agitador.
Acero Negro	Tubos	L = 10m	Soporte de estructura.
Válvulas de paso	Unidades	D=½ plg.	Alimentación y purga.
Tubos de acero inoxidable.	Unidades	D= ½ plg L=1.5m	Alimentación y purga.
Faja	Unidades	D= 1 m L= 1 cm	Para el sistema de agitación.
Cojinetes	Unidades	D=1plg A=1plg	Para el deslizamiento del agitador.
Pintura	Glns.	Plomo plateado	Recubrimiento.
Motor eléctrico	Unidad	Cervomotor 24V	Para el agitador.
Termocupla	Unidad	Tipo K	Control de temperatura.

**Fuente:** Elaboración propia.

Para la construcción del equipo de deshidratación osmótica, se realizaron también algunos cálculos para el diseño; los cuales se muestran a continuación:

**Cálculo de las dimensiones del deshidratador osmótico**

**a) Datos**

- Densidad de la papaya:

$$p = 1087.98 \text{ Kg./m}^3$$

- Masa de la papaya:

$$mp = 2 \text{ Kg.}$$

- Densidad del jarabe de inmersión:

$$j = 1517.78 \text{ Kg./m}^3$$

- Para el cálculo del volumen se toma la relación:

$$\text{Jarabe/producto (papaya)} = 5/1$$

**b) Volumen ocupado por la papaya**

$$V_p = \frac{m_p}{u_p} \dots\dots\dots(1)$$

$$V_p = \frac{2 \text{ Kg}}{1087.92 \text{ Kg} / \text{m}^3}$$

$$V_p = 0.0018 \text{ m}^3$$

**c) Volumen ocupado por el jarabe (Vj)**

- De la relación jarabe/producto 5/1 se tiene:

Si para 1Kg de papaya se necesita 5L de jarabe, entonces para 2Kg de papaya se necesitarán 10L de jarabe.

$$10L \text{ de jarabe} = 0.01 \text{ m}^3 \text{ de jarabe} = V_j$$

**d) Volumen de carga (Vc)**

$$V_c = V_p + V_j \dots\dots\dots(2)$$

$$V_c = 0.0018 \text{ m}^3 + 0.01 \text{ m}^3$$

$$V_c = 0.0118 \text{ m}^3$$

e) Dimensiones del tanque del deshidratador osmótico

- Volumen del tanque (Vt)

$$V_t = r^2 h$$

$$V_t = Vc = \frac{fD^3}{4} \dots\dots\dots(3)$$

- Según Mc. Cabe Smith (1966) se tiene la relación:

$$\frac{h}{D} = 1 \text{ para volúmenes menores a } 1\text{m}^3 \text{ (para reactores).}$$

- De la ecuación (3):

$$V = \frac{fD^3}{4}$$

$$D_o = \sqrt[3]{\frac{4V_t}{f}}$$

$D_o = 0.2468 \text{ m}$  Entonces:  **$h_o = 0.2468\text{m}$**

- Considerando el 25% como factor de seguridad tenemos:

$H = h_o (1.25)$   
 $H = 0.2468 (1.25)$   
 **$H = 0.3\text{m}$**  y  **$D = 0.2468\text{m}$**

- Cálculo de la variación de altura ( H):

$H = 0.3 - 0.24$   
 **$H = 0.06\text{m}$**

- Cálculo del volumen de seguridad (Vs):

$V_s = H r^2$   
 $V_s = 0.06 (0.12)^2$   
 **$V_s = 0.027\text{m}^3$**

- Cálculo del volumen de la región cónica (Vf):

$D = 0.24\text{m}.$   
 $d = 0.0254\text{m}.$   
 $R = 0.12\text{m}.$   
 $r = 0.0127\text{m}$   
 $H_f = 0.05\text{m}$

$$V_f = \frac{f}{3} h_f (r^{2+} + R^2 + rR)$$

$$V_f = \frac{f}{3} (0.05m) + [(0.0127m)^2 + (0.12m)^2 + (0.12m * 0.127m)]$$

$$V_f = 0.00084m^3$$

- Entonces el volumen total del tanque (Vt) es:

$$V_T = V_i + V_s + V_f$$

$$V_T = 0.0118m^3 + 0.0027m^3 + 0.00084m^3$$

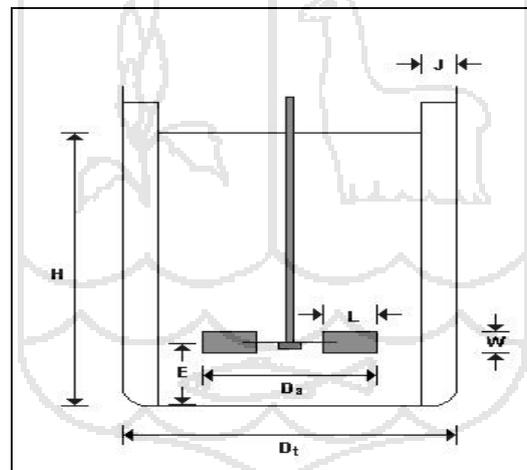
$$V_T = 0.01534m^3$$

$$V_T = 15.34L$$

**f) Cálculo de la potencia del motor para el agitador**

- Se usará un agitador de tres paletas:
- Factores de forma para un agitador de paleta:

**FIGURA 12.** Dimensiones Principales del tanque y del rodete



FUENTE: Pérez Polo, 2006

**CUADRO 8.** Factores de forma para este agitador:

$S_1 = \frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$	$S_2 = \frac{E}{D_a} = 1$	$S_3 = \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$
$S_4 = \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$	$S_5 = \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$	$S_6 = \frac{H}{D_t} = 1$

FUENTE: Pérez Polo, 2006

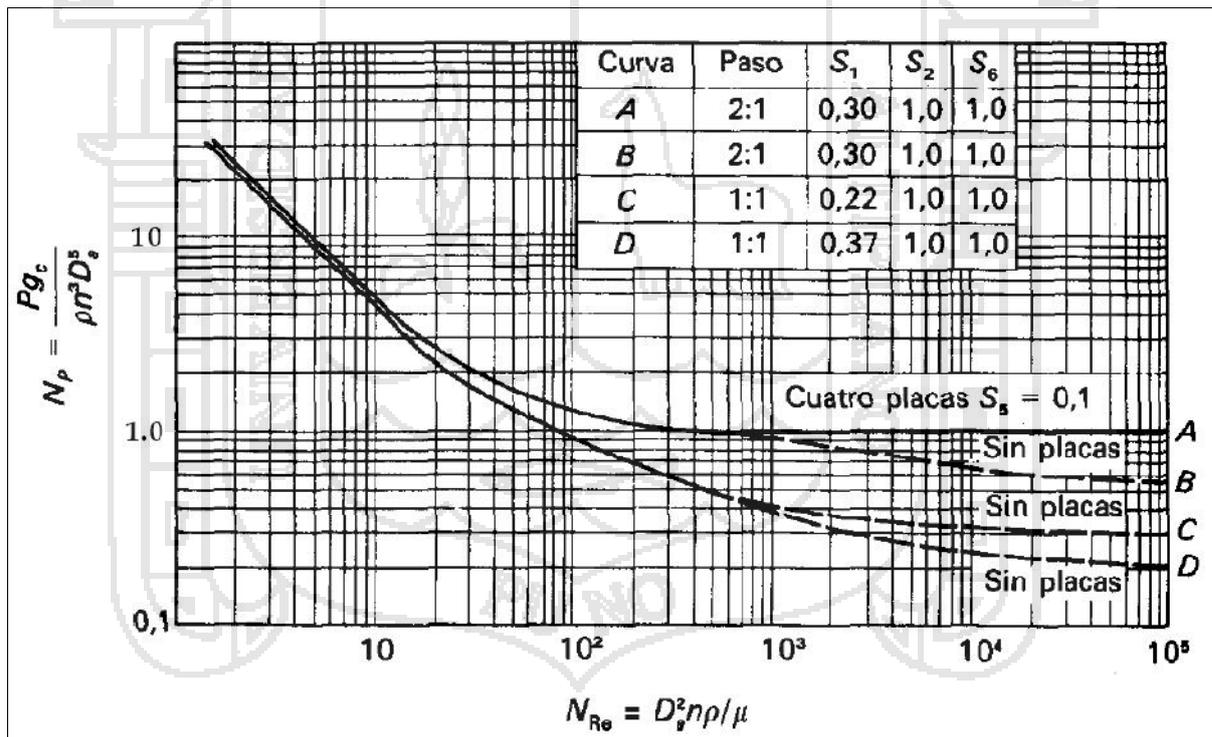
- Del **Cuadro** anterior tenemos que:

