

24/ 51



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

“DISEÑO DE UNA PRACTICA DE MEZCLADO DE  
SOLIDOS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES  
UNITARIAS FARMACEUTICAS”



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE;  
**QUIMICO FARMACEUTICO BILOGO**  
P R E S E N T A :  
**MARIA TERESA HERRERA BARRERA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.,

1989



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## INDICE

	Página
RESUMEN.....	9
CAPITULOS	
1.- GENERALIDADES DE MEZCLADO.....	10
INTRODUCCION	
A) Mecanismos de mezclado.....	13
1. Mecanismo por convección	
2. Mecanismo por corte	
3. Mecanismo por difusión	
B) Clasificación del mezclado.....	14
1. Mezclado neutro	
2. Mezclado negativo	
3. Mezclado estadístico o mezclado al azar	
C) Características de los solidos.....	16
1. Forma de la partícula	
2. Angulo de reposo	
3. Distribución de tamaño de las partículas	
4. Densidad de las partículas	
5. Coeficiente de fricción de las partículas	

6.	Conductividad eléctrica en la superficie de la partícula	
7.	Friabilidad	
8.	Contenido de humedad	
9.	Estado de aglomeración	
10.	Temperatura	
D)	Características del equipo de mezclado.....	20
E)	Condiciones de operación.....	20
F)	Criterios estadísticos para determinar grado de índice de mezclado.....	20
	1. Media	
	2. Desviación típica	
	3. Tamaño de muestra	
	4. Cantidad crítica	
	5. Material clave	
	6. Relación entre material clave-cantidad crítica	
	7. Número de muestras	
	8. Análisis de muestras	
G)	Métodos de análisis para evaluación de muestras.....	27
	1. Tamizado	
	2. Filtración	
	3. Análisis volumétrico (vibraciones)	
	4. Refractometría (Índice de retracción)	

5. Colorimetría

6. Evaluación sensorial

7. Otros métodos

H) Equipos de mezclado..... 40

1. Mezcladores de volteo

2. Mezcladores de cubeta horizontal

3. Mezcladores de tornillo vertical

4. Otros métodos

I) Características de funcionamiento..... 49

1. Uniformidad de la mezcla

2. Tiempo de mezclado

3. Costo y descarga

4. Potencia

5. Limpieza

6. Deposte del equipo

J) Selección del equipo..... 52

K) Costos..... 58

II.- DISEÑO DE EXPERIMENTO..... 54

III.- EXPERIMENTACION Y RESULTADOS..... 63

A) Reactivos..... 63

1.  $CaCO_3$

2.  $HCl$

B) Material..... 64

C) Equipo..... 65

D) Metodología..... 69

E) Curva Patrón.....	69
F) Detalle de una corrida.....	72
G) Resultados y Gráficas.....	75
H) Análisis de Resultados.....	75
IV.- CONCLUSIONES.....	77
REFERENCIAS.....	80
BIBLIOGRAFIA.....	81
APENDICE A.....	85
APENDICE B.....	97

## RESUMEN

El presente trabajo está dirigido a los alumnos de las licenciaturas de Química de Alimentos, Ingeniería Química y a los que de alguna manera involucren las operaciones unitarias dentro de su formación profesional.

El objetivo es diseñar una práctica de laboratorio que permita estudiar el mezclado de sólidos utilizando un método estadístico de evaluación.

Aquí se exponen los principales puntos que se tomaron en cuenta para diseñar la práctica así como los resultados obtenidos experimentalmente.

Se explican brevemente los mecanismos de mezclado, su clasificación, los factores que influyen positivamente y negativamente en el mezclado así como los diferentes equipos utilizados para mezclar sólidos.

Se proporcionan datos experimentales que faciliten la comprensión de la operación de mezclado además de proponer una práctica que tiene como característica la utilización de un mezclador tirolista.

Además abre la posibilidad de continuar el estudio del mezclado de sólidos variando otros parámetros y utilizando otro método de evaluación.



## CAPITULO I GENERALIDADES DE MEZCLADO

### Introducción

En la industria química y en particular en la de alimentos y farmacéutica, el mezclado es una operación tan usual como lo son la transferencia de masa, la transferencia de calor y el flujo de fluidos en otras operaciones que no han tenido el desarrollo teórico-práctico que se esperaba. Por ello puede decirse que la industria de la transformación ha hecho del mezclado una operación ampliamente reconocida y muy utilizada, pero poco desarrollada.

En ocasiones se le ha considerado un arte más que una operación unitaria y en muchos casos, se le menciona como una operación tan simple, que no requiere de experiencia para efectuarla.

Hasta este punto se ha mencionado la palabra mezclado pero: ¿Qué significa mezclado? De acuerdo con Brennan (3) "El mezclado se puede definir como una operación durante la cual se efectuará una combinación uniforme de dos o mas

ingredientes". Perry (21) dice: "El mezclado es una operación en la cual dos o más ingredientes separados o rudimentariamente mezclados se procesan para que cada partícula de cada componente esté lo más cerca posible de una partícula de los demás ingredientes" y Mc Cabe y Smith (15) dicen que: "El mezclado es la combinación uniforme de dos o más sustancias".

Analizando las definiciones anteriores, podemos observar que coinciden en obtener una distribución uniforme a partir de dos o más componentes.

Existen diferentes tipos de equipos para mezclar, estos pueden ser agrupados en tres grandes clases: mezcladores de impulsor para líquidos, mezcladores para pastas y sólidos plásticos y mezcladores para polvos secos. Los mezcladores de impulsor utilizan un impulsor en forma de paleta-turbina o hélice para aplicar la energía mecánica al material.

La efectividad de un mezclador de impulsor depende de la creación de una corriente la cual penetra a todos los puntos del tanque y la mayor parte de la acción del mezclado ocurre a cierta distancia del impulsor.

El tanque actúa como contenedor y no tiene una parte crucial en el proceso de mezclado. (3)

La segunda clase de equipo de mezclado incluye mezcladores de tanque de doble movimiento, mezcladores de rodillos, mezcladores de listón, amasadores y mezcladores tipo Banbury entre otros. Estos son utilizados cuando el material es tan

viscoso o tan elástico que no podría fluir rápidamente como si se utilizara un mezclador de impulsor. Puesto que las corrientes de flujo no podrían ser creadas. En el caso de estos mezcladores, todo el material puede ser llevado al agitador o el agitador puede llegar a todas las partes de la mezcla. La energía mecánica es utilizada moviendo directamente partes de la masa del material. Las fuerzas generadas en estos mezcladores son grandes y el consumo de energía es alto.

Los mezcladores para polvos secos constituyen la tercera clase de maquinaria para mezclado. En esta clase se incluyen algunos equipos que también son usados para pastos pegados y algunos que son exclusivos para polvos de libre flujo.

El mezclado se efectúa por agitación a baja velocidad de la masa por un impulsor, por revoltura o impacto. Estos mezcladores son de construcción fácil y más económicos si se comparan con los mezcladores para pastos duros. Su consumo de energía por tonelada de material mezclado es moderado.

Los límites entre los campos de aplicación de los diferentes tipos de mezclador no están bien definidos. Los mezcladores de impulsor no son usualmente utilizados cuando la viscosidad es mayor a 200-300 cps, especialmente si el líquido es no newtoniano (15). Amasadores y mezcladores extrusores trabajan en pastos espesos y masas plásticas. Los discos de impacto están restringidos a los polvos secos y, sin embargo, otros mezcladores pueden mezclar líquidos, pastos, sólidos plásticos

y polvos.

Como se mencionó anteriormente, el mezclado es ampliamente utilizado en la industria de la transformación. Por lo que en la tabla I se proporcionan ejemplos de los usos del mezclado en las diferentes industrias poniendo especial atención en la de alimentos.

Sin embargo sería utópico tratar de obtener una mezcla perfecta o ideal ya que por muy bueno que sea el equipo o las condiciones de operación, siempre hay factores que influyen en mayor o menor grado y que impiden se obtenga la mezcla ideal.

#### AN MECANISMOS DE MEZCLADO

Los mecanismos que explican el mezclado de sólidos generalmente aceptados son tres:

##### 1.- Mecanismo por convección

Este mecanismo consiste en la transferencia de grupos de partículas adyacentes de un lugar a otro de la masa de la mezcla. La forma de ejecución depende del tipo de mezclador empleado. Un ejemplo es la inversión repetida del lecho de polvo por medio de espalinados, tornillos sin fin o cualquier otro método, que puede llevar a cabo el transporte de una masa de partículas dentro del mezclador.

##### 2.- Mecanismo por corte

En este caso, la formación de planos de diferente composición que se deslizan unos sobre otros, provocan la ruptura

## APLICACIONES DEL MECADO

* TIPO DE INDUSTRIA *	* EJEMPLOS *
* ALIMENTARIA *	* MANUFACTURA DE MARGARINAS Y GRASAS *
* *	* DE USO CULINARIO, PAPPILLAS DE *
* *	* SACHETS, POLVOS PARA MOSTAZA, *
* *	* ELABORACION DE PRODUCTOS DE *
* *	* CHOCOLATE *
* *	* MEZCLAS DE GRANOS ANTES DE LA *
* *	* MOLIENDO, HARINAS Y ADICION DE *
* *	* ADITIVOS A ESTAS HARINAS PREPARADAS, *
* *	* AMASADO EN LA ELABORACION DE PAN *
* *	* GALLETES, PASTAS Y BLENDCOS, *
* *	* PREPARACION DE POLVOS PARA HELADO, *
* *	* TIRAS BEBIDAS DE SABOR, CONSUMOS, *
* *	* POLVOS PARA HAMBURG, *
* *	* MANUFACTURA DE CEREALES PARA *
* *	* DESAYUNO *
* ** ** ** **	* ** ** ** *
* FARMACEUTICA *	* ELABORACION DE TABLETAS, GRANULOS *
* *	* Y CAPSULAS *
* *	* SUSPENSIONES Y EMULSIONES *
* *	* SOLUCIONES INYECTABLES *
* *	* COMPLEMENTOS ALIMENTICIOS EN *
* *	* POLVO *
* *	* LECHE MATERIALIZADA, *
* *	* SEMENOS Y COSMETICOS *
* ** ** ** **	* ** ** ** *
* OTRAS *	* ELABORACION DE FERTILIZANTES *
* *	* PLASTICOS, INSECCIONICIDAS, PINTURAS *
* *	* TINTOS, PIGMENTOS, REPERTEINTOS, *
* *	* FABRICACION DE CATALIZADORES, *
* *	* POLIMERIZACION DE PLASTICOS, *
* *	* ABRASIVOS, GELOS ELECTROQUIMICOS *
* *	* Y DETERGENTE *
* *	* *
* *	* *
* *	* *
* *	* *
* *	* *
* *	* *
* *	* *
* *	* *
* *	* *
* *	* *
* *	* *
* ** ** **	* ** ** ** *

de los mecanismos de segregación al disminuir progresivamente su espesor por efecto de corte. Por otra parte, la aplicación de esfuerzos de corte, perpendiculares a dichos planos también ayudan a disminuir la escala de segregación. Este tipo de mecanismo se presenta con mayor frecuencia en los mezcladores por gravedad o rotatorios.

### 3.- Mecanismo por difusión

El mezclado por difusión se produce cuando el movimiento al azar de las partículas, da lugar al cambio de posición de una partícula, con respecto a otra (transporte de partículas individuales). El mezclado por difusión ocurre en la interfase de regiones distintas, que están bajo los efectos de corte. Este mecanismo puede producirse también por cualquier forma de agitación, que provoque movimientos interparticulares individuales.

Los tres mecanismos mencionados forman parte simultáneamente en el mezclado; pero el predominio de cualquiera de ellos depende fundamentalmente del equipo mezclador empleado de tal manera que el mecanismo por convección predomina en los equipos con elementos móviles internos de recipientes estacionarios, mientras que los dos restantes en los rotatorios.

### B) CLASIFICACION DEL MEZCLADO

El mezclado de sólidos se caracteriza porque no se realiza de manera espontánea, como podría ser el mezclado de lí-

ses o de líquidos, por lo que se requiere de la aplicación de una fuerza para que éste se lleve a cabo.

#### 1.- Mezclado neutro

Cuando se presenta el caso de un sistema en que las fuerzas intrínsecas de los partículas son nulas, es decir, que después de un tiempo determinado no hay ni mayor ni menor separación de las partículas o componentes, se dice que el mezclado es neutro. Este es la razón como se mencionó, por lo que es necesario la aplicación de energía mecánica durante la operación de mezclado.

#### 2.- Mezclado negativo

Este tipo de mezclado existirá cuando en un sistema, las partículas de los componentes sean de diferente densidad y además exista la posibilidad de deslizamiento de unas sobre otras, es decir, que existen espacios libres entre ellos o que el coeficiente de fricción entre sus superficies sea muy bajo. Es obvio que el sistema se verá afectado principalmente por las fuerzas de gravedad. En el mezclado de sólidos esto no sucederá de manera espontánea por las razones mencionadas con anterioridad. Pero si en el equipo de mezclado donde las partículas de mayor densidad y, consecuentemente, de mayor peso específico, tenderán a separarse y quedar en el fondo.