Da = 8cm  
 E = 8cm  
 L = 2cm  
 W = 1.6cm  
 J = 2cm  
 H = 24cm

- Con estos datos ir a la siguiente **Figura 13** .Se asemeja más a las curvas A y B. Escogeremos la curva B, entonces:

**Da = 0.08m**

**FIGURA 13.** Numero de potencia  $N_p$  frente a  $N_{Re}$  para rodetes de 3 palas.(Según Rushton et al.) Para las porciones de trazos de las curvas B, C y D, el valor de  $N_p$  que se obtiene de la figura hay que multiplicarlo por  $N_{m_{Fr}}$



FUENTE: Pérez Polo, 2006

- Cálculo del número de Reynolds (NRe) del jarabe:

$$N Re \equiv \frac{N(D_a)^2 u_j}{\nu_j}$$

Donde:

- ✓ N: Número de revoluciones

$$N = 6 \text{ RPS}$$

- ✓ Da : Diámetro del tanque

$$Da = 0.08m$$

- ✓ j: Densidad del jarabe a 75 °Brix

$$j = 1087.93 \text{ Kg/m}^3$$

- ✓ Viscosidad del jarabe ( $\nu_j$ ):

$$\nu_j = 0.04374 \text{ Kg/m-s}$$

Entonces:

$$N Re \equiv \frac{6 (0.08)^2 1057.93}{0.04274}$$

$$N Re = 955.110$$

- Puesto que de la Cuadro 8 tenemos:

$$\frac{D_a}{W} = \frac{0.08m}{0.016m} = 5$$

- Además sabiendo que:

$$S_1 = 0.33$$

$$S_2 = 1$$

$$S_6 = 1$$

Con estos datos vemos la figura 13; Se asemeja a las curvas A y B- Trabajaremos con la curva B (Tabla para agitador de 3 paletas, sin placas deflectoras). Con NRe=955.11 tenemos que:

$$w = \frac{P}{uN^3(D_a)^5} \left( \frac{g}{N^2 D_a} \right)^m = 0.9 \dots\dots\dots(4)$$

donde:

w : Valor obtenido de la tabla..

P : Potencia.....

u : Densidad

N : Número de revoluciones por segundo.

g : Aceleración de la gravedad.

D<sub>a</sub> : Diámetro del tan que

m :

- Para el cálculo de m tenemos:

$$m = \frac{a - \log N Re}{b}$$

- Del cuadro 9 ara la curva **B** se tiene:

**CUADRO 9.** Constantes **a** y **b** para las curvas de la Figura 13.

FIGURA	Línea	a	b
A2	B	1.7	18.0
A2	C	0.0	18.0
A2	D	2.3	18.0

FUENTE: Pérez Polo, 2006

$$a = 1.7 \quad \text{y} \quad b = 18$$

- Entonces:

$$m = \frac{1.7 - \log(955.11)}{18}$$

$$m = -0.0711$$

- De la ecuación 4, despejando P tenemos:

$$P = 0.9 \left[ \frac{wN^3(D_a)^5}{\left(\frac{g}{N^2 D_a}\right)^m} \right]$$

$$P = 0.9 \left[ \frac{1087.93(6)^3(0.08)^5}{\left(\frac{9.81}{(6^2)(0.08)}\right)^{-0.0711}} \right]$$

**P = 0.011 HP**

### 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN

La automatización del deshidratador osmótico se realizó en las mismas instalaciones de la Empresa Industrial “SISOLAR” y se utilizaron los materiales que se muestran en el siguiente cuadro:

**CUADRO 10:** Materiales para la automatización

MATERIAL	UNIDAD DE MEDIDA	CARACTERISTICAS	FUNCIÓN
<b>Dispositivos electrónicos.</b>			
Microcontroladores	Unidad	Cod.16F877, configuración ADC.	Control del sistema.
Regulador de voltaje	Unidad	5V 7805	Regular voltaje.
Regulador de voltaje	Unidad	24V 7824	Regular voltaje.
Condensador electrolítico	Unidad	2220µF	Circuito.
Condensador electrolítico	Unidad	470µF, 47nF-400V	Circuito.
Resistencias	Unidad	220 ,1K,10K, , 7K. 10K	Temperatura de la chaqueta.
Borneras	Unidad	Conexión	Circuito.
Transformador	Unidad	24V	Transformar energía.
Teclado matricial	Unidad	4x4	Introducción de datos.
Display LCD	Unidad	16x2 Display Crystal	Visualización de datos.

		Liquid	
Circuito de control de velocidad	Unidad	IRF830	Control de velocidad.
Diodo	Unidad	1N4007	Circuito de velocidad..
Condensador cerámico	Unidad	100nF	Circuito de velocidad.
Optoacoplador	Unidad	MOC3021	Circuito de temperatura.
Optotriac	Unidad	310C3021	Circuito de temperatura.
Linealizador de señal de termocupla	Unidad	Tipo K AD595	Temperatura.
Resistencia de potencia	Unidad	1W 222	Circuito de temperatura.
Resistencia de calor	Unidad	1000W	Circuito de temperatura.
Disipador de calor	Unidad	Aluminio	Circuito de temperatura.
Control de resistencia	Unidad	bTA41660	Circuito de temperatura.
<b>Cables</b>			
Cable mellizo	Metro	16x2	Conexiones eléctricas.
Cable mellizo forrado	Metro	16x2	Conexiones eléctricas.
Cable rosado	Metro	20x2	Conexiones eléctricas.
Cables de conexión	Metro	22mm.	Conexiones eléctricas.
<b>Otros</b>			
Ventilador	Unidad	5V DC	Circuito de temperatura.
Disipador de calor	Unidad	Aluminio	Circuito de temperatura.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3. MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN

#### 3.3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

Las pruebas se realizaron en los laboratorios y planta piloto de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNA – Puno.

### 3.3.2. MATERIA PRIMA

Se utilizó papaya (*Carica papaya*) de la variedad Pauna amarilla: la cual pertenece a la campaña 2010 proveniente de San Juan del Oro, provincia de Sandia y departamento de Puno. La materia prima fue transportada en cajones acondicionados hasta la ciudad de Puno y finalmente desempacada en la planta piloto de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial para su procesamiento de acuerdo a los requerimientos de este proyecto.