De esta manera se ve que el mezclado de sólidos presenta ciertas dificultades y que es imposible obtener una mezcla ideal o perfecta. Por ello se ha dado en considerar otra clase

de mezclado que se acerca más a la realidad y se denomina mezclado estadístico o mezclado al azar que, para fines prácticos, da buenos resultados.

### 3.- Mezclado estadístico o mezclado al azar

Es aquel que presenta un arreglo de las partículas de la mezcla de tal manera que la probabilidad de encontrar una partícula determinada en un lugar de la masa de dicha mezcla es la misma para cualquier punto dentro de esto, esto es, que la probabilidad de encontrar una partícula en un punto "x" de la mezcla, es igual para su localización en cualquier otro punto "y" de la mezcla.

De esta manera se cumple el objetivo del mezclado de sólidos que es obtener una mezcla uniforme homogénea.

Al igual que otras operaciones, el mezclado es un proceso complejo en el cual las características de los sólidos, el equipo y las condiciones de operación influyen en la tendencia a obtener un buen o un mal mezclado. Por lo tanto el grado y el tipo de mezclado son funciones de muchas variables, las cuales pueden ser agrupadas como sigue:

#### 1) CARACTERÍSTICAS DE LOS SÓLIDOS

##### 1.- Forma de la partícula

Son muy variadas las formas de las partículas que pueden entrar en el proceso de mezclado, pero la importancia de una determinada forma está ligada, al efecto que esta pueda tener en las características de flujo. La forma de las par-



ticulas sólidas que entren en un proceso como el mezclado estén en función de su estructura interna y del método utilizado para producirlos. Las partículas que presentan una menor resistencia al flujo son las esféricas y las ovoidales.

### 2.- Ángulo de reposo

El ángulo de reposo es el ángulo máximo con respecto a un eje perpendicular al vector gravitacional en el cual una partícula puede permanecer en equilibrio dinámico es decir antes de quedar bajo los efectos de dicho vector y rodar o caer. Por lo tanto, las esferas y ovoides, al carecer de aristas y caras planas, pueden fluir con mayor facilidad.

### 3.- Distribución del tamaño de las partículas

Una vez importante que el tamaño nominal o medio de las partículas, es la distribución de los tamaños de las partículas en la masa de la mezcla. Esta distribución es de gran importancia pues si se tiene más de un tamaño de partícula esto conduce a que las partículas por si mismas tiendan a separarse según sus respectivos tamaños de partícula. En este caso cuando las partículas están fluyendo, las más grandes rodarán más lejos que las de menor tamaño, las últimas tenderán a suspenderse en la mezcla, mientras que los primeros se asentarán por gravedad, esta situación puede llegar a ser tan drástica que, en algunos casos las partículas más finas lleguen a sostener a las de mayor peso y tamaño durante el mezclado.

#### 4.- Densidad de las partículas

En la mayoría de los casos el problema de la diferencia de densidades de las partículas está ligada íntimamente con su tamaño, generalmente las partículas de mayor tamaño son también las de mayor densidad por lo que siempre se recomienda mezclar partículas de tamaños y densidades similares. El problema se podría solucionar si se considerara que las partículas finas tuvieran una densidad mayor que las grandes con lo cual se equilibrarían.

#### 5.- Coeficiente de fricción de las partículas

El coeficiente de rozamiento o de fricción de una superficie es una propiedad específica de ella y depende de su rugosidad. Su influencia en el mezclador de sólidos será principalmente sobre el flujo libre de las partículas y la transferencia de cantidad de movimiento rotacional. En el primer caso el coeficiente de fricción es muy grande y disminuye la probabilidad de obtener un flujo libre de partículas y en el segundo caso el coeficiente de fricción contribuye a mejorar la transferencia de cantidad de movimiento rotacional, es decir, una partícula que tenga un movimiento alrededor de un eje dentro de sí, podrá comunicar mejor esa cantidad de movimiento a esa partícula. De esta manera, mientras mayor sea la fuerza de fricción entre las partículas, habrá menor deslizamiento.

#### 6.- Conductividad eléctrica en la superficie de la partícula

De las características de las partículas que afectan al mezclado provocando segregación y por lo tanto demezclado la conductividad eléctrica de la superficie de la partícula es la más importante. esta importancia está fundamentada en el tamaño tan pequeño de las partículas en movimiento, lo que hace que la relación entre las cargas electrostáticas producidas por fricción y la masa de las partículas sea muy grande. La conductividad eléctrica de un cuerpo se define como la facilidad de conducción de la electricidad. En el caso del mezclado de sólidos las cargas electrostáticas en la superficie de las partículas representan un problema que puede ocasionar la adhesión de partículas en los bordes y dispositivos mecánicos internos.

#### 7.- Friabilidad

La friabilidad de una partícula es la facilidad con que esta puede ser reducida a polvo, es la propiedad inversa o la tenacidad. Si un material es susceptible a mezclarse se desmorona con mucha facilidad, puede producir segregación en el momento que el mezclado se efectúa debido a la variación del tamaño de las nuevas partículas formadas.

#### 8.- Contenido de humedad

La mayoría de los polvos, siempre tienen cierta cantidad de humedad, por lo que es importante al momento de mezclar elegir materiales con características de humedad similares para evitar la obtención de una pasta en lugar de una mezcla

de sólidos.

#### 9.- Estado de aglomeración

Debido a las propiedades físicas de los diferentes compuestos, algunas sustancias tienden a aglomerarse lo que dificulta la operación de mezclado.

#### 10.- Temperatura

Tiene influencia en la manera que una partícula reacciona a las fuerzas mecánicas, algunos compuestos tienden a aglomerarse al aumentar su temperatura.

### D) CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE MEZCLADO

- 1.- Dimensiones del mezclador y geometría
- 2.- Dimensiones del agitador
- 3.- Materiales de construcción y superficie terminada
- 4.- Tipo y localización de dispositivos de llenado y vaciado

### E) CONDICIONES DE OPERACION

- 1.- Peso de cada componente adicionado
- 2.- Relación entre el volumen de mezcla y el mezclador
- 3.- Método, lugar y velocidad de adición de los constituyentes
- 4.- Velocidad de mezclado
- 5.- Tiempo de mezclado

### F) CRITERIOS ESTADISTICOS PARA LA EVALUACION DEL GRADO E INDICE DE MEZCLADO

A diferencia del mezclado de líquidos, el cual produce

una mezcla homogénea, el mezclado de sólidos produce una mezcla no homogénea. Para determinar el grado de mezclado, las muestras son tomadas y analizadas. Por lo tanto, las técnicas de muestreo y los métodos para analizar las muestras son indispensables en el estudio del mezclado de sólidos. Debido al carácter al azar utilizado durante el mezclado de sólidos, ha sido necesario recurrir a técnicas estadísticas para evaluar los resultados después de analizar las muestras para poder obtener resultados reproducibles.

Entre las técnicas más utilizadas para determinar el grado e índice de mezclado en una muestra, está la que utiliza el criterio de la desviación típica; la cual da resultados reproducibles al aplicarse a una distribución al azar. Antes de explicar más a fondo la manera en que se determinará el grado de mezclado es necesario recordar algunos conceptos estadísticos como son:

#### 1.- Media

Es muy conocida y ampliamente utilizada por lo que fue denotado como  $\bar{X}$  y está definida como:

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$n$  = número de muestras

$x$  = valor de cada una de las muestras

#### 2.- Desviación típica

Medida estadística de como la concentración de un constituyente en varias muestras es matemáticamente proporcional

el error con respecto a la verdadera concentración que caracteriza la combinación y está definido como:

$S$  = Desviación típica

$n$  = Número de muestras

$\bar{X}$  = Media de la población

$x$  = Media de cada muestra

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{X})^2}{n}}$$

La media por sí sola, no debe usarse como una medida de grado de mezcla; sólo se utiliza para saber la variación existente con respecto a la media verdadera.

La muestra puede ser simple o que completa. Siempre es deseable que las muestras sean representativas de la mezcla completa, sin embargo siempre hay diferencias entre la mezcla y la muestra, lo cual justifica el uso de la estadística como método de evaluación.

#### 3.- Tamaño de muestra

Hay dos extremos en el tamaño de muestra. La muestra más pequeña posible es una partícula, lo cual no proporciona ninguna información sobre el mezclado y la más grande posible es la mezcla completa, lo cual siempre indica que el mezclado es perfecto, lo cual no es estrictamente cierto, por lo que un punto intermedio a estos extremos proporciona una mejor información acerca del mezclado.

Una muestra pequeña proporciona datos esporádicos de desviación y una muestra grande eleva la información lo que ocasiona que la mezcla aparente ser mejor de lo que es.

Para determinar la homogeneidad requerida en una mezcla se han introducido con éxito los conceptos de cantidad crítica y material clave así como la relación entre ellos.

#### 4.- Cantidad crítica

Para establecer la cantidad crítica, es necesario tener en cuenta la cantidad mínima de la mezcla que afectará al uso del producto final.

En el caso de los formas farmacéuticas sólidas, este cantidad crítica puede ser el peso de una tableta, el contenido de una capsula o en el caso de medicamentos en polvo, el equivalente a una dosis individual.

En cualquier caso la cantidad crítica será la que controle el tamaño de muestras puntuales, tomadas para analizar el grado de mezclado.

#### 5.- Material clave

En la mayoría de los casos de mezclado siempre existe un material clave sobre el cual se establece el análisis de cualquier muestra; en el caso de la industria farmacéutica este material clave es el principio activo del medicamento y en la de alimentos algún aditivo.

#### 6.- Relación entre material clave-cantidad crítica

La proporción en que se encuentra el material clave dentro de la cantidad crítica es muy importante por varias razones:

a.- La selección del equipo mezclador

- b.- El tiempo requerido para el proceso
- c.- La seguridad de obtener una mezcla al azar
- d.- La selección de algún otro método para alcanzar una determinada distribución al azar

Dependiendo de la fracción del total de la masa que represente el material clave y las características de las partículas será el tamaño y tipo de mezclador y el tamaño y número de muestras.

#### Y.- Número de muestras

Estadísticamente hablando para obtener un alto grado de confianza se requiere un gran número de muestras, por lo que es necesario optimizar el esfuerzo y el tiempo para tomar y analizar un gran número de muestras.

La determinación depende del mezclador, la clase de muestra, lo técnico de muestreo, el método y el costo de análisis de muestra. Por ello se han desarrollado métodos sistemáticos para determinar el número óptimo de muestras.

Dentro de la industria se han desarrollado modelos estadísticos como los tablas de "Military Standard" que permiten conocer el número de muestras que deben tomarse de un lote de acuerdo a sus características y de acuerdo con el grado de confianza que se considere más conveniente.

A lo largo de este capítulo se han mencionado conceptos como grado e índice de mezcla por lo que es necesario definirlos.



grado de mezclado

Es la medida en que un mezclado se acerca a las condiciones de una perfecta distribución al azar, la medida en que la concentración del material clave de cada muestra puntual se acerca al promedio de la mezcla, o dicho de otra manera, el grado de uniformidad de la mezcla.

Índice de mezclado

Es la relación entre la variación que existe entre las desviaciones típicas real e ideal en una mezcla.

El valor máximo que puede obtenerse de esta relación es 1.0 que equivaldría a que las desviaciones real e ideal fueran iguales, esto es, que el mezclado obtenido fuera perfecto.

### 8.- Análisis de muestras

Para realizar un análisis estadístico de las muestras puntuales se tiene que partir de la idea de que un mezclado debe alcanzar el grado ideal de una perfecta distribución al azar de las partículas, la concentración del material clave en cada muestra puntual debería ser el promedio de la mezcla. Cuando se encuentra una desviación típica menor se habrá encontrado el tiempo óptimo de mezclado.

Este método es el más sencillo para determinar un máximo en la uniformidad del mezclado, sin embargo, si se quiere conocer que grado de uniformidad ha alcanzado la mezcla con respecto a la distribución al azar perfecta es necesario aplicar un método más completo.

Se han desarrollado varias relaciones para determinar el grado de uniformidad de una mezcla basándose en el concepto de la varianza.

Una característica de estas relaciones es que tienden a uniformar con el tamaño de la muestra tomada para el análisis y es probable que dependan en parte de la proporción del material clave.

Looney (14) lo sugirió como índice de mezclado una relación para calcular la desviación cuadrático medio de la proporción  $x$  de material clave de un número determinado de muestras puntuales tomadas al azar.

$$I = S_r/S$$

$I$  = Índice de mezclado

$S$  = Desviación típica real para el grupo de muestras puntuales considerado

$S_r$  = Desviación típica para una distribución al azar completa

$$S_r = \mu(1-\mu)$$

$\mu$  = Medida de la población en condiciones ideales

Otra relación para determinar el grado de mezclado sugerido por Kraemer es la siguiente:

$$i = \frac{S_o - S}{S_o - S_r}$$

Donde:

$S_o$  = Desviación típica de los materiales que componen el sistema antes de iniciar el proceso.

$$S_0 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$\bar{x}$  = Medio de la población suponiendo que el mezclado sea perfecto

$S$  = Desviación típica real pero el número considerado de muestras puntuales

$\bar{x}$  = Medio de la población

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$\bar{x}$  = Medio de cada muestra

$n$  = Número de muestras

$S_0$  = Desviación típica para una distribución al azar completa

$$S_0 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$\bar{x}$  = Medio de la población en condiciones ideales

$N$  = Número de partículas promedio en la muestra

A través de todo el capítulo se ha mencionado la necesidad de evaluar el mezclado por lo que se hace necesario tomar muestras e analizarias de manera que se conozca la distribución del material clave.

#### 6) METODOS DE ANALISIS PARA LA EVALUACION DE MUESTRAS

Listan un número de métodos de análisis para evaluar muestras procedentes de mezclados efectuados que van desde los métodos más simples como separar limaduras de hierro con un imán de la mezcla azufre-limadura de hierro hasta métodos tan complejos como podría ser la cromatografía de gases para separar el DDT de la leche. En el caso de los mezclados en que se tienen materiales sólidos únicamente, las muestras

pueden someterse a diferentes tipos de análisis dependiendo de las características de las partículas mezcladas. Por lo que se describirán las más utilizadas para evaluar este tipo de mezclas.

#### 1.- Tamizado

El tamizado es una operación básica en la que una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños se separan en dos o más fracciones pasando las por un tamiz.

Un tamiz es una superficie conteniendo cierto número de orificios de igual tamaño. La superficie pueda ser plana o cilíndrica. Los tamices planos se denominan cedazos o cribas. Los tamices son extensamente usados para separar mezclas de productos granulados o pulverulentos en intervalos de tamaños. Por ejemplo, se usan para separar industrialmente los productos alimenticios en dos o más categorías de tamaño de partículas con fines de manufactura específicos.

El tamizado se utiliza en el análisis de partículas para determinar el tamaño y la distribución de tamaño de las partículas en productos pulverulentos.

Los tamices industriales están hechos con barras metálicas, láminas, cilindros perforados o con telas y tejidos manufacturados con hilos.

Entre los materiales de construcción de los tamices se encuentran el acero inoxidable, el metal monel y telas de algodón.

En el laboratorio se utilizan tamices normalizados de hasta

16 um de apertura. (16)

Para el análisis de tamaños por tamizado el intervalo corriente de tamaño de partícula que se mide por este método es de 50-5,000 micrones.

La determinación del tamaño de partículas más gruesas se realiza normalmente por medición directa.

### 3.- Filtración

Se puede definir a la filtración como la separación de sólidos y líquidos o como la operación básica en la que el componente sólido insoluble de una suspensión sólido-líquido se separa del componente líquido haciendo pasar esta última a través de una membrana porosa que retiene las partículas sólidas en su superficie superior o dentro de su estructura o ambas cosas a la vez.

La suspensión de sólido en líquido se conoce como medio de alimentación, el líquido que pasa a través de la membrana se conoce por filtrado y a la membrana se le conoce como medio de filtración.

Los aparatos en que se lleva a cabo esta operación se llaman filtros y deben tener un soporte para el medio de filtración, un espacio para la acumulación de sólidos y un depósito para contener el filtrado.

También se deben proporcionar medios de filtración y medios para producir el flujo de filtrado a través del filtro.

El flujo de filtrado se puede conseguir por medio de gravedad.

Por aplicación de una presión mayor que la atmosférica en la parte anterior del medio (filtración o presión), aplicando vacío por la parte posterior del medio (filtración al vacío) o por medio de fuerzas centrífugas (filtración centrífuga). La filtración que emplea solo fuerzas de gravedad está limitada a productos que contengan sólidos finos de escuamamiento o de muy bajo contenido de sólidos.

Dependiendo de la importancia del material filtrado en algunas ocasiones la fracción sólida o pastilla será la que se desea obtener y en otras ocasiones será el filtrado.

### 3.- Análisis volumétrico (Titulaciones)

En el análisis volumétrico se aproximan reacciones cuantitativas que se lleven a cabo entre la sustancia por determinar y un reactivo cuya concentración se conoce exactamente cuyo volumen corrobore la realización de la reacción hasta su punto final.

Las reacciones que se aplican al análisis volumétrico deben ser conocidas con exactitud para poder relacionar el peso de las sustancias reaccionantes con el peso de los productos de la reacción, pues aún cuando en este tipo de análisis se relacionan los volúmenes, estos están directamente relacionados con el peso de las sustancias a que equivalen.

Este sistema analítico, debido a sus cálculos que se basan en los volúmenes de soluciones requeridos en cada reacción, recibe el nombre de análisis volumétrico.

La exactitud de estos métodos es comparable a la de los mejores y si a esto se le agrega la rapidez que es uno de sus caracteres hacen que sea uno de los métodos preferidos. Sin embargo tiene sus limitaciones debido a que para que una reacción química pueda analizarse volumétricamente debe llevarse a cabo rápidamente, no así aquellas que se efectúan lentamente. Por otra parte, la reacción debe ser definida y siempre la misma dentro de las variaciones normales analíticas. Otra de sus limitaciones está en el conocimiento exacto del final de las reacciones, pero ello en la mayor parte de los casos se emplean sustancias especiales llamadas indicadores cuyo función es advertir cuando se ha efectuado totalmente la reacción. Sin embargo, no siempre es posible emplear estos indicadores por diferentes razones y en estos casos puede recurrirse a métodos fisicoquímicos en sustitución de los indicadores químicos, pero el uso de estos no debe de ser una limitante por su alto costo y por emplearse aparatos delicados en su manejo.

Las soluciones empleadas en volumetría y cuya concentración debe ser conocida con tanta exactitud como resultados analíticos se desean obtener, reciben el nombre de soluciones valoradas o soluciones tituladas. Su concentración está referida, al peso equivalente de la sustancia activa que tiene disuelta, entendiéndose por peso equivalente la cantidad en gramos de la sustancia que corresponde a un átomo gramo de hidrógeno.

Una solución que contiene por litro el peso equivalente gramos de cualquier compuesto o elemento recibe el nombre de solución normal. Se da el nombre de normalidad de una solución a la relación que existe entre el peso de sustancia activa contenido en un litro de esa solución.

Si la cantidad de sustancia contenida en un litro de la solución es mayor que la correspondiente al equivalente la solución será doble normal, triple normal, etc. y si es menor será medio normal, tercio normal, etc.

Por lo general a los estudiantes de la educación de trabajos exactos se prefiere el uso de soluciones decinormales, las cuales, como su nombre lo indica, contienen la décima parte de peso equivalente por litro. En algunos casos, se emplean soluciones cuya concentración no está fijada de acuerdo con el sistema normal; en este sistema la concentración de las soluciones está dada en gramos por centímetro cúbico de la sustancia que contiene o de cualquier otra, de tal manera que el número de centímetros cúbicos empleados en una titulación da directamente la cantidad de sustancia que se cuantifica.

En otros casos se regula el peso de la muestra con relación a la concentración de la solución de tal manera que el volumen de esta indique el porcentaje del componente en la muestra que se analiza.

En las soluciones antes mencionadas, la cantidad de soluto por centímetro cúbico o su equivalente en otra sustancia recibe



el nombre de título. También tratándose de soluciones del sistema normal y para simplificar cálculos, se pueda determinar el título sobre el elemento o compuesto que se desee.

#### 4.- Refractometría (Índice de refracción)

Cuando un rayo de luz pasa oblicuamente de un medio hacia otro de densidad diferente, su dirección cambia al atravesar la superficie que los separa. A esto se le llama refracción. Si el segundo medio es ópticamente más denso que el primero, el rayo resultará más perpendicular a la superficie divisoria. El ángulo entre el rayo y el primer medio u la perpendicular de la superficie divisoria se llama ángulo de incidencia  $i$  y mientras que el ángulo correspondiente al segundo medio se llama ángulo de refracción  $r$ . El seno de  $i$  y el seno de  $r$  son directamente proporcionales a las velocidades de la luz en los dos medios. La proporción  $\text{sen } i / \text{sen } r$  se llama índice de refracción.

El índice de refracción de dos medios dados varía con la temperatura y con la longitud de onda de la luz. Si estos factores se mantienen sin variación el índice de refracción es una característica constante para el medio considerado y se emplea en la identificación y determinación de la pureza de sustancias y para el análisis de la composición de mezclas binarias homogéneas de constituyentes conocidos.

El índice de refracción teóricamente se refiere al vacío como el primer medio, por conveniencia es el más comúnmen-

te usado.

El principio de funcionamiento de los aparatos que se emplean comúnmente en la determinación de los índices de refracción está basado en la medición de los índices de refracción del ángulo límite. Como ejemplos se encuentran:

1.- Refractómetro de Abbe, cuya sensibilidad es de  $1 \times 10^{-4}$ ; se emplea en intervalos de  $n$  entre 1.30 y 1.71; el fuente de luz es blanco, por lo que necesita prismas de compensación y las mediciones son directas.

2.- Refractómetro de precisión de Abbe, cuya sensibilidad es de  $3 \times 10^{-5}$ ; se usa en intervalos de  $n$  de 1.2 a 1.7. Las lámparas son de sodio con arco de mercurio, no necesita prismas de compensación. Requiere de tablas para convertir la luz medida en índice de refracción.

3.- Refractómetro de inmersión, tiene una sensibilidad de  $3 \times 10^{-5}$ ; sus intervalos de  $n$  son de 1.32 a 1.54. La lámpara es de luz blanca y por lo tanto, necesita prismas de compensación. Al igual que el de precisión de Abbe requiere de tablas de conversión.

La aplicación más común de la refractometría es la identificación de líquidos orgánicos aunque también se ha aplicado a análisis tanto inorgánicos como orgánicos en fase sólida, líquida o vapor. La precisión y exactitud de los análisis por refractometría dependen de la calidad del aparato y del grado de control de la temperatura. Para determinar mezclas

binaria es necesario preparar curvas de calibración. Si los estándares y la muestra se leen a las mismas condiciones se obtienen datos bastante exactos.

No en todos los casos los gráficos concentración-índice de refracción son lineales, pero una interpolación de la curva de calibración es suficiente. Cuando las determinaciones se llevan a cabo en medios acuozos y se expresan en gramos de soluto en 100 ml de solución se obtienen líneas rectas. Si son mezclas de líquidos orgánicos, se obtienen líneas rectas cuando las concentraciones se expresan como % en volumen.

La refractometría se usa en la determinación de soluciones de azúcares, de cloruro de sodio y potasio, en el contenido de azúcar en leche sintético.

También tiene aplicación en análisis clínicos para la determinación de constituyentes no albuminosos como globulinas totales en suero, etc.

#### 5.- Colorimetría

Desde que el color ha sido reconocido como una característica de ciertos materiales, bajo algunas condiciones dadas se le ha utilizado como un medio de identificación, sin embargo, las pruebas de este tipo están limitadas tanto en precisión como en alcance ya que se basan en el ojo humano como detector de energía radiante. Cuando este fallo, así como también, la perfección de otros detectores de radiación, junto con el adelanto general de la instrumentación, ha producido

una gran extensión en las técnicas en este campo. En alcance, estos cubren ahora el espectro electromagnético desde el lejano infrarrojo hasta la totalidad del ultravioleta. Puesto que estas técnicas se ocupan de la medición de la intensidad o poder de radiación, como función de la longitud de onda, puede usarse el término fotométrico o espectrofotométrico para identificarlos.

En algunos casos su sensibilidad es tan grande que pueden detectar concentraciones tan pequeñas como 0.01 a 0.001 partes por millón. Las técnicas fotométricas están basadas en la capacidad que tienen las sustancias de interactuar con frecuencias de radiación características. Puesto que cada especie aislada de ión, átomo o molécula exhiba un conjunto diferente de niveles de energía radiante definidos, absorberá solo las frecuencias electromagnéticas que corresponden a la excitación de un nivel u otro.

Siempre que un haz de radiación solamente policromático pase a través de un medio, se registra una pérdida de intensidad. Primero se produce una reflexión en los interfaces como resultado de los índices de refracción entre el medio y sus contornos. Segundo, la dispersión motivada por las homogeneidades (en los medios) o por fluctuaciones térmicas produce una pérdida adicional en la potencia del haz principal. Sin embargo, ninguno es tan significativo en la disminución de la intensidad, como el hecho de que el medio en sí mismo no sea perfec-

mente transparente sino que absorberá las frecuencias radiantes que producen los cambios de energía dentro de las moléculas e iones.

La absorción depende de:

- a) La naturaleza del medio, es decir, su composición y
- b) La longitud de la trayectoria óptica en el medio.

Esta dependencia está expresada mediante la ley de Beer.

La ley de Beer puede expresarse como "La absorción de un medio es directamente proporcional al número de centros de absorción".

Dicho de otro modo, la absorción de un medio es directamente proporcional a su concentración.

En la fotometría de absorción, tanto la transmitancia como la absorbancia son elementos prominentes. Sin embargo, esta última es más útil debido a su dependencia lineal sobre la concentración y longitud de trayectoria.