Los materiales utilizados durante la evaluación se muestran en el siguiente cuadro:

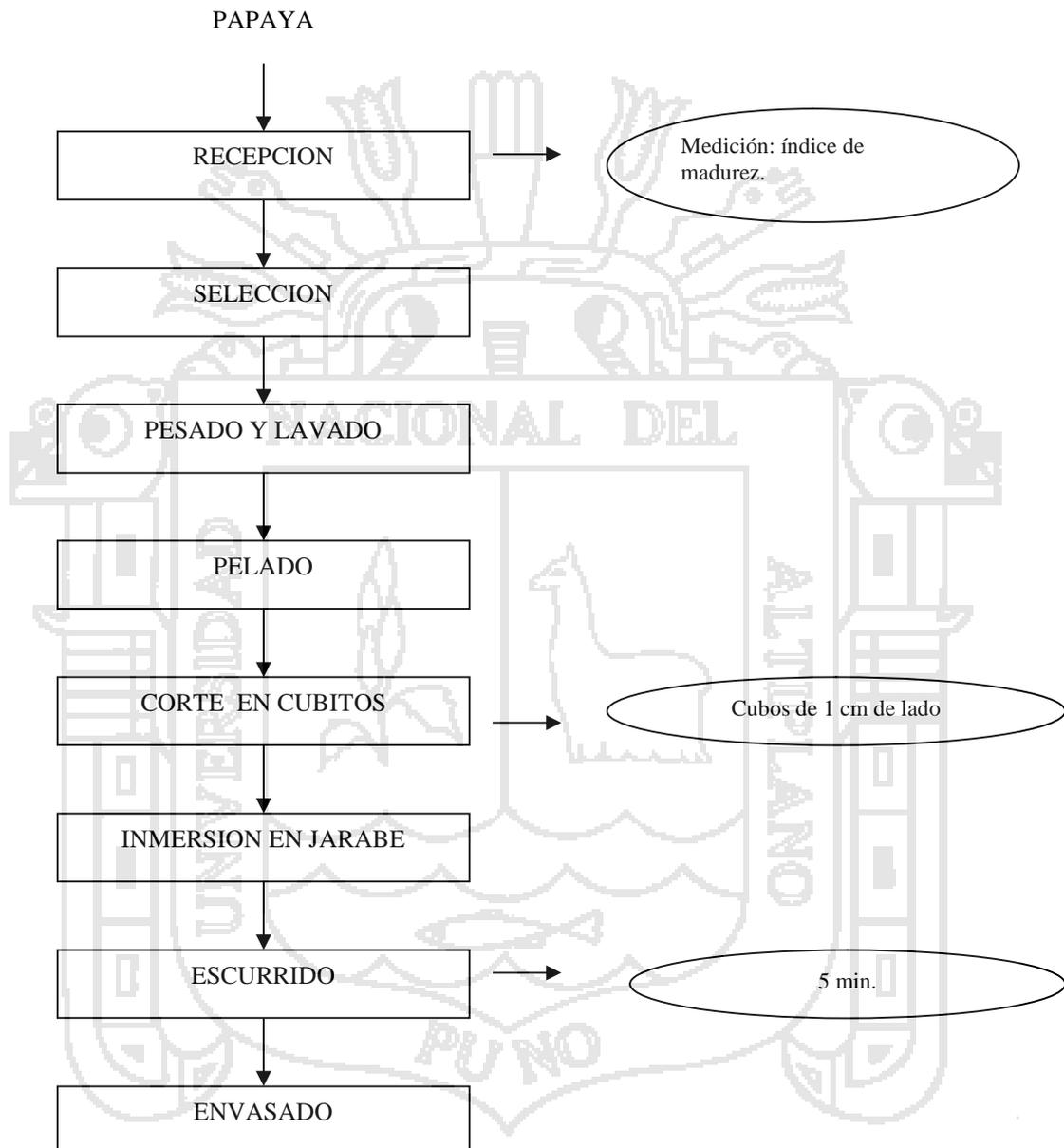
**CUADRO 11:** Materiales para la evaluación

<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>FUNCION</b>
Equipo de deshidratación Osmótica.	Unidad	Automatizado: Control de temperatura y velocidad de Agitación.	Ejecución del proceso.
Cuchillos	Unidad	Metal-madera	Trozado de la papaya.
Recipientes	Unidad	Cap.3L	Depósitos de la papaya.
Tablas de picar	Unidad	Material plástico	Trozado de la papaya.
Balanza	Unidad	0-10 Kg.	Pesado
Brixómetro	Unidad	0-100° Brix	Medición de los grados Brix.
Estufa	Unidad		Medición del porcentaje de humedad.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.3. MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN

**FIGURA 14:** Diagrama de flujo - metodología experimental



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

- **Recepción**

La papaya fue adquirida en el mercado de frutas de Puno.

- **Selección**

Se seleccionaron papayas no muy maduras y completamente sanas, la textura debe ser firme a fin de evitar deformaciones durante el proceso.

- **Pesado y lavado**

Se pesaron las papayas para calcular el rendimiento; asimismo se lavó el fruto para sacar la suciedad propia del fruto.

- **Pelado**

Se retiró la cáscara de la papaya, se cortó en cuartos y se le extrajeron las semillas.

- **Corte en cubitos**

Se trozó la pulpa en cubos de un centímetro de lado

- **Inmersión en jarabe**

Los cubos trozados se sumergieron en una solución osmótica (para este caso una solución de sacarosa) de 60° Brix a temperatura ambiente.

- **Ecurrido**

Se extrae la muestra y antes de realizar el control de peso se escurre un tiempo de 5 minutos.

- **Envasado**

El producto final fue envasado en bolsas de polietileno de una capacidad de 100g cada una.

### 3.3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el análisis de efectos de los factores en estudio (Temperatura de proceso y velocidad de agitación), sobre las variables de respuesta (Ganancia de sólidos solubles, peso del producto y humedad del producto) de los datos obtenidos se utilizó estadística descriptiva, realizando cálculos de coeficiente de determinación, error estándar. También se realizó el “ANOVA” para observar el efecto significativo de los factores en estudio, para ello se empleó el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURIÓN XV.II.msi.

La evaluación del proceso de deshidratación osmótica se llevó a cabo mediante un Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR); para evaluar la influencia de la temperatura y la velocidad de agitación sobre el deshidratado osmótico.

El DCCR tiene tres grupos característicos de tratamientos, que se denominan: tratamientos factoriales, tratamientos estrella y tratamiento central. El número de tratamientos es igual a  $2^p + 2p + C$ . Donde:  $2^p$  es el número de tratamientos básicos de la parte factorial,  $2p$  corresponde a los tratamientos de la parte axial o estrella y  $C$  constituye el tratamiento central que se repite un número determinado de veces dependiendo del número de factores o replicas del centro del diseño.

Para definir el nivel de significancia de cada uno de los coeficientes del modelo matemático del segundo orden se armó la tabla ANOVA, la cual nos permitió evaluar qué coeficientes del modelo matemático tienen influencia en la ganancia de sólidos solubles, según la  $F_c$ , observándose para un nivel de significancia del 95% y 7 grados de libertad.

**CUADRO 12:** Niveles y sus respectivos valores reales de los dos factores en estudio para la Evaluación

DENOMINACIÓN	FACTORES EN ESTUDIO	
	TEMPERATURA (°C)	AGITACIÓN (RPM)
Nivel mínimo	20.8579	55.8579
Nivel bajo	25	60
Nivel medio	35	70
Nivel alto	45	80
Nivel máximo	49.1421	84.1421

**Fuente:** Elaboración propia.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. DE LA CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN EQUIPO EN SECADO POR ÓSMOSIS

Se construyó un equipo de deshidratado osmótico automatizado, en la Empresa Industrial “SISOLAR” ubicado en Salcedo - Puno entre los meses de abril y diciembre del 2009. Dicho equipo es capaz de controlar la temperatura y velocidad de agitación del proceso. En base a los cálculos realizados, se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro 13.