El conocimiento de la concentración y la absorbancia de una sustancia permiten elaborar curvas patrón que, posteriormente, podrán utilizarse como modelos para interferir resultados. Pero existe un límite para la validez de los resultados obtenidos. La restricción de que los centros de absorción no interactúen entre sí o con otras especies hace que la ley de Beer sea limitada y se aplique principalmente a soluciones diluidas.

#### 6.- Evaluación sensorial

En muchas ocasiones los análisis no se realizan al producto en polvo recién molido debido a la complejidad de separación de los componentes que lo constituyen por lo que las pruebas se realizan en el producto terminado, como en el caso de harinas preparadas para pastas, budines, atoles y gelatinos, en los que es más fácil aplicar una serie de análisis principalmente sensoriales que pueden dar el criterio de aceptación o rechazo.

Las propiedades organolépticas en la secuencia de apreciación se pueden ordenar como:

La apariencia (forma y color) señalada por la visual; el sabor (aroma y gusto) indicado por el olfato y el gusto; la textura (resistencia y consistencia) apreciada por el tacto.

Incluso el sentido del oído tiene un papel importante en la evaluación de productos, estos factores están en función de la apariencia del producto aunque en ocasiones se realizan de acuerdo a las propiedades funcionales de alguno de los ingredientes debido a su interés industrial.

Los criterios para valorar un producto de esta manera deben escogerse siempre en función del mismo. Por ejemplo, para evaluar la calidad de una gelatina se considere el tiempo y grado de gelificación, es decir, el tiempo que tarda en cuajar y cual es su variación después de que esto sucede ya que la gelatina que contiene es el elemento que le da las características específicas por lo que no sería lógico considerar

la cantidad de colorante o edulcorante que contiene.

Para juzgar y controlar la calidad de los productos se utilizan distintos criterios y métodos de valoración.

Los equipos de degustación generalmente están formados por personas especialmente entrenadas a las que se pide dictamen sobre los caracteres organolépticos, lo que permite la valoración sistemática en unas condiciones estadísticas aceptables.

Al igual que otras propiedades organolépticas, la textura depende en parte del observador, la palabra textura designa el efecto que se percibe o a veces se mide indirectamente, de los elementos estructurales presentes en los alimentos, que se obtienen cuando se somete un producto a deformaciones mecánicas. Frecuentemente el consumidor condiciona la aceptación o rechazo de un producto a la textura. Por ello se hace necesario la evaluación cualitativa empleando instrumentos de medida física como el penetrometro y el viscosímetro.

En la industria de alimentos es frecuente la elaboración de productos que, posteriormente, van a dar lugar a productos que difieren en apariencia o lo que presentan antes de su preparación como es el caso de harinas preparadas para pasteles, azúcares y gelatinas, por lo que el uso de densímetros, penetrometros y viscosímetros facilita la determinación de la calidad, índice y grado de mezclado.

Debido a que la separación de los productos responsables de dar las características específicas a cada producto son difíciles de separar. Esto es la razón por la que se desarrolló la medición de parámetros de textura, coloidales y reológicos.

#### 2.1. Otros parámetros

Además de los métodos antes mencionados, la evaluación del PH, la densidad y la viscosidad de algunas soluciones son métodos ampliamente utilizados para evaluar los diferentes parámetros que permiten conocer la calidad de un producto.

Se podrían mencionar un número interminable de métodos de evaluación de muestras por lo que solo se mencionan los que se emplean con mayor frecuencia en la industria de alimentos debido a su importancia y además, se mencionan las más utilizadas.

#### 2.2. TIPO DE MEZCLADOR

La eficacia de un proceso de mezclado depende de la utilización de la energía empleada para generar el flujo de los componentes.

En el diseño de un mezclador es esencial determinar un flujo de energía adecuado y un buen sistema mecánico de transmisión para así como la configuración del recipiente y las propiedades físicas de los componentes. Incluyendo los mezcladores continuos podemos encontrar tres tipos básicos a considerar:

#### Tipo 1

Depósito estacionario que contiene un agitador horizontal



un detector de flujo o pellets. Los agitadores de helice montados en tanques verticales son de uso común en la mezcla de líquidos poco viscosos, suspensiones de sólidos y líquidos de flujo libre y en la dispersión de gases en líquidos.

Tipo 1:

Deposito estacionario que contiene espas, cuchillos o tornillos móviles. Se han desarrollado para mezclar productos muy consistentes (líquidos viscosos, masas, pastas, grasas, etc.)

Un deposito móvil con aletas, hélices, cuchillos, etc. móviles o estacionarios.

Los mezcladores de esta categoría se emplean para homogeneizar productos de gran consistencia: masas, materiales plásticos, etc.

Estos tres tipos de mezcladores cubren el campo de aplicaciones representado por mezclas de consistencias altas, medias y bajas.

Los tipos 2 y 3 sirven también para mover materiales gruesos. El objetivo común es promover un flujo.

En la mezcla de partículas sólidas la probabilidad de obtener una distribución ordenada de las partículas es prácticamente nula.

En los sistemas reales lo mejor mezcla que se puede obtener es la que corresponde a una distribución al azar de los los gradientes.

Sin embargo, el grado de mezcla necesario en muchas operaciones dependerá del uso de la mezcla y los métodos de control que se utilicen.

Es muy común ver en la industria de alimentos que las mezclas deben satisfacer requerimientos legales de composición.

Por ello deben tomarse en cuenta los efectos de segregación sobre el grado de homogeneidad obtenido en la mezcla.

A la hora de seleccionar el equipo mezclador de sólidos es preciso reconocer cualquier tendencia a la segregación.

En una mezcla de sólidos secos la segregación puede detectarse fácilmente por la prueba de "la silla" para cuya ejecución se vierte la mezcla de sólidos a través de un embudo para formar una silla conica se toma una muestra de su núcleo central y otra del borde del cono-ambos deben tener composiciones similares para asegurar que no habrá segregación; si las muestras tienen características distintas debe prestarse mucha cuidado al mezclador.

La tendencia a la segregación de las partículas sólidas en lugar a que los mezcladores de sólidos se clasifican de la siguiente manera:

- a) Mezcladores semejantes (funcionan con un mecanismo fundamentalmente similar) los que son de helice corresponden a este tipo.
- b) Mezcladores menos semejantes (funcionan por mecanismos constructivos) dentro de esta clasificación se encuentran los

de halice en los que tornillos, barras o cuchillos mueven las partículas por la zona de mezcla.

Existen varios tipos de equipos para mezclar sólidos. En algunos el recipiente se mueve mientras que en otros hay un eje positivo que gira dentro de un recipiente estacionario.

En la tabla 2 se clasifican los equipos de mezcla de sólidos de acuerdo a las características que están en los encabezados de las columnas. En los figuras 1 y 2 se muestran detalles de varios de los equipos mencionados.

#### 1.- Bolicardos de volteo

Usando volteando la base de los sólidos en un tambor giratorio de forma vertical (Fig. 1).

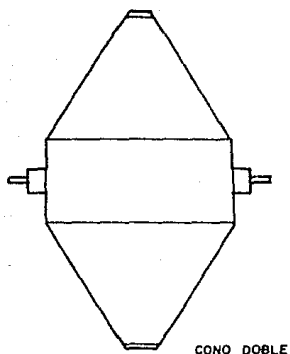
Para medir su efectividad se pueden colocar desiguales o bloques de retención y en algunos casos mecánicas directas internas accionadas de manera independiente para facilitar la mezcla de aglomerados.

La capacidad gira hasta 100 rpm y su capacidad de carga es de 50-80% del volumen total.

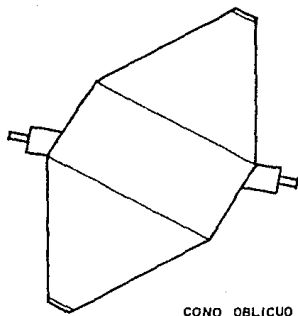
Su construcción se hace con diversos materiales entre los que se incluyen el acero inoxidable y tienen conductas o válvulas para la carga y la descarga.

Son adecuados para el secado cuando pueden manejar grandes volúmenes se llenan con facilidad y son adecuados para materiales abrasivos y polvos densos.

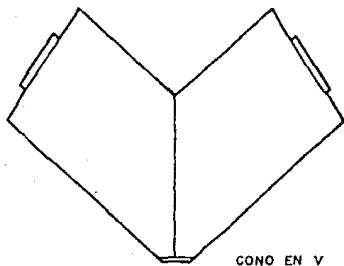
La segregación puede ser un problema si las partículas varían



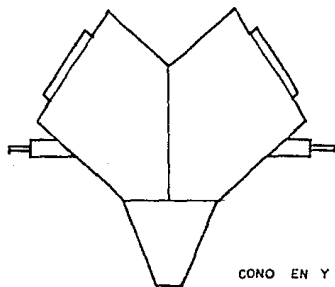
CONO DOBLE



CONO OBLICUO

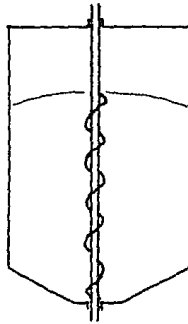


CONO EN V

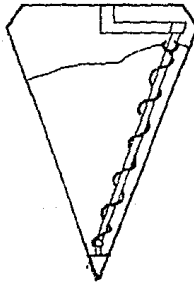


CONO EN Y

FIGURA 1 · ALGUNAS FORMAS TÍPICAS DE MEZCLADORES DE VOLTEO



TORNILLO CENTRAL



TORNILLO DE GIRO ORBITAL

FIGURA 2: MEZCLADORES DE TORNILLO VERTICAL

TABLE 2

TIPOS DE MOVIMIENTOS MECANICORAS DE SÓLIDOS

* VOLTEREADO	* VOLTEADOR POR COMPRESOR
	* INTERIO DE VOLTEREADOS
* -SIN DE SUJECIONES :	* MOLINO DE BULAS
* TAMBOR HORIZONTAL O	* MOLINO DE GUITARRAS
* INCLINADO	* MOLINO DE BARROS
* COMO PALE	* MOLINO CIRCULAR DE
* CASCO	* GULBERGOS
* TIPO DE BOMBA	* COMO DOBLE
* -CON DESVIADORES:	* CASOS GEMELOS
* TAMBOR HORIZONTAL	* CUBO
* COMO DOBLE CON SUJECION	
* EN TUBO AL EJE CASCO	
* ARTESA O CASCO	* TIPO EL CASCO COMO EL
* ESTACIONARIO	* DISPOSICION INTERIO GIRAR
* CANTA	* CONTRACORRIENTE
* TORNILLO VERTICAL	* TORRETA DE LA PAJA
* MOTOR SIMPLE	* CRITURADORA Y LA FLORA
* MOTORES HERMOS	* BURSA DE EN DIRECCION
* HERMOS	* LONTERIA
* RESOLUCION DE SALETAS	* TIPOS PLANETARIOS
* VOLTEREADOR (TORRENTAL)	
* MECANISMO POR	* TIPOS DE PROCESAMIENTO
* INSECTO	* QUE PUEDEN HERIR LA
	* MECCLA DE SÓLIDOS
* MOLINO DE MORTILLO	* CARRILLO DE CUBRAS
* MOLINO DE DEFALTO	* FLOTACION
* MOLINO DE ANJLA	* SUJECIONES DE SUDOR
* MOLINO DE ANORRO	* CASOS CON TRANSPORTAD
* MOLINO DE FRICTION	* LA BARRA
	* MOTOR POR ELEVACION
	* TRANSPORTADORE INERCIADO
	* RESISTENCIAS

en tuyoño o forma.

## 2.- Mezcladores de cubeta horizontal

Están formados por recipientes horizontales semicilíndricos en los que están localizados uno o más elementos agitadores.

Para operaciones sencillas bastan los transportadores de tornillos sencillos o único pudiendo ser suficiente uno solo para todo el sistema.

Para operaciones más exigentes se puede utilizar un mezclador de listón o mezclador de cintas compuesto por dos cintas actuando en sentido opuesto y montados en el mismo eje. Una mueve las sólidas lentamente en una dirección y la otra lo hace rápidamente en dirección contraria por lo que el sistema se puede utilizar como un mezclador continuo. Otros tipos de mezcladores de cintas trabajan en forma discontinua.

Las cubetas pueden ser cerradas o abiertas para poder utilizarlos a presión o vacío o para minimizar los salidos producidos por el polvo. Debido a la pequeña separación entre las cintas y la pared de la cubeta se pueden deteriorar las partículas. Además el consumo de energía es elevado.

Humedad la segregación puede aparecer debido al movimiento envolvente no es un problema serio.

El mecanismo que opera este tipo de mezclador es principalmente conductivo. Las cintas transportan las partículas de una a otra zona.

Se utiliza fundamentalmente con productos que ofrecen tendencia a la segregación.

#### 3.- Mezcladores de tornillo vertical

Otro equipo utilizado para mezclar sólidos consiste en un tornillo vertical giratorio situado en un recipiente cilíndrico o cónico.

El tornillo puede estar fijo en el centro del depósito (Fig. 2) o puede girar e hacer órbitas alrededor del eje central, girando cerca de la pared del depósito (Fig. 2).

Este último tipo es más eficiente y evita las zonas estacionarias cerca de las paredes. Este tipo de mezcladores son rápidos y muy eficientes y particularmente útiles para mezclar pesadas partes de aditivos con una gran masa de producto. Predomina en ellos el mecanismo convectivo de manera que puede usarse con productos que tienen tendencia a la segregación apropiada para sólidos secos que fluyen libremente.

#### 4.- Otros métodos

Los lechos fluidizados se pueden utilizar para mezclar sólidos y son bastante efectivos cuando las partículas tienen características de sedimentación similares.

Se utilizan muchos otros métodos para mezclar sólidos.

Los mezcladores de tipo espalador, mezcladores de bandeja y mezcladores de flujo, se encuentran aplicados en este campo. El método puede ser efectivo al meter aditivos a los lechos neumáticos que llevan partículas sólidas.



Otros dispositivos utilizan fuerzas centrífugas o choques de aire para llevar a cabo la operación de mezcla.

#### D) CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO

Antes de seleccionar equipos de mezclado de sólidos es preciso efectuar un estudio cuidadoso de diversas características de funcionamiento las cuales se mencionan y explican a continuación.

##### 1.- Uniformidad de la mezcla

Se debe escoger el tipo apropiado de mezclador para asegurar el grado deseado de homogeneidad de los lotes.

Esta característica no debe despreciarse para obtener otros conveniencias.

El proveedor proporciona información sobre las capacidades especiales de los diversos tipos de máquinas para combinar distintos tipos de materiales.

##### 2.- Tiempo de mezclado

Es necesario tener cuidado para evitar un mezclado muy prolongado puesto que en algunos casos esto daría como resultado una mezcla más pobre.

Es preciso preparar una gráfica del grado de mezclado en función del tiempo para seleccionar cuantitativamente el tiempo apropiado de mezclado.

El tiempo real durante el cual el lote se está mezclando debe ser de menos de 15 min. si se escoge el mezclador adecuado y la capacidad de trabajo apropiada. De hecho en la

mayoría de los casos, el diseño apropiado de la mezcladora, producirá la combinación que se desea en unos cuantos minutos.

### 3.- Carga y descarga

Es necesario tomar en cuenta todo el sistema de manejo, para obtener condiciones óptimas de carga y descarga. Esto incluye el uso adecuado de tolvas pesadoras y de almacenamiento, el premezclado de ingredientes y otros, así como la buena ubicación de los conductos de descarga.

### 4.- Potencia

En general, esto no es una consideración primordial al escoger un mezclador de salidas, puesto que, comúnmente predominan otros requisitos, sin embargo es preciso proporcionar una potencia suficiente para cubrir las necesidades máximas, en el caso de que se produzcan cambios durante la operación de mezclado.

De igual manera, cuando se necesiten diversos mezclas, la potencia debe ser suficiente para los materiales con densidad mayor. Si la mezcladora cargada tiene que arrancar a partir del reposo, debe contar con la potencia suficiente para lograrlo. Cuando haya necesidad de hacer variaciones de velocidad, se debe tomar en cuenta este característica al planear los requisitos de potencia.

### 5.- Limpieza

La facilidad, frecuencia e intensidad de la limpieza pue-

den ser consideraciones vitales cuando se tengan que mezclar en recipientes distintos o en la misma máquina lotes incompatibles.

Los recipientes de volteo simples son fáciles de limpiar con la condición de que tengan aberturas adecuadas. Los conos que pueden presentar problemas de limpieza son :

- a.- Los sellos
- b.- Las grietas en los soportes de los desviadores.
- c.- Los rincones
- d.- Los dispositivos de descarga

Cuando la limpieza entre lotes diferentes exija mucho tiempo, se deben tomar en consideración varias mezcladoras alternativas.

Por lo común se puede proporcionar con un costo extra una construcción sanitaria especial.

#### E.- Desgaste del equipo

Los mezcladores de volteo simple son los que tienen menor desgaste. Los dispositivos de fractura en los volteadores pueden presentar problemas graves de abrasión con ciertos materiales como la arena y los granos abrasivos de las ruedas de molinos. Para estos casos deben tomarse en cuenta los recipientes resistentes a la abrasión, elecciones especiales o electrodeoxidaciones.

Un dispositivo o agitador interno se puede desgastar sobre todo cuando deben mezclarse materiales muy abrasivos, tendran

que superen los beneficios de un dispositivo divisor de flujo-  
 merados en función de la contaminación potencial y los costos  
 de reemplazamiento y mantenimiento.

#### D) SELECCIÓN DEL EQUIPO

Ya se mencionaron los tipos de mezcladores y sus caracte-  
 rísticas de funcionamiento. También se describieron las ten-  
 dencias de segregación de los sólidos, aparte del examen cui-  
 dadoso de los parámetros antes mencionados en la selección  
 del mezclador, se debe tomar en cuenta el lugar que ocupa en  
 el proceso general al escoger un mezclador de sólidos. Es pre-  
 ciso analizar los objetivos generales del procesamiento,  
 además de los detalles de los equipos.

En algunos casos es posible realizar pruebas piloto en  
 una versión a pequeña escala del equipo que se va a utilizar  
 en producción.

Se puede obtener mucha información útil a condición de que se  
 tome en cuenta lo siguiente:

- a.- En general, cuanto mayor sea la unidad piloto tanto más  
 segura será la predicción del funcionamiento a gran escala.  
 La unidad piloto tiene que ser un prototipo con todas  
 las dimensiones apropiadas a escala.
- b.- No hay muchos datos publicados para el aumento en escala  
 de la mezcla de sólidos, por lo que los distribuidores de  
 equipos pueden proporcionar información de aumento de es-  
 cala para sus diferentes equipos basados en las experien-

cios, si se ajustan a las velocidades para proporcionar un movimiento comparable a una fracción volumétrica de la mezcladora adecuada correspondiente al aumento en escala de los resultados será directo.

- c.- Siempre que sea posible, se deben utilizar los materiales reales que van a procesarse.

Si se van a utilizar sustitutos, deben poseer las mismas características de mezclado. La razón es que las propiedades de flujo de los materiales específicos que se van a mezclar en la planta deben ser iguales a los materiales de demostración.

- d.- Es preciso tener en cuenta las diferencias entre los materiales de construcción entre las unidades piloto y las de producción. Pueden tener influencia sobre la formación de tortas, erosión y los efectos electrostáticos.

#### 13) COSTOS

Y, finalmente no se pueden dejar de mencionar el costo de un equipo, ya que lo aumento de las veces este es el factor limitante para la adquisición del mezclador del tamaño y las características adecuadas, esto va a depender del diseño y material de construcción.

De esta manera se cubren de modo más general las características de los diferentes tipos de equipos de mezclado para plantas que existen así como las características de los mismos.

## CAPITULO II DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Generalmente, el hablar de el diseño de un experimento lo frase sugiere una serie de técnicas matemáticas y estadísticas, que se han utilizado o sirven de base para estudiar algunos de los modelos ya establecidos para manejar datos, en este caso el diseño del experimento está referido a la serie de técnicas aplicadas a la elaboración de una práctica de laboratorio.

el objetivo de este estudio es el de diseñar una práctica de mezclado de sólidos que sea fácil de realizar, económica y didáctica.

Para que esto se pudiera llevar a cabo, fue necesario conocer cuáles eran los materiales y equipos disponibles y de qué manera se podían utilizar, lo que llevó a un análisis de los diferentes variables involucradas directamente con el objetivo propuesto.

Para poder diseñar el experimento se consideraron tres puntos:

Equipo, materia prima disponible y posteriormente el ser

todo de evaluación que llevaría a obtener resultados reproducibles.

La primera parte del trabajo experimental radica en la selección del mezclador. En el laboratorio de Ingeniería Química se cuenta con un mezclador de cubo con desviadores, hecho de acero inoxidable con una capacidad útil de operación de 500.9 aproximadamente.

Por otra parte existía fuera de operación un mezclador tipo cubeta horizontal tipo listón de acero inoxidable con una capacidad útil de operación de 5 kg.

El mezclador de cubo cuenta con 4 velocidades de operación y el tipo listón con una solamente. En este caso el criterio de selección se enfocó de acuerdo al uso que se le daría al mezclador. Al ser una práctica orientada a las áreas alimentaria y farmacéutica se encontró que sería de mayor utilidad el uso del mezclador tipo listón debido a sus características tanto de tamaño e material de construcción, como el uso que tienen este tipo de mezcladores en las industrias antes mencionadas. Además de estas condiciones se tomó en cuenta la necesidad de aprovechar un equipo que no estaba en operación y que por sus características podría ser de mucha utilidad en las prácticas de el laboratorio. Por otra parte el mezclador de cubo se había estado utilizando en prácticas de mezclado y la instalación y uso de un nuevo mezclador introduciría la posibilidad de hacer pruebas comparativas entre los

diferentes tipos de mezcladores, por lo que a partir de una práctica podría obtenerse información interesante y útil sobre mezclado y sus variaciones de acuerdo con el equipo utilizado.

Una vez definido el tipo de mezclador que se utilizaría, la siguiente opción fue elegir el material susceptible a mezclarse. En la práctica que se realizó normalmente en el laboratorio se emplea azúcar y café, se utilizó como método de separación el tamizado, pero por las condiciones de tamaño y operación de el equipo seleccionado, la utilización de estos materiales resultaría muy costosa, por lo que se decidió elegir otra. Este mezcla debe tener características muy particulares, debe ser con materiales que resulten fáciles de conseguir y además económicos, que puedan separarse con facilidad y que se cuantifiquen también de manera simple. Además, sus características físicas deben ser compatibles con el equipo seleccionado, un factor determinante en la elección de los materiales que se mezclaron fue el costo. Por ello, fue necesario buscar materiales baratos.

Así se encontró que en el laboratorio se cuenta con una gran cantidad de carbonato de calcio, remanente de las prácticas de filtración y que por su tamaño de partícula ya no se puede utilizar. Esto brindaba una gran cantidad de material disponible y de costo relativamente bajo, con un tamaño de partícula pequeño que resulta adecuado para utilizarse en



cualquiera de los mezcladores disponibles. De esta manera quedaba resuelto una parte del problema, pero surgía otra: la selección del material utilizado como trazador. Una de las limitantes en la elección del material trazador, además de su costo, lo representó el método de evaluación y el que fuere un material compatible físicamente con el carbonato. En primera instancia se pensó en un colorante soluble en agua, aprovechando la característica del carbonato de calcio de ser insoluble en éste. Así, la separación de los componentes de la mezcla sería sencilla ya que para separar, bastaría solubilizar el colorante en un volumen conocido de agua y filtrar para separar el carbonato. Aquí se presentaba otro problema, el de la cuantificación de colorante en la solución. Para ello podrían emplearse dos métodos. El primero consiste en evaporar el agua y pesar el colorante disuelto en ella, lo que indica la cantidad presente de éste en la muestra evaluada.

El otro método sería espectrofotométrico, para cuantificar la concentración de colorante en solución, previa elaboración de una curva patrón. Harentemente, cualquiera de estos métodos es lo suficientemente bueno para utilizarlo. Sin embargo, el primer método es tedioso, lo cual altera el objetivo planteado y, con respecto al segundo método, a pesar de ser rápido no se cuenta con el equipo necesario en el laboratorio.

Tomando esto en cuenta, se buscaron otras posibles mezclas. Una solución era mezclar el carbonato de calcio con agua, su separación es rápida pero el efectuarlo cambia el objetivo planteado al diseñar la práctica. Es decir, se obtiene una pasta en lugar de una mezcla de sólidos.

Se pensó utilizar la mezcla azúcar y café que se emplea en el mezclador de cubo, pero el costo representa el factor limitante. Otra opción es la mezcla de limadura de hierro y arena, la cual es muy fácil de separar ya que basta utilizar un imán, pero el carácter abrasivo de esta puede crear problemas con el mezclador. Surgió la idea utilizar azúcar como material trozador por sus características físicas tan parecidas al carbonato de calcio. Este material trozador abre nuevas opciones con respecto al método de evaluación que se emplearía: la utilización de azúcar no se podía formalizar debido a su costo por lo que se pensó en un reactivo con características similares - menor costo. Así se llegó a la conclusión de que la utilización de cloruro de sodio podría reemplazar con muchas ventajas al azúcar.

El cloruro de sodio tiene características particulares que permiten que se cuantifique de manera muy sencilla. Un método es la titulación con nitrato de plata. Así se sabe la cantidad de cloruro de sodio presente en una solución y un problema lo constituye la preparación y titulación previa del nitrato de plata, aparte del costo de éste.

Pensando en esto, se estudia otra forma de evaluación. Para el material trazador revisando la bibliografía (26) se encontró que el índice de refracción en sustancias inorgánicas como el cloruro de sodio y potasio es proporcional a su concentración. Esto da la oportunidad de elaborar una curva patrón del índice de refracción contra concentración de cloruro de sodio de manera rápida y precisa, además de proporcionar un sistema de separación diferente al establecido en la práctica existente.