**CUADRO 13:** Características del deshidratador osmótico automatizado construido en la Empresa Industrial “SISOLAR” (2009)

DETALLE	MEDIDA
Volumen total del deshidratador	0.01534 m <sup>3</sup>
Diámetro	0.25 m
Altura	0.30 m
Diámetro del agitador	0.08 m
Velocidad del Agitador	60 rpm – 150 rpm
Potencia del motor	1/8 HP
Material (acero Inox. AISI 304)	

**Fuente:** Elaboración propia.

El deshidratador osmótico es de tipo cilíndrico de forma vertical de una capacidad total de 0.01534 m<sup>3</sup>, con un diámetro de 0.25 m; la altura es de 0.30 m. Cuenta con un agitador de 0.08 m de diámetro; puesto que Brennan citado por Borda y Gamarra (2002), indica que el diámetro de los agitadores debe ser de 30 – 50% del diámetro del tanque de agitación. Para el presente equipo se consideró la relación del Cuadro 8, la potencia del motor es de 1/8 HP.

Se determinó que el deshidratador tenga una capacidad 2 Kg. de producto a procesar, con una relación jarabe/producto de 5/1, entonces el volumen de carga es de 0.0118 m<sup>3</sup>.

El deshidratador consta internamente de una canastilla que puede hacer las veces de deflector, en ello se produce el agitado necesario para un proceso de secado por ósmosis. Además consta de un sistema de automatización por microcontroladores, que mantienen controladas las variables del proceso (temperatura y velocidad de agitación) lo más cerca posible del punto de control.

Se automatizó el equipo de deshidratación osmótica mediante el uso de microcontroladores, ya que estos están diseñados para la aplicación de control de maquinas como lo menciona Parallax (2003).

Se eligió este tipo de automatización por las características de proceso y por ser el deshidratador osmótico un equipo construido para su uso a nivel de laboratorio; y así mostrar uno de los tipos de automatización.

#### 4.2. DE LA EVALUACIÓN

En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos de la evaluación:

**CUADRO 14:** Resultados de la evaluación del deshidratador osmótico evaluado en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla obtenidos en la Planta Piloto de EPIA – FCA. (2010)

VARIABLES CONTROLADAS		VARIABLES DE RESPUESTA		
TEMPERATURA ° C	AGITACIÓN RPM	° BRIX DEL PRODUCTO	PESO DEL PRODUCTO (g)	HUMEDAD (%)
25	60	27	893	77,30
45	60	48	600	61,74
25	80	28	980	77,16
45	80	49	736	71,42
20,8579	70	24	806	74,92
49,1421	70	39	818	66,33
35	55,8579	43	804	73,46
35	84,1421	44	800	70,12
35	70	43	798	73,46
35	70	44	800	70,12
35	70	44	798	69,59
35	70	45	801	67,34
35	70	45	803	65,21

**Fuente:** Elaboración propia.

En el cuadro 15 se presenta el resumen de los análisis de varianza de las variables de respuesta (variación de: sólidos solubles, peso y humedad), características que son influenciadas por los factores en estudio, se muestran también los efectos principales, efectos de las interacciones, los efectos cuadráticos y sus correspondientes coeficientes de regresión de los términos del modelo estadístico.

**CUADRO 15.** Análisis de varianza de sólidos solubles, peso y humedad; de la evaluación del deshidratador osmótico en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla. (2010)

Fuente	Gl	Valores de p-Valué (F<Fo)			Coeficientes de Regresión		
		Sólidos Solubles	Peso Producto	Humedad Producto	Sólidos Solubles	Peso Producto	Humedad Producto
Constante					-88,0933	224,289	1187,23
A: Temperatura	1	0.0001**	0.0555 <sup>NS</sup>	0.0087**	5,06018	-2,77702	-18,4441
B: Velocidad de agitación	1	0.9457 <sup>NS</sup>	0.3696 <sup>NS</sup>	0.6198 <sup>NS</sup>	0,847313	-2,89538	-1,30818
AA	1	0.0009**	0.8786 <sup>NS</sup>	0.4861 <sup>NS</sup>	-0,0610002	0,00914878	0,0481251
AB	1	1.0000 <sup>NS</sup>	0.7687 <sup>NS</sup>	0.1783 <sup>NS</sup>	0,0	0,02455	0,1225
BB	1	0.6064 <sup>NS</sup>	0.9952 <sup>NS</sup>	0.2679 <sup>NS</sup>	-0,00599993	0,0149738	-0,00187515
Error total	7						
Total (Corr.)	12						

Fuente: Elaboración propia.

\*\* :  $p < 0.01$

\* :  $0.01 < p < 0.05$

NS :  $p > 0.05$

Gl : Grados de libertad

En el cuadro 15, se aprecia que el factor temperatura tiene un efecto principal altamente significativo sobre la variación de sólidos solubles y humedad del producto, por otra parte se observa que no es significativo para el caso del peso del producto. La temperatura tiene efecto cuadrático altamente significativo sobre la variación de sólidos solubles y no significativo para la humedad y peso del producto.

Cabe aclarar que el efecto cuadrático de la temperatura indica que: para la temperatura y variable de respuesta “sólidos solubles”, los sólidos solubles, en un primer momento incrementan progresivamente de manera significativa hasta llegar a un punto máximo. En un segundo momento los sólidos solubles disminuyen significativamente, empeorando así el proceso.

**4.2.1. EFECTO DE LOS FACTORES EN ESTUDIO SOBRE LA VARIACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES**

En el cuadro 16, del análisis de varianza de la variación de sólidos solubles.

Las variables más relevantes durante el proceso son: la temperatura y su respectivo efecto cuadrático.

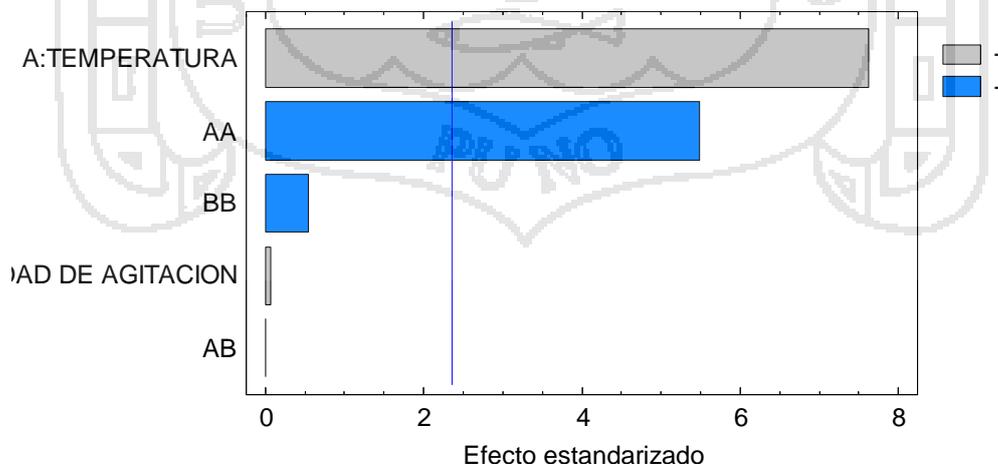
**CUADRO 16:** Análisis de Varianza para VARIACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES, de la evaluación del deshidratador osmótico en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla. (2010)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: TEMPERATURA	499,489	1	499,489	58,01	0,0001**
B: VELOCIDAD DE AGITACION	0,0428938	1	0,0428938	0,00	0,9457 <sup>NS</sup>
AA	258,852	1	258,852	30,07	0,0009**
AB	0,0	1	0,0	0,00	1,0000 <sup>NS</sup>
BB	2,50427	1	2,50427	0,29	0,6064 <sup>NS</sup>
Error total	60,2682	7	8,60974		
Total (corr.)	818,923	12			

Fuente: Elaboración propia.

\*\* :  $p < 0.01$   
 \* :  $0.01 < p < 0.05$   
 NS :  $p > 0.05$   
 Gl : Grados de libertad

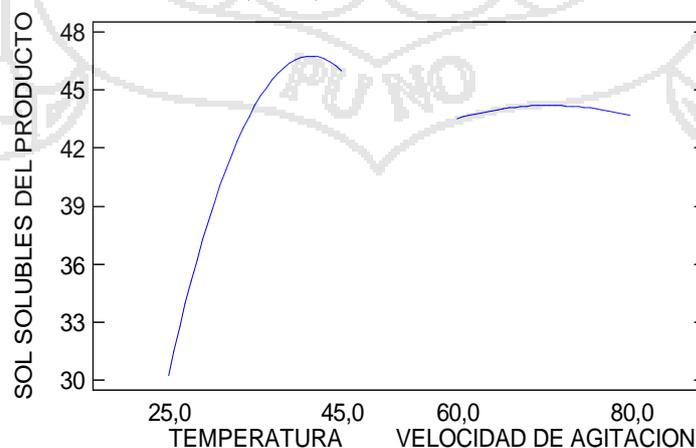
**GRAFICO 1:** Diagrama de Pareto estandarizado que muestra el ANOVA para la variación de sólidos solubles en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla, de la evaluación del deshidratador osmótico. (2010)



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Pareto estandarizado mostrado en la Figura 15, es una representación gráfica del análisis de varianza, donde se observa el factor más influyente sobre la variación de sólidos solubles en el proceso de deshidratación osmótica. El efecto de color azul (-) es inversamente proporcional a la variable de respuesta (sólidos solubles), mientras que el de color plomo (+) es un efecto directamente proporcional a la variable de respuesta. El diagrama incluye una línea vertical cuya ubicación depende del intervalo de confianza determinado (95% para el caso de estudio). Todo efecto que sobrepase la línea es de considerable significancia para el proceso. En el diagrama se observa claramente que el factor principal más influyente para el proceso es la temperatura junto con su efecto cuadrático. Esto indica que un cambio en la temperatura tendrá un efecto más relevante que cualquier cambio en otra variable, por lo cual la temperatura es de mayor importancia en el control del proceso para la variación de sólidos solubles. El otro efecto es de menor importancia para el proceso. Tal como lo mencionan Liu, Shafiur, Pointing et al, Schwartz et al, Lenart y Flink, Farkas y Lazar, Bongirwar y Sreenivasan, citados por Tepper, 1996; además mencionan que no conviene sobrepasar los 49 °C, tal como se observa en la figura 16.

**GRÁFICO 2:** Efecto de la temperatura y velocidad de agitación en la variación de sólidos solubles en el proceso de deshidratación osmótica de la papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla, realizado en la Planta Piloto de EPIA – FCA (2010).



**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 16, se observa que la temperatura influye considerablemente durante el proceso puesto que un aumento de esta intensifica la penetración de sacarosa; como lo mencionan Arreola y Rosas, 2007<sup>1</sup>. Esto quiere decir que con el incremento de la temperatura se observa también la variación de sólidos solubles de forma creciente, esto debido a que el aumento de la temperatura del medio osmótico va a producir cambios en la permeabilidad de la pared celular y en la fluidez del jarabe. La disminución de la permeabilidad produce una mayor velocidad de deshidratación, debido a la mayor movilidad de las moléculas y a la pérdida de la selectividad de la membrana, la cual permite una mayor expulsión del agua que sale de la fruta, y a su vez un mayor ingreso de solutos del jarabe. Esto reforzado por el contacto más íntimo entre el jarabe (que por acción del calor se ha hecho menos denso) y las paredes de las células, sin embargo al llegar la temperatura aproximadamente a 44 °C se observa la máxima variación creciente de los sólidos solubles, y que a valores mayores a este se observa que la variación de sólidos solubles decrece; esto se debe a que una alta temperatura en el proceso puede causar daño celular lo que produciría un mayor problema de absorción de soluto durante la deshidratación osmótica, además se presentan cambios fisiológicos y alteración en las propiedades organolépticas, tal cual observaron Khin et al., 2009<sup>2</sup>.

Tonon et al., 2007<sup>3</sup>, manifiestan que la influencia de la agitación en los procesos osmóticos no ha sido estudiada ampliamente, encontrándose escasos trabajos sobre este aspecto.

Moreira y Sereno, 2003<sup>4</sup>; estudiaron el efecto de la agitación de solución osmótica de sacarosa sobre las cinéticas de deshidratación en cilindros de

---

<sup>1</sup> Arreola, SI y Rosas, ME. 2007. Aplicación de vacío en la deshidratación osmótica de higos (*ficus carica*). Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, Estado de México-México. Información Tecnológica.. Vol. 18(2), 43-48.

<sup>2</sup> Khin, MM; Zhou<sup>†</sup>, W y Perera, C. 2009. Desarrollo de un tratamiento combinado de cobertura y deshidratación de alimentos. Mundo Alimentario. Enero/Febrero.

<sup>3</sup> Tonon RV, Baroni AF, Hubinger MD. 2007. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. J. Food Eng. 82: 509–517.

manzana y concluyeron que la velocidad de agitación no resultó significativa para la ganancia de sólidos solubles.

De igual forma se detectó un menor ingreso de soluto del jarabe al interior de la fruta si se mantiene la agitación. Esto se podría explicar por la dificultad que produce el flujo de agua que sale de la fruta a las moléculas de soluto que traten de ingresar, es decir el soluto iría en contra de la corriente del agua de la fruta. Por otro lado el hecho de que la agitación no influya significativamente sobre la variación de los sólidos solubles puede deberse posiblemente a la presencia de una resistencia interna que controla el transporte del soluto de la solución osmótica hacia la fase líquida de la fruta, tal como lo mencionan Ayala Aponte et al, 2008<sup>5</sup>.

#### 4.2.2. EFECTO DE LOS FACTORES EN ESTUDIO SOBRE LA VARIACIÓN DE PESO

En el cuadro 17, del análisis de varianza de la variación del peso. No se observa relevancia alguna en la variación de peso durante el proceso.

**CUADRO 17:** Análisis de Varianza para VARIACIÓN DEL PESO, de la evaluación del deshidratador osmótico en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla. (2010)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: TEMPERATURA	33803,9	1	33803,9	5,26	0,0555 <sup>NS</sup>
B: VELOCIDAD DE AGITACION	5904,77	1	5904,77	0,92	0,3696 <sup>NS</sup>
AA	161,114	1	161,114	0,03	0,8786 <sup>NS</sup>
AB	600,25	1	600,25	0,09	0,7687 <sup>NS</sup>
BB	0,244601	1	0,244601	0,00	0,9952 <sup>NS</sup>
Error total	44958,9	7	6422,71		
Total (corr.)	85433,7	12			

**Fuente:** Elaboración propia.

\*\* :  $p < 0.01$

\* :  $0.01 < p < 0.05$

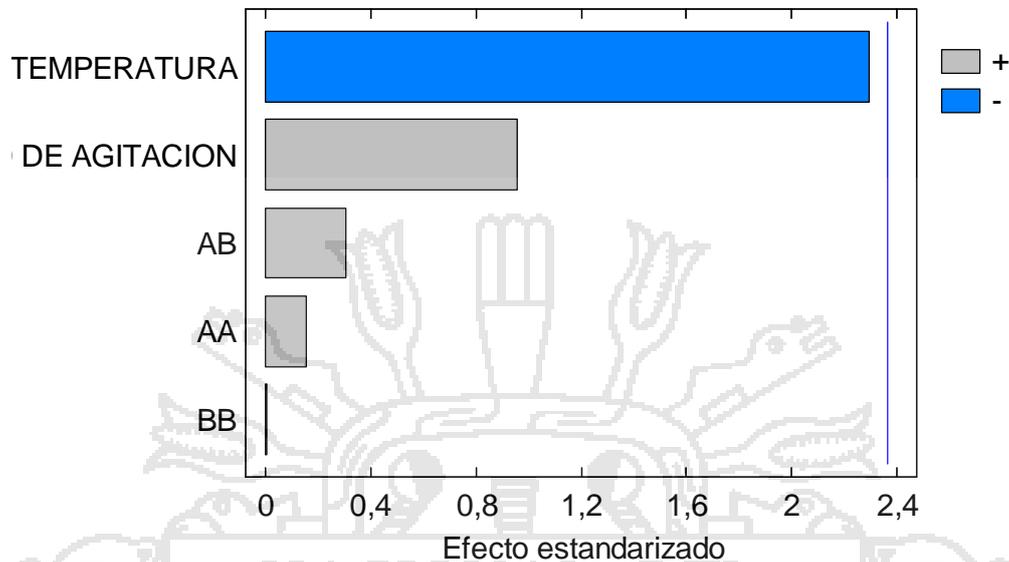
NS :  $p > 0.05$

Gl : Grados de libertad

<sup>4</sup> Moreira R, Sereno AM. 2003. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and nonstatic conditions J. Food Eng. 57: 25–31.