Realizando las características de los compuestos propuestos, la mezcla se podría realizar de manera satisfactoria del mismo modo que la separación y cuantificación del material trazador. Por otra parte, el uso del índice de refracción como método de evaluación reduce el tiempo de realización de la práctica.

Una vez decidida la mezcla, el siguiente punto fue la determinación de las cantidades que deberían mezclarse de cada material y cuál sería el volumen total de mezcla. Para saberlo se realizaron pruebas en los diferentes equipos y se encontró que la cantidad mínima de mezcla que se puede usar satisfactoriamente es de 2 kg ya que una cantidad menor, debido al volumen ocupado por el dispositivo de mezclado no se mezcla con eficiencia.

La cantidad de material trazador se fijó de acuerdo al método de evaluación que se usaría. Es decir, que este en cantidad suficiente para que pueda ser detectado, haciendo

calculos y de acuerdo con lo sugerido en la bibliografía se determinó adicionar el 10% de material trazador con respecto a la masa de carbonato de calcio. De esta manera, en todas las corridas realizadas se emplearon las mismas cantidades.

Una vez fijadas las cantidades que se utilizarían se procedió a determinar cuantas muestras de que tamaño y con que se tomarían, se consideró que 5 muestras podían dar suficiente información para evaluar la calidad del mezclado. Como se mencionó en el capítulo anterior, estas pueden ser tan pequeñas o tan grandes como se deseen pero, además, deben ser representativas. Después de tomar diferentes tamaños de muestra se decidió que estos fueran de 4 a 5 g ya que si eran de menor tamaño presentaban problemas de evaluación y si eran muy grandes se obtenían resultados muy similares a los del tamaño de muestra elegido.

El siguiente paso fue seleccionar y diseñar un muestreador. Basándose en que el carbonato de calcio se comezina con facilidad surgió la idea de hacer un dispositivo con un tubo que tuviera un tope de tal modo que al introducirlo en la mezcla quedara retenido cierto cantidad comezinado de ésta. De este modo se obtienen muestras de tamaño similar.

Así se tenía resuelto la mayor parte del problema. El siguiente paso fue elaborar una curva patrón para interpolar los resultados obtenidos en las corridas efectuadas. El problema no residía en la elaboración de la curva, sino en la

concentración máxima y mínima que se medirá. En este caso dado que el disolvente era agua se partió de cero y se midió el índice de refracción cuando la solución no contuviera cloruro de sodio. Para determinar la concentración máxima se consideró una muestra conteniendo solamente cloruro de sodio. Esta situación resultaría si el mezclado fuera inadecuado. Así se realizó una curva patrón que abarca los puntos máximos y mínimos posibles durante la experimentación.

Al parecer con esto quedaban cubiertas todas las variables que afectaban el experimento pero faltaba una de las más importantes. De acuerdo con las variables del equipo puede cuantificarse la la calidad del mezclado, es que esas características juegan un papel importante en la calidad de éste. Comparando los mezcladores disponibles, se observó que el mezclador de listón tiene una sola velocidad de operación mientras que el de cubo tiene cuatro, aunque de estos solo dos pueden utilizarse adecuadamente para mezclar. Como se seleccionó el mezclador de listón se optó por variar el tiempo de mezclado ante la imposibilidad de realizar otra variación. De este manera se hicieron mezclados a diferentes tiempos, que variaron entre 2 y 12 minutos y de acuerdo con la bibliografía, un mezclado de sólidos no debe ser mayor de 15 minutos, permaneciendo constantes las cantidades de material mezclado y de muestras evaluadas por corrido.

Con los datos obtenidos se hizo una evaluación estadis-

tico, utilizando como estimadores las medias y las desviaciones típicas de la cantidad de material trazador presente en cada una de las corridas realizadas y evaluadas, utilizando los métodos estadísticos especialmente diseñados para ello, mencionados y explicados en el capítulo anterior.

## CAPÍTULO III

### EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

#### REACTIVOS

Carbonato de calcio  
cloruro de sodio

##### 1.- Carbonato de calcio



Peso molecular : 100.1

Densidad : 2.71

Características: Polvo blanco-inodoro,insípido,insoluble en agua y alcohol,soluble en ácido clorhídrico,nítrico y acético con desprendimiento de dióxido de carbono.

Usos: Se utiliza como excipiente en comprimidos,grageas y capsulas,en pastas dentífricas,en pulimentos blancos. Para remover la acidez de los vinos,metabolización de celulidrio y síntesis orgánicas.

##### 2.- Cloruro de sodio



Peso molecular : 58.46

Densidad : 2.17

Sinónimos : Sal común, sal, sal de roca, sal marina y  
muirato de sodio.

Características : Granulos, cristales o polvo blanco;  
incoloro o transparente y translúcido cuando se encuen-  
tra en cristales blancos y grandes.

Usos : La sal natural es la fuente del cloro y del so-  
dio, casi como prácticamente de todos sus compuestos  
como el ácido clorhídrico, carbonato de sodio, en pre-  
servación de alimentos, fabricación de jabón y tinturas  
metalurgia del estaño y otros metales; salmueras minero-  
ríficas.

#### B) MATERIAL

- 1 Termómetro
- 1 Balanza granataria
- 1 Cubeto
- 1 Luchero de alcohol
- 1 Pisseta con agua destilada
- 1 Cronómetro
- 15 Matraces Erlenmeyer de 250 ml
- 1 Pisseta volumétrica de 50 ml
- 1 Vaso de precipitados de 250 ml
- 1 Matraz kitazeto de 250 ml
- 1 Manguera para vacío



- 1 Embudo Buchner
- 1 Muestreador
- 1 Bomba de vacío
- Papel filtro Whatman #1 Cualitativo

(C) EQUIPO

- 1 Mezclador tipo listón
- 1 Refractómetro de Abbe
- Refractómetro de Abbe (Rough & Lomb)

La figura 3 representa el diagrama del sistema óptico de un refractómetro de Abbe

La muestra se coloca en forma de película fina entre dos prismas (a) los cuales se pueden abrir o cerrar mediante una bisagra (b). El prisma superior (c) se encuentra fijo sobre un punto de apoyo que le permite rotar por medio de un brazo lateral (d). La superficie de los prismas es esmerilada; la luz blanca (e) se refleja en el prisma interior de la superficie esmerilada lo desdobra en un gran número de rayos que atraviesan la muestra y se refractan en la superficie de separación de la muestra y la superficie esmerilada del prisma superior. El rayo refractado pasa a un telescopio fijo (f) en el interior del cual se encuentran dos prismas de Amici (g) que pueden girar uno con respecto y recoger los rayos angulares en un solo haz que corresponden de el rayo D del sodio. El ocular del telescopio tiene unos filamentos cruzados (h) los cuales sirven para ajustar

el ángulo del prisma la lectura se refleja cuando el campo oscuro y el de luz coinciden exactamente con los filamentos. El valor de la lectura se obtiene en la escala tipo Bragg en unidades de índice de refracción. La temperatura se mantiene constante mediante la circulación de agua por camisas que rodean los prismas y a las cuales se les adosa el termómetro.

#### Mezclador de listón

Un mezclador de listón consiste en una tina horizontal conteniendo una flecha central y un agitador helicoidal. Dos listones están contrapuestos montados en la misma flecha: uno moviendo el sólido lentamente en una dirección, el otro moviéndolo rápidamente en la otra. Los listones pueden ser continuos o interrumpidos.

El mezclado resulta de la turbulencia inducida por la contraposición de los agitadores y no del movimiento de sólidos continuo en la tina.

En el caso del mezclador utilizado consta de una tina horizontal con una flecha central de listones continuos con una capacidad útil de 5 kg y una sola velocidad de operación (72 rpm) cuenta con un dispositivo de vaciado en la parte inferior. La tina tiene una cubierta para evitar la salida de polvos durante la operación.

(Detalles sobre este equipo se explican en el capítulo 1)

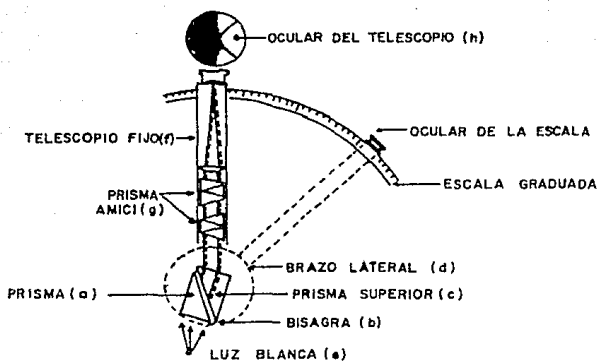


FIGURA 3. DIAGRAMA ÓPTICO DEL REFRACTÓMETRO DE ABBE

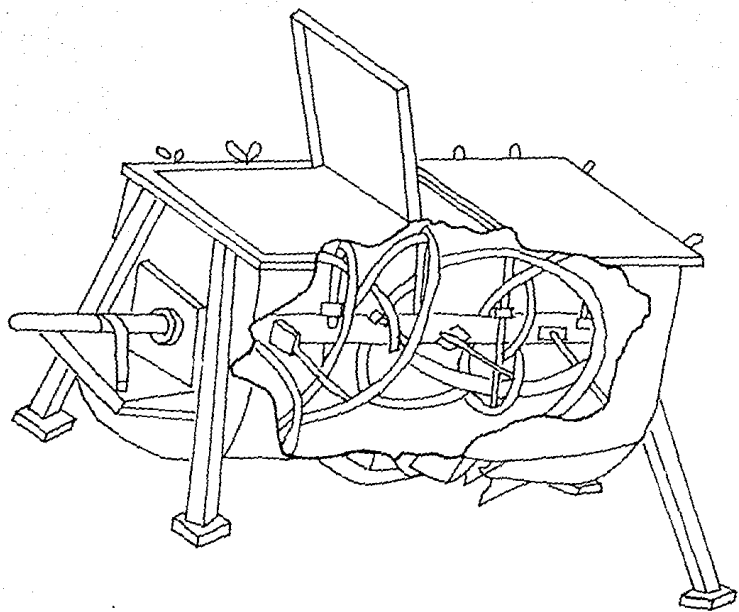


FIGURA 4: MEZCLADOR DE LISTON

#### D) METODOLOGIA

Pesar 2 kg de  $\text{CaCO}_3$  y 200 g de  $\text{NaCl}$  colocarlos en el mezclador/mezclor durante el tiempo elegido una vez transcurrido este detener el mezclado y tomar cinco muestras (una del centro y una de cada esquina de la fina). Colocar cada muestra en un matraz Erlenmeyer previamente pesado, pesar los matraces con la muestra para saber el peso de esta adición, con pipeta volumétrica 50 ml de agua destilado y agitar durante tres minutos con el objeto de disolver el  $\text{NaCl}$  presente en la muestra, filtrar a vacío (se obtiene una solución transparente), determinar el índice de refracción de cada una de las soluciones e interpolar en la curva patrón para obtener la concentración de  $\text{NaCl}$  en cada muestra. Una vez obtenidos los datos aplicar el tratamiento estadístico seleccionado que permite evaluar el grado e índice de mezclado (ver detalle de una corrida).

#### E) CURVA PATRON

La curva patrón se realizó graficando las lecturas de índice de refracción contra la concentración de  $\text{NaCl}$  (solución de 9 g de  $\text{NaCl}/50$  ml de agua destilado).

Se realizó en un refractómetro de Abbe a 20°C.

En la Tabla 3 se presentan los datos que están graficados en la figura 5.

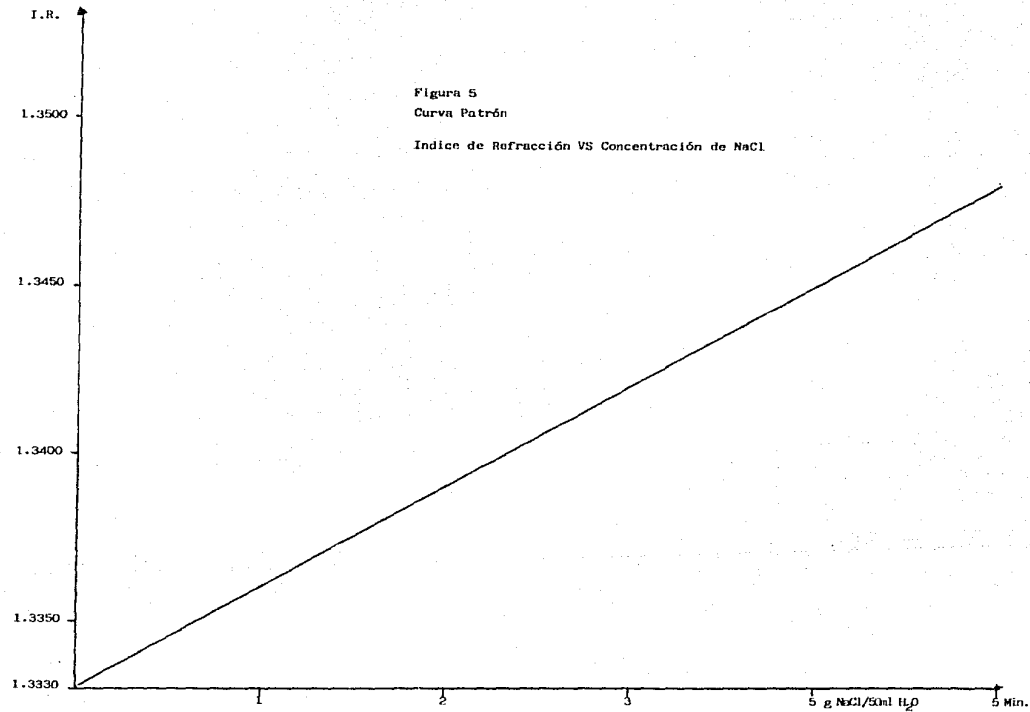
Después de ajustar la gráfica linealmente por el método de mínimos cuadrados se obtuvieron los siguientes datos:

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TABLA 3  
 CURVA PATRON

```

*****
* CONCENTRACION DE NaCl      * INDICE DE REFRACCION      *
* ( g / 50 ml)              *                              *
*****
*      0.0000                *      1.3330              *
*      0.3125                *      1.3340              *
*      0.6250                *      1.3350              *
*      1.2500                *      1.3370              *
*      2.5000                *      1.3400              *
*      5.0000                *      1.3480              *
*****
  
```



Pendiente : 0.003 Unidades de índice de refracción/cond. de  
NaCl

Ordenada al origen : 1.3330 Unidades de índice de refracción

Coefficiente de correlación : 0.88

#### F) DETALLE DE UNA CORRIDA

Los datos presentados son resultado de los corridos efectuados para los diferentes tiempos experimentales.

Primera corrida

Tiempo : 3 minutos

Peso de la muestra (1)	Índice de Refracción	Peso del trazador en la muestra (2)	Fracción del trazador en la muestra
M1	I.R.	M2	M2 = M1/MI
3.4	1.3339	0.3	0.088
5.3	1.3339	0.3	0.056
5.8	1.3339	0.3	0.051
4.8	1.3339	0.3	0.051
4.8	1.3339	0.3	0.053

(1) El peso de la muestra se obtuvo pesando con anterioridad el matraz en que se recibió esta y se pesó otra vez cuando la muestra se tuvo dentro y por diferencia se conoce el peso de la muestra.

(2) El peso del material trazador se obtuvo interpolando el índice de refracción de cada una de las muestras en la curva patrón.



Una vez obtenidos estos datos se procede a dar el tratamiento estadístico propuesto por Kramer (7) para mezclado de salidos suponiendo que se obtiene un mezclado al azar.

Se utilizó el criterio de desviación típica para evaluar la calidad de mezclado a menor desviación típica mayor calidad y grado de mezclado.

$\bar{X}_A$	$\bar{X}_A = \frac{\sum X_A}{n}$
0.068	
0.056	n = Número de muestras
0.051	
0.0625	
<u>0.0625</u>	
0.320	$\bar{X}_A = 0.064$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_A - \bar{X}_A)^2}{n}}$$

$(X_A - \bar{X}_A)$	$(X_A - \bar{X}_A)^2$
0.0240	0.000576
-0.0080	0.000064
-0.0130	0.000169
-0.0015	0.0000225
-0.0015	<u>0.0000225</u>
	0.000815
	S = 0.0127

De la misma forma se procede para los datos obtenidos en

cada corrida.

Para determinar el índice de mezclado deben realizarse las siguientes operaciones :

$$I = \frac{S_o - S}{S_o - S_r}$$

Donde :

$$S_o = n \cdot (1 - m)$$

$$m = \frac{\text{masa de NaCl}}{\text{masa de NaCl}} = \frac{200 \text{ g}}{2000} = 0.1$$

$$S_o = 0.1 \cdot (1 - 0.1) = 0.30$$

$$S_r = \sqrt{\frac{n \cdot (1 - m)}{N}}$$

$$N = 3200 \text{ partículas / gramo de NaCl}$$

$$S_r = \sqrt{\frac{0.1 \cdot (1 - 0.1)}{3200}} = 0.0052$$

$$S = 0.0127$$

$$I = \frac{0.30 - 0.0127}{0.30 - 0.0052} = 0.9745$$

Se realizan las mismas operaciones para los datos restantes de las diferentes corridas y de acuerdo con los resultados obtenidos y graficando se obtienen las correlaciones :

tiempo de mezclado vs desviación típica y

tiempo de mezclado vs índice de mezclado.

Basándose en la desviación típica, el mejor tiempo de mezclado es aquel que registra la menor desviación y el mejor índice

de mezclado en el cual fue 25 grados a la unidad.

#### G) RESULTADOS Y GRÁFICOS

Mezclador de Boston

2000 g de CaCO<sub>3</sub>

200 g de NaCl

Se hicieron corridas a 3, 4, 6, 8, 9 y 12 minutos. En todas las corridas efectuadas primero se colocó dentro del mezclador el CaCO<sub>3</sub> y posteriormente en la parte central sobre el dispositivo de mezclado el NaCl. Esto se hizo con el objeto de tener la mínima variación.

Los resultados de las corridas se presentan en el Apéndice H.

Para hacer los gráficos se tomaron datos promedio tanto de las destilaciones físicas como de los índices de mezclado. Estos se presentan en los Figuras 6 y 7.

Para determinar el número de partículas por unidad de masa se pesaron en balanza analítica 0.1 g exactos de NaCl y posteriormente fueron extendidos sobre papel milimétrico, abandonando un área conocida (1 cm<sup>2</sup>). Posteriormente se contó el número de partículas contenidas, en esta, observando con una lupa se pesaron 50 muestras y se hizo un promedio del número de partículas contenidas en 0.1 g extrapolándolo a un gramo.

#### H) ANALISIS DE RESULTADOS

Observando la Figura 7 que corresponde a la relación existente entre el tiempo de mezclado y la destilación física puede verse claramente un incremento en la pendiente después

de los 5 minutos de mezclado lo que indica que transcurrido ese tiempo el grado de mezclado decrece, es decir basándose en el criterio de la desviación típica a mayor desviación menor grado de mezclado, el incremento de la pendiente indica una mayor desviación típica y por lo tanto un menor grado de mezclado. Por otra parte al observar la figura 5 correspondiente a la relación índice de mezclado y el tiempo el comportamiento es en sentido inverso es decir siguiendo el criterio de que el grado máximo de mezclado está expresado por un índice de mezclado con el número 1 el decrecimiento de la pendiente indica un índice de mezclado inferior o cada vez más alejado de la unidad. Observando ambos gráficos se observa claramente que el máximo grado e índice de mezclado se obtiene a los 5 minutos. En este caso se puede decir que de las pruebas utilizadas durante la experimentación 5 minutos fue con el que se obtuvieron los mejores resultados pero no se descarta la posibilidad de que a los 5 minutos se pudieran haber obtenido mejores resultados debido al corto planteamiento observado en las gráficas.

Figura 6  
Indice de Mezclado VS Tiempo

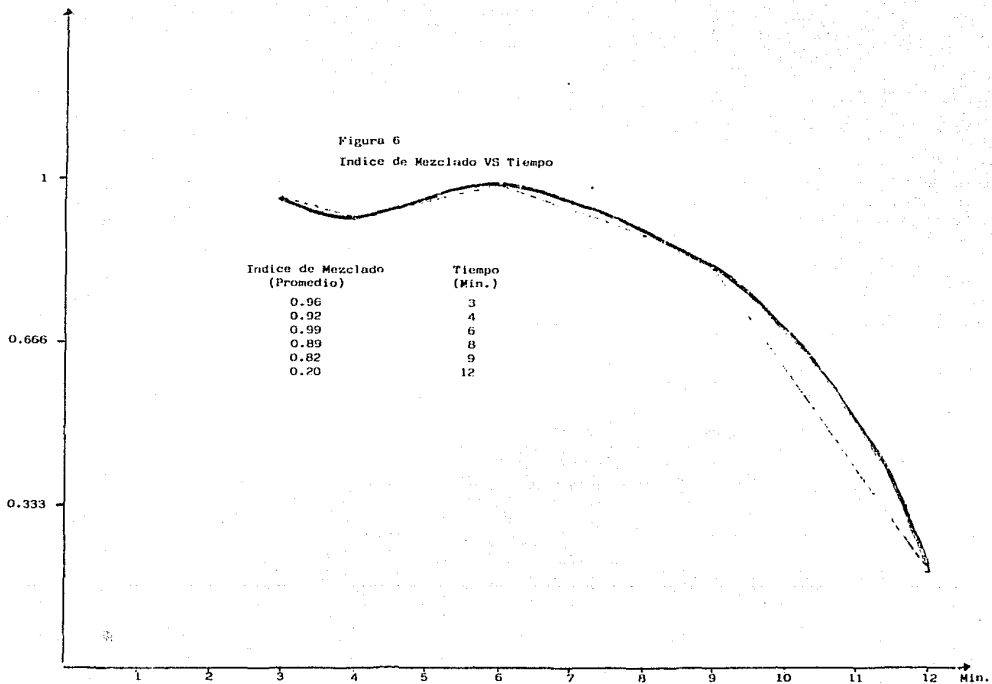
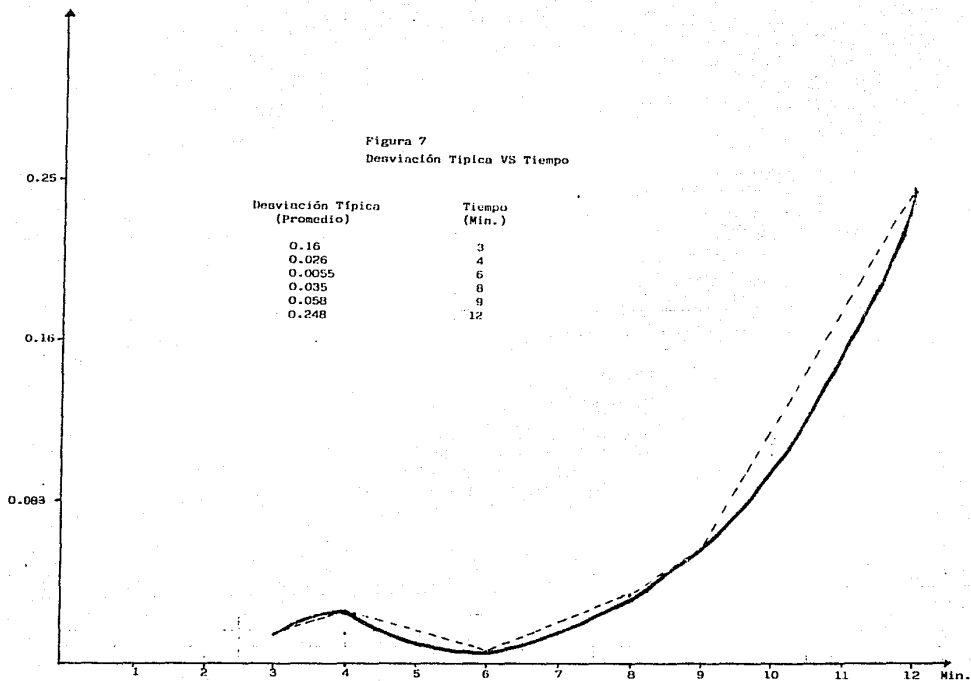


Figura 7  
Desviación Típica VS Tiempo

Desviación Típica (Promedio)	Tiempo (Min.)
0.16	3
0.026	4
0.0055	6
0.035	8
0.058	9
0.248	12



## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo, fue diseñar una práctica sobre mezclado de sólidos para el laboratorio de operaciones unitarias farmacéuticas.

De acuerdo con los premissas establecidas, esta debería ser didáctica, económica y que pudiera efectuarse con materiales y equipos disponibles en el laboratorio de ingeniería química. Además, involucraría el uso de un mezclador tipo listón que se encontrara fuera de uso.

La práctica planeada y desarrollada cumple con los requisitos propuestos. Esto es, es didáctica, porque de manera muy fácil puede llevarse a cabo el mezclado y puede determinarse rápidamente el grado e índice de mezcladores económica porque se utilizaron recursos disponibles en el laboratorio, que además son de bajo costo y finalmente, se puso en operación un equipo de mezclado de sólidos que se encontraba fuera de uso y que por sus características es ampliamente utilizado en las industrias alimentaria y farmacéutica, lo cual lo hace ideal me

de acuerdo al objetivo de la práctica. Y lo más importante, después de realizar varios corridos de forma experimental, se obtuvieron resultados reproducibles que prueban la efectividad de la práctica.

Los mezclados efectuados a distintos tiempos permitieron obtener resultados comparables que llevaron a un análisis. Por medio del cual se observó y concluyó que el tiempo optimo de mezclado, siguiendo el criterio de la desviación típica para 2 kg de  $\text{CaCO}_3$  y 200 g de  $\text{NaCl}$  en un mezclador tipo piston es de 5 minutos, lo que fue con ese tiempo de mezclado con el que se obtuvo la mínima desviación al realizar el análisis de las muestras tomadas.