<sup>5</sup> Ayala Aponte AA, Serna Cock L y Giraldo Cuartas CJ. 2008. Efecto de la agitación sobre la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* s.) empleando soluciones de sacarosa. INTERCIENCIA VOL. 34 N° 7.

**GRÁFICO 3:** Diagrama de Pareto estandarizado que muestra el ANOVA para la variación peso en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla, de la evaluación del deshidratador



osmótico. (2010)

**Fuente:** Elaboración propia.

El diagrama de Pareto estandarizado mostrado en la figura 17 es una representación gráfica del análisis de varianza, donde se observa que no existe influencia de ningún factor sobre la variación de peso en el proceso de deshidratación osmótica.

Los resultados experimentales demostraron que la temperatura del medio osmótico posee un efecto ligero en la pérdida de peso, sin embargo de acuerdo al análisis de varianza no resulta ser significativo lo cual se puede observar en el diagrama de Pareto donde la variación de temperatura produce una pequeña variación en la variación del peso del producto; similar a lo que mencionan Cornejo Zúñiga y Núñez Torres, 2000<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Cornejo Zúñiga, F y Núñez Torres, D. 2000. Modelación matemática de la cinética de deshidratación osmótica de la Carica Papaya. Universidad de Chile.

**4.2.3. EFECTO DE LOS FACTORES EN ESTUDIO SOBRE LA VARIACIÓN DE HUMEDAD**

En el cuadro 18, se muestra que la variable más relevante en la variación de humedad durante el proceso es solamente la temperatura, lo cual se puede observar en el cuadro de análisis de varianza.

**CUADRO 18:** Análisis de Varianza para VARIACIÓN DE HUMEDAD, de la evaluación del deshidratador osmótico en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla. (2010)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: TEMPERATURA	139,847	1	139,847	12,99	0,0087**
B: VELOCIDAD DE AGITACION	2,89989	1	2,89989	0,27	0,6198 <sup>NS</sup>
AA	5,82258	1	5,82258	0,54	0,4861 <sup>NS</sup>
AB	24,1081	1	24,1081	2,24	0,1783 <sup>NS</sup>
BB	15,5974	1	15,5974	1,45	0,2679 <sup>NS</sup>
Error total	75,3835	7	10,7691		
Total (corr.)	261,5	12			

Fuente: Elaboración propia.

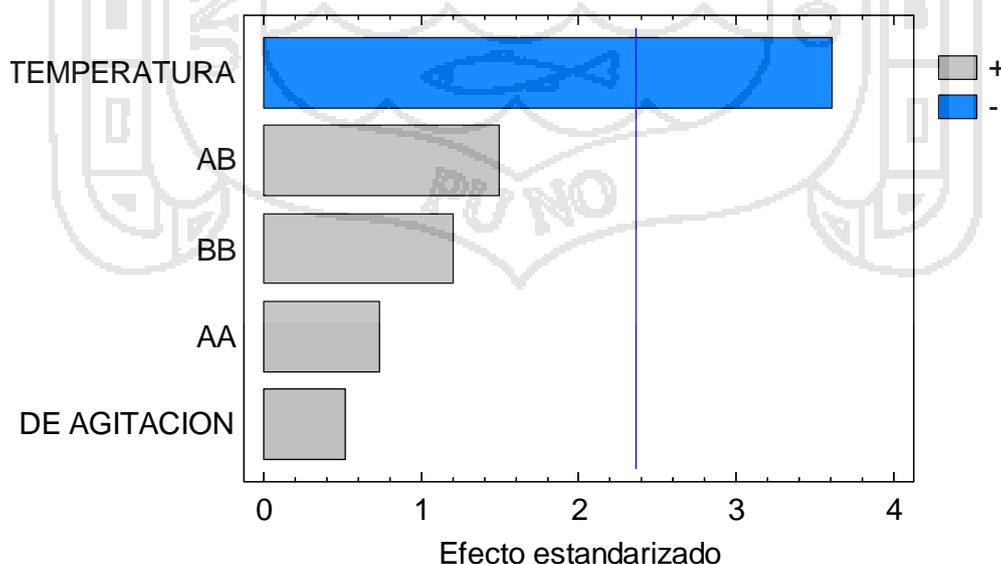
\*\* :  $p < 0.01$

\* :  $0.01 < p < 0.05$

NS :  $p > 0.05$

Gl : Grados de libertad

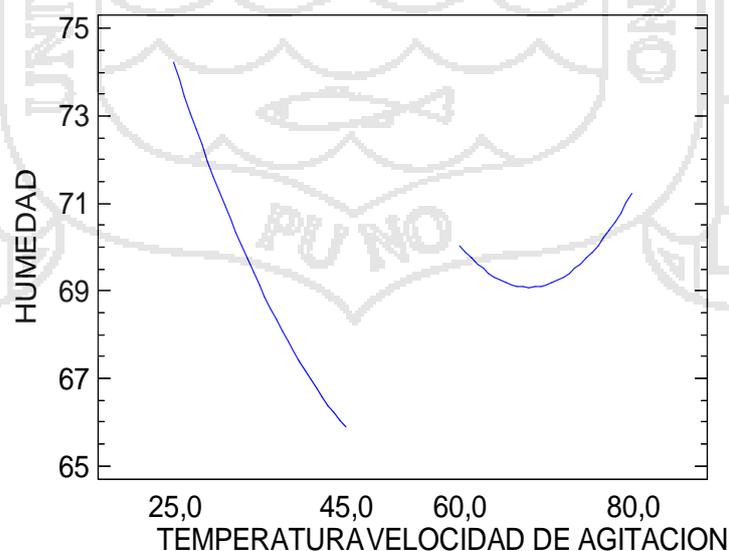
**GRÁFICO 4:** Diagrama de Pareto Estandarizado que muestra el ANOVA para la variación de humedad. en papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla, de la evaluación del deshidratador osmótico. (2010)



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Pareto estandarizado mostrado en la figura 18 es una representación gráfica del análisis de varianza, donde se observa que el factor más influyente sobre la variación de humedad en el proceso de deshidratación osmótica es la temperatura. El efecto de color azul (-) es inversamente proporcional a la variable de respuesta (humedad), mientras que el de color plomo (+) es un efecto directamente proporcional a la variable de respuesta. El diagrama incluye una línea vertical cuya ubicación depende del intervalo de confianza determinado (95% para el caso del estudio). Todo efecto que sobrepase la línea es de considerable significancia para el proceso. En el diagrama se observa claramente que el factor más influyente para el proceso es la temperatura. Esto indica que un cambio en la temperatura tendrá un efecto más relevante que cualquier cambio en otra variable, por lo cual la temperatura es de mayor importancia para el control del proceso en la variación de humedad. Tal como lo mencionan Tepper, 1996, a medida que aumenta la temperatura, se produce una mayor pérdida de agua.

**GRÁFICO 5:** Efecto de la temperatura y velocidad de agitación en la variación de humedad en el proceso de deshidratación osmótica de la papaya (*Carica Papaya*) var. Pauna Amarilla, realizado en la Planta Piloto de EPIA – FCA (2010).



**Fuente:** Elaboración propia.

La figura 19, muestra el efecto de los factores en estudio sobre la variación de humedad; se observa un efecto positivo de la temperatura sobre la variación decreciente de la humedad, es decir que al aproximarse la temperatura a los 45°C la humedad decrece significativamente, por consiguiente se puede concluir que la temperatura influye significativamente en el proceso de deshidratación osmótica, ya que se produce un aumento en la pérdida de agua (WL), similar a lo que afirman Chenlo et al., 2008<sup>7</sup>. La explicación de este fenómeno es que a mayores temperaturas de proceso se promueve una mayor pérdida de agua debido a una mayor plasticidad de las membranas celulares, como lo indica Lazarides, 1995<sup>8</sup>;

En tanto no se observa ningún efecto de la agitación sobre la humedad. Panagiotou et al., 1999<sup>9</sup> deshidrataron osmóticamente manzana, banano y kiwi a diferentes velocidades de agitación y observaron que la pérdida de agua fue independiente de la misma. Por otro lado, el efecto de la agitación sobre la pérdida de agua indica la presencia de una resistencia externa para transferir el agua desde la fruta hacia la solución osmótica, demostrándose así que el transporte de agua no solo está controlado por un mecanismo interno, como lo demostraron Ayala Aponte et al, 2009.

---

<sup>7</sup> Chenlo, F.;Moreira, R.;Torres, M. D.;Ferra, J. 2008. Deshidratación osmótica de castaña en medios estáticos y dinámicos de sal, sacarosa y glucosa. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Vol. 6, Núm. 2, , pp. 117-129 Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos México.

<sup>8</sup> Lazarides, 1995. Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aing at minimal solid uptake. Journal of Fodd Engineering.

<sup>9</sup> Panagiotou NM, Karathanos VT, Maroulis ZB. 1999. Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. Drying Technol. 17: 175–189.

## V. CONCLUSIONES

De los resultados del estudio se concluye lo siguiente:

1. Se construyó y automatizó un deshidratador osmótico, con sistemas de control de la velocidad de agitación y temperatura, con las siguientes características: El tanque de deshidratación tiene una capacidad total de 15.34 litros, para un volumen de carga (producto y jarabe) de 11.8 litros; el diámetro interior del tanque es de 0.25 m, el diámetro de la chaqueta es de 0.3 m, la altura total del tanque es de 0.35 m, el agitador consta de de tres paletas con un diámetro de 0.08m, la velocidad del agitador varía de 50 a 150 RPM y la potencia del motor es de 1/8 de HP.
2. La velocidad de agitación no es una variable significativa para un proceso de deshidratación osmótica. Así mismo se determinó que no debe ser constante, sino sólo durante la primera parte del proceso y cada cierto periodo de tiempo.
3. La temperatura controlada tiene efectos altamente significativos en el proceso de deshidratado osmótico, siendo el punto óptimo aproximado 44°C.

## VI. RECOMENDACIONES

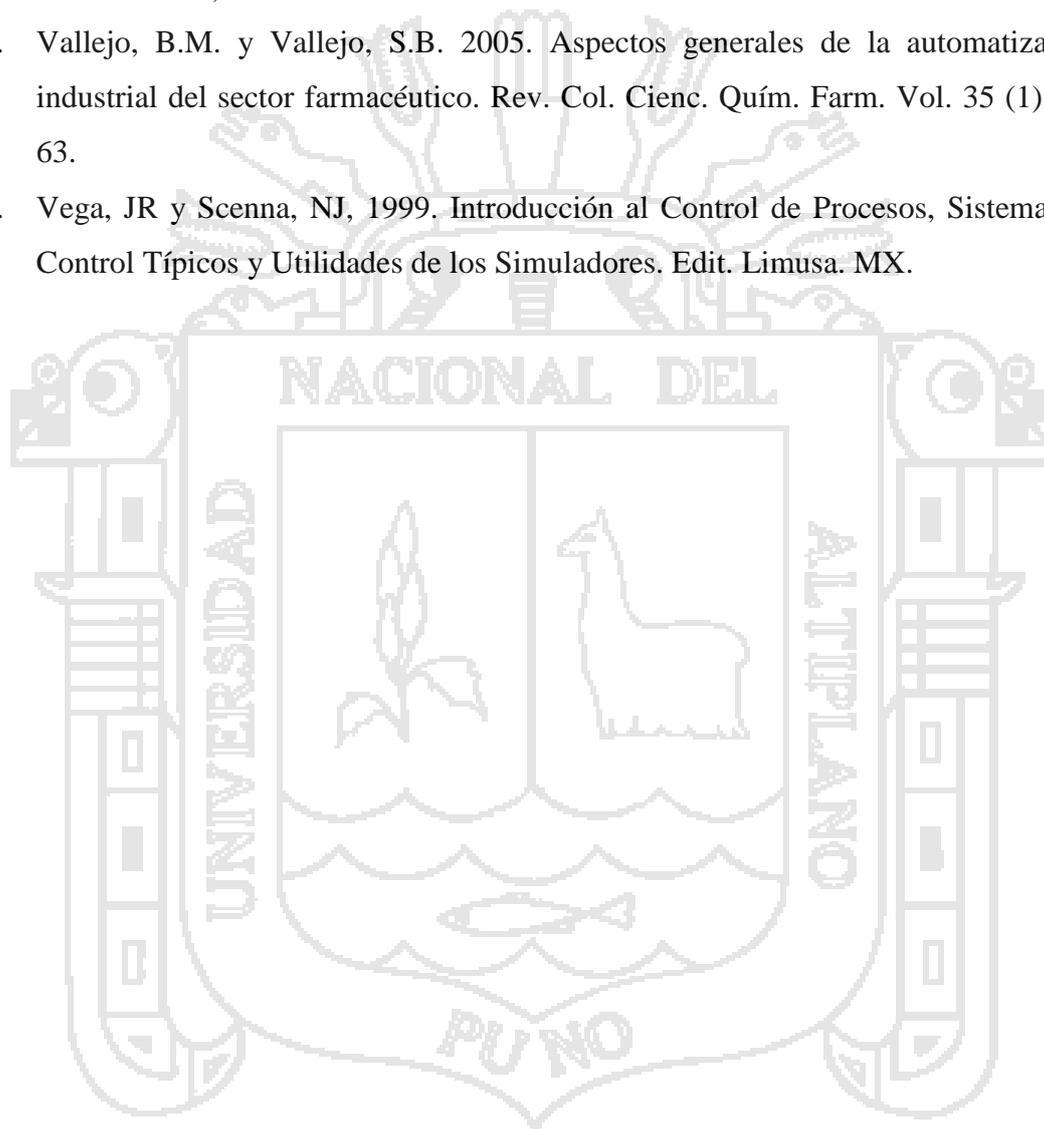
1. Realizar pruebas de deshidratación osmótica en otros productos de la región como piña, zanahoria, plátano, palta, etc.
2. Probar el equipo en otros procesos en los que se requiera controlar la temperatura y la velocidad de agitación.
3. Realizar estudios tomando en cuenta las características intrínsecas del producto como: grado de compactación del tejido, estado de madurez, tipo de cultivar, espacio intercelular, grado de gelificación, contenido inicial de sólidos solubles e insolubles; tomando también en cuenta el tamaño de los trozos del producto a deshidratar, la razón alimento vs solución y el uso de diferentes tipos de medio osmótico como jarabe de maíz, cloruro de sodio, lactosa, glicerol y combinaciones.
4. Considerar otras variables de estudio para el proceso de deshidratación osmótica, como la presión y el tiempo.
5. Determinar los cambios fisiológicos, sensoriales y estructurales al someter procesos de osmosis a temperaturas mayores a 50 °C.
6. Incentivar a los estudiantes y profesionales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial al diseño y construcción de equipos automatizados como por ejemplo un equipo para el procesamiento de lácteos provisto de sensores de temperatura, de presión de nivel y un sistema de agitación adecuado.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Alcázar del Castillo, J. (2000). Diccionario técnico de industrias alimentarias. segunda Edición. Lima, PE.
2. Barat, J.M.E.; Chiralt, A. y Fito, P. 1998. Equilibrium in cellular food osmotic solution systems as related to structure. *J. Food Sci.* 29: 239-242.
3. Barvosa Canóvas, G. y Vega Mercado, H. 1996. Osmotic dehydration. En *Dehydration of foods. Food engineering series.* Ed. Chapman & Hall. New York, pp 265-288.
4. Borda Suasaca, W y Gamarra Chipana, WJE. 2002. Diseño y construcción de un equipo mejorado para el desaponificado de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*). Tesis Ing. Agroind. Puno. PE, UNA. 116p.
5. Berinstain, C.L.; Azuara, E.; Cortés, R.; García, H.S. 1990. Mass transferring osmotic dehydration of pineapple rings. *International Journal of Food Science and technology.*
6. Carranza N., Raymundo (1998), "Sensores de Presión, Temperatura, Nivel y Flujo", Separata, Curso Tópicos de Instrumentación y Control, Perú.
7. Castillo Venegas, A.A. y Castillo Venegas, L.A. 2003. Construcción de un secador de bandejas con circulación de aire forzada y su evaluación en el secado de maca (*Lepidium meyenii Walpers*). Tesis Ing. Agroind. Puno. PE, UNA. 129 p.
8. Collignan, A.; Raoult – Wack, A.L.; Themelin, A. 1992. Energy study of food processing by osmotic deshydration and air drying. *Agricultural Engineering Journal.*
9. Córdoba Nieto, E. 2006. Manufactura y automatización. *Revista de Investigación.* vol. 26 no. 3
10. Corzo, O. y Centeno, A.E. 2003. Superficies de respuesta de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica del melón (*Cucumis melo*, variedad Edisto). *Revista Científica.* vol.145, no.1
11. Corzo, O.; Bracho, N.; Rodríguez, J. y Gonzáles, M. 2004. Estudio de los coeficientes de distribución en equilibrio para el agua y la sal en laminas de sardina deshidratadas osmóticamente con pulso de vacío. *Revista de la Facultad de Farmacia.* Vol 46(1). p.35-39.
12. Díaz Mora, M. (2003). Evaluación preliminar de la vida de anaquel de papaya tratada osmóticamente con películas de quitosano. Tesis Licenciatura. Ing. de

- Alimentos. Dpto. de Ing. Química y Alimentos, Puebla. MX, Universidad de las Américas. 89 p.
13. Geankoplis, C.J. 1998. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Editorial Continental, S.A. México, MX.
  14. Gómez, E.R. y Corzo, O. 2002. Deshidratación osmótica óptima del melón cortado en forma cilíndrica. Revista de la Facultad de Farmacia. Anales. Vol. 2 (2). p.75-89.
  15. Gómez-Estern. 2004. Automatización de sistemas de producción.
  16. Gruda, Z. y Postolski, J. 1996. Tecnología de la congelación de los alimentos. Editorial ACRIBIA. S.A. Zaragoza, ES.
  17. Guerra Martínez, C.E.; López Llanos, A.F.; Pinedo Carrión, R. 2006. Diseño y construcción de un reactor continuo tanque agitado (CSTR), a escala experimental controlado por PLC. Tesis Ing. Química, Puno PE UNA-PUNO.
  18. ITESCAM, 2006. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Instituto Tecnológico Superior. MX.
  19. Martínez, 1996. Tecnología eléctrica. Editorial Paraninfo, Madrid, ES.
  20. Mott, R. 1992. Diseño de elementos de maquinarias. Segunda edición. Editorial Hispanoamericana. ES.
  21. Paltrinieri, G. y Figuerola Rivas, F. 1997. Manual Técnico. Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas nativas e introducidas. S.I. FAO. Proyecto GCP/128/net "Apoyo a la Secretaría Pro Tempore del Tratado de Cooperación Amazónica".
  22. Pérez Polo, M. F. 2006. Procesos Unitarios. Departamento de Física Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal. Universidad de Alicante. Escuela Politécnica Superior. E.
  23. Schwartz, M. 1993. Conservación de frutas por métodos combinados: una alternativa de interés para los productores y la agroindustria. Simiente.
  24. Singh, P. y Heldman D. 1998. Introducción a la ingeniería de los alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, ES.
  25. Smith C.A. y Corripio A.B. 1997. Control Automático de Procesos, Edit. Limusa, S.A.-México
  26. Spiazzi, EA y Mascheroni, RH. 2001. Modelo de Deshidratación Osmótica de Alimentos Vegetales. CIDCA (Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos). La Plata – AR. MAT – Serie A, 4, 23-32.

27. Tepper Montti, P.A. 1996. Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de Palta cv fuerte. Memoria de Título Ing. Agro. Santiago. CL, UCh. 70 p.
28. Ugarte Larico, E.A. 2006. Deshidratación osmótica de papa (*Solanum tuberosum*, variedad Chaska) con soluciones de cloruro de sodio, glucosa y maltodextrina. Tesis Ing. Agroind. Puno. PE, UNA-PUNO.105 p.
29. UMSNH-FIE, 2005. Introducción a los microcontroladores. MX.
30. Vallejo, B.M. y Vallejo, S.B. 2005. Aspectos generales de la automatización industrial del sector farmacéutico. Rev. Col. Cienc. Quím. Farm. Vol. 35 (1), 47-63.
31. Vega, JR y Scenna, NJ, 1999. Introducción al Control de Procesos, Sistemas de Control Típicos y Utilidades de los Simuladores. Edit. Limusa. MX.



## VIII. WEB GRAFÍA

1. Genina Soto, P. 2002. Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas tropicales. . Inf. Tecnol. [online], [citado 20 Julio 2007], Disponible en la World Wide Web: <<http://www.cinvestav.mx/publicaciones/avayper/sepoct02/DESHIDRATACION.PDF>>
2. González de Durana, J.M. 2004. automatización de procesos industriales. Curso [online]. [consultado 17 enero 2008] Disponible en <<http://www.vc.ehu.es/campus/centros/peritos/deptos-p/depsi/jg/APIslides.pdf>>
3. OIT. 1998. Definición de automatización. [on line]. [Consulta: 17 enero 2008]. Disponible en: < <http://www.mtas.es/insht/monitor/Inicio/E/xiv/exiv09.pdf> >
4. PUC, 2006. <http://www2.ing.puc.cl/~iee3912/files/pic.pdf>. Introducción a los microcontroladores.
5. PARALAX, 2003. [http://www.paralax.com/dl/docs/books/edu/wamv1\\_1spanish.pdf](http://www.paralax.com/dl/docs/books/edu/wamv1_1spanish.pdf). ¿Qué es un Microcontrolador?.
6. Rosado Muñoz, A. 2000. sistemas industriales distribuidos. Una filosofía de automatización.[on line], [consultado 17 enero 2008]. Disponible en: <[http://www.uv.es/rosado/sid/Capitulo1\\_rev1.pdf](http://www.uv.es/rosado/sid/Capitulo1_rev1.pdf)>