Por otro parte si se considera el criterio de índice de mezclado, resulta que también 5 minutos es el tiempo en que se obtiene el mejor resultado, es decir la distribución del material trazador con respecto al material más abundante, se acerca mucho a las condiciones ideales de un mezclado al azar o mezclado estadístico. La obtención de un valor de casi una unidad significa acercarse a un mezclado perfecto.

Puede considerarse que este trabajo es una primera etapa en el estudio del mezclado ya que esta operación tiene muchas posibilidades y haciendo alguna modificación al mezclador, podría cambiarse la velocidad de operación de este y realizar estudios posteriores que involucren la velocidad como variable en lugar del tiempo de manera que permitan ampliar los conocimientos sobre mezclado de sólidos.



BIBLIOGRAFIA

- 1.- Hbouzeid, P.Z. and Fuatenuu, D.W.  
Effect of Humidity on Mixing of Particulate Solids  
Ind.Eng.Chem.Process Des.Develop.,11(2):(296-300) 1972
- 2.- Beaudry, J.P.  
Blender Efficiency  
Chem.Eng., (112-113) July 1944
- 3.- Brennan, J.C.; Butters, R.D. y Cowell, R.E.U.  
Las operaciones de la ingenieria de los alimentos.  
Capitulo 5 (85-102)  
Ed. Acribia Zaragoza, España 1980
- 4.- Lambell, H. and Bauer, W.C.  
Cause and Cure of Demixing in Solid-Solid Mixers  
Chem.Eng., (179-185) September 12, 1966
- 5.- Considine, R.D.  
Chemical and Process Technology Encyclopedia  
Mc Graw-Hill Book Company Inc. (738-750)  
U.S.A. 1974
- 6.- Donald, R.B. and Roseman, R.  
Mechanisms in a Horizontal Drum Mixer  
Brit.Chem.Eng., 7(10):(749-752), October 1962
- 7.- Fan, L.T.; Chen, S.-J. and Watson, C.A.  
Solids Mixing  
Ind. and Chem.Eng., 62:(53-59), July 1970

- 8.- Fisher, J.W.  
Solid-Solid Blending  
Chem.Eng. (107-128) August 8, 1960
- 9.- Gaele, J.B.; Lacey, P.L. and Garri, J.H.  
Mixing Solids  
Ind. and Chem.Eng., 50(9):(1279-1282), September, 1978
- 10.- Gray, J.B.  
Performance of Dry Solids Mixing Equipment  
Chem.Eng. Progress, 53(1):(253-320), January, 1957
- 11.- Hastings, H.H.; Cocozzo, G.A.; Hart, E.G. and Steinberg, M.  
Evaluation of a High Efficiency Solids-Solids Blender  
Journal of Pharm. Sciences, 54(5):(775-778), May 1965
- 12.- Hussein, P.C.  
The Mixing Phenomenon  
Cereal Foods World, 30(7):(453-456), July 1985
- 13.- Knezevic, E.  
Introducción a la estadística matemática  
Principios y métodos  
Capítulo 17 (319-358)  
Ed. Limusa México 1982
- 14.- Lacey, P.H.C.  
Developments in the Theory of Particle Mixing  
J. Appl. Chem. 4, May (257-267) 1954

- 15.- Loris-Podriguez J.B.L.G. (I.M.)  
Estudio Monográfico: Historia de la Industria Quimica  
Edad Antigua 115h México 1985 U.N.H.R.
- 16.- Mc.Cabe, R. and Smith, J.  
Unit Operations of Chemical Engineering  
Cap. 6 Mixing (260-312)  
Mc Graw-Hill Book Company Inc.  
U.S.A. 1956
- 17.- Oldshue, J. V.  
Mixing  
Ind. and Eng. Chem., 61(11): (121-127), November 1969
- 18.- Oldshue, J. V.  
Mixing  
Ind. and Eng. Chem., 62(11): (44-51), November 1970
- 19.- Orozco, O.F.  
Análisis Químico Cuantitativo  
Ed. Porrúa S.A. Mexico 1958
- 20.- Pharmacopée Française  
Codex Medicamentarius Gallicus  
Edition III Part 1 (A-F), Part 2 (G-Z) 1965
- 21.- Perry, R.H. and Chilton, C.H.  
Manual del Ingeniero Químico  
Vol. 3 Cap. 21  
2da. Ed. en español de la 5a. en inglés  
Ed. Mac Graw-Hill México 1984

- 22.- Quillen, S.C.  
Liquids/Pastes/Plastics/Solids/Continuous Mixing  
Chem.Eng. June (179-224) 1954
- 23.- Rathwell, L.  
Granular Solids Mixing  
Chem.Eng. Progr. 56(4): (116-120) April 1960
- 24.- Rushton, J.H.  
How to Make Use of Recent Mixing Developments  
Chem.Eng. Progr., 50(12): (587-599) December 1954
- 25.- Strobel, H.R.  
Instrumentación Química  
Cap. 9 Refractometría (253-286)  
Ed. Limusa Mexico 1982
- 26.- Watty, H.  
Química Analítica  
Cap. 30 (541-548)  
Ed. Alhambra Mexico 1982
- 27.- Meindenbeun, S.S. and Bonillo, C.F.  
A Fundamental Study of the Mixing of Particulate Solids  
Chem.Eng. Progr. 51(1): (273-360) January 1955
- 28.- Weismantel, G.C. and Sresty, G.C.  
Mixing and Size Reduction  
Chem.Eng. June, 24 (71-93) 1965
- 29.- Millard, Robert y Hurd.  
Métodos Instrumentales de Análisis  
Cap. 14 (453-460) C.E.C.S.A. México 1978

30. - Work, I. L.

Dye Mixing of Solids

Chem. Eng. Progr., 50(9): (475-480) September, 1954

APENDICE A

En este apéndice se presentan los datos de todas las corridas efectuadas.

Tiempo : 3 minutos

MT	I.R.	MR	SR
3.4	1.3339	0.3	0.088
5.3	1.3339	0.3	0.056
5.8	1.3339	0.3	0.051
4.8	1.3339	0.3	0.0625
4.8	1.3339	0.3	0.0625
$\overline{MR}$ = 0.064		S = 0.0127	I = 0.9795
5.9	1.3350	0.66	0.118
6.4	1.3355	0.63	0.1269
7.1	1.3350	0.66	0.0929
7.1	1.3355	0.63	0.1169
5.7	1.3355	0.63	0.1455
$\overline{MR}$ = 0.11936		S = 0.01764	I = 0.9578
5.4	1.3340	0.32	0.0592
4.3	1.3335	0.16	0.0372
7.2	1.3340	0.32	0.0444
7.4	1.3345	0.50	0.0575
5.6	1.3345	0.50	0.0892
$\overline{MR}$ = 0.0595		S = 0.0182	I = 0.9554

HT	I.R.
5.4	1.3345
5.1	1.3345
5.7	1.3340
5.1	1.3339
4.5	1.3340

$$\overline{KR} = 0.07608$$

3.5	1.3342
3.2	1.3339
5.6	1.3340
4.8	1.3340
4.0	1.3340

$$\overline{KR} = 0.0836$$

5.4	1.3340
5.4	1.3345
5.6	1.3340
5.6	1.3345
4.8	1.3340

$$\overline{KR} = 0.0737$$

MH	KH
0.50	0.0925
0.50	0.0990
0.33	0.0578
0.30	0.0588
0.33	0.0733

$$S = 0.0166 \quad I = 0.9613$$

0.40	0.1192
0.30	0.0937
0.23	0.0589
0.33	0.0687
0.33	0.0825

$$S = 0.0193 \quad I = 0.9521$$

0.33	0.0597
0.50	0.0925
0.33	0.0589
0.50	0.0990
0.33	0.0687

$$S = 0.0144 \quad I = 0.9687$$

Tiempo : 4 minutos

NT	1.R.	MR	SR
5.7	1.3363	1.06	0.1970
5.65	1.3363	1.06	0.1886
7.75	1.3363	1.10	0.1414
6.25	1.3363	1.10	0.1732
8.60	1.3363	1.10	0.1290
$\overline{NR} = 0.16384$		$S = 0.0243$	$I = 0.9352$
5.2	1.3345	0.50	0.0960
4.8	1.3350	0.66	0.1345
5.0	1.3340	0.33	0.0866
6.5	1.3345	0.50	0.0769
4.4	1.3345	0.50	0.1136
$\overline{NR} = 0.098$		$S = 0.0254$	$I = 0.9814$
5.9	1.3350	0.66	0.1118
4.8	1.3340	0.33	0.0866
6.4	1.3355	0.83	0.1296
5.5	1.3340	0.33	0.0581
7.1	1.3350	0.66	0.0929
$\overline{NR} = 0.0918$		$S = 0.0268$	$I = 0.9287$
4.6	1.3345	0.50	0.1086
4.3	1.3340	0.33	0.0744
4.6	1.3335	0.16	0.0347
3.8	1.3340	0.33	0.0842
4.4	1.3340	0.33	0.0737
$\overline{NR} = 0.0749$		$S = 0.0238$	$I = 0.9369$



5.3	1.3340	0.33	0.0622
4.2	1.3340	0.33	0.0622
5.0	1.3340	0.33	0.0650
4.6	1.3345	0.50	0.1086
3.6	1.3345	0.50	0.1086
$\bar{X}_A = 0.0908$		$S = 0.0290$	$I = 0.9182$
6.6	1.3361	1.03	0.1560
6.2	1.3356	0.66	0.1387
6.3	1.3348	0.60	0.0952
5.9	1.3344	0.46	0.1397
6.9	1.3356	0.93	0.0779
$\bar{X}_B = 0.1205$		$S = 0.0291$	$S = 0.9189$

Tiempo : 5 minutos

6.5	1.3350	0.66	0.1015
4.6	1.3345	0.50	0.1086
6.7	1.3355	0.83	0.0950
4.2	1.3345	0.50	0.1190
4.8	1.3345	0.50	0.1091
$\bar{X}_A = 0.1056$		$S = 0.0079$	$I = 0.9908$
6.5	1.3350	0.66	0.1015
4.6	1.3345	0.50	0.1000
6.7	1.3355	0.83	0.0950
4.2	1.3345	0.50	0.1095
4.8	1.3345	0.50	0.0958
$\bar{X}_B = 0.10036$		$S = 0.0051$	$I = 1.0003$

HT	I.P.	HR	GR
4.7	1.3340	0.33	0.0660
5.5	1.3340	0.33	0.0660
5.3	1.3340	0.33	0.0660
4.8	1.3340	0.33	0.0660
4.9	1.3340	0.33	0.0660
$\overline{HR} = 0.0636$		$S = 0.0040$	$I = 1.0000$
5.2	1.3339	0.30	0.0576
5.1	1.3340	0.33	0.0627
5.9	1.3340	0.33	0.0642
4.7	1.3339	0.30	0.0647
4.8	1.3339	0.30	0.0625
$\overline{HR} = 0.06136$		$S = 0.0052$	$I = 1.0000$
4.6	1.3345	0.50	0.1086
4.6	1.3345	0.50	0.1086
4.5	1.3345	0.50	0.1086
4.2	1.3345	0.50	0.1150
6.5	1.3356	0.66	0.1015
$\overline{HR} = 0.10926$		$S = 0.0055$	$I = 0.9989$
4.6	1.3345	0.33	0.0690
4.2	1.3339	0.30	0.0576
4.4	1.3340	0.33	0.0660
4.5	1.3340	0.33	0.0660
5.9	1.3340	0.33	0.0642
$\overline{HR} = 0.06236$		$S = 0.0055$	$I = 0.9989$

Time = 9 minutes

4.5	1.3343	0.43	0.1023
3.7	1.3343	0.43	0.1162
2.7	1.3345	0.50	0.1351
3.9	1.3345	0.50	0.1315
4.1	1.3335	0.16	0.0390
$\overline{KH} = 0.10982$		$S = 0.0349$	$I = 0.2392$
5.4	1.3356	0.86	0.1592
4.4	1.3344	0.40	0.1045
3.9	1.3345	0.53	0.1358
4.8	1.3355	0.43	0.1729
4.1	1.3357	0.90	0.2195
$\overline{KH} = 0.15338$		$S = 0.03836$	$I = 0.6875$
5.9	1.3350	0.66	0.1718
4.9	1.3340	0.66	0.1346
5.5	1.3355	0.23	0.1509
5.7	1.3350	0.66	0.1157
5.5	1.3340	0.33	0.0660
$\overline{KH} = 0.1146$		$S = 0.03208$	$I = 0.4038$
4.9	1.3335	0.16	0.0326
4.1	1.3340	0.33	0.0809
4.2	1.3340	0.33	0.0785
3.4	1.3345	0.50	0.1475
5.0	1.3345	0.50	0.1000
$\overline{KH} = 0.0377$		$S = 0.0363$	$I = 0.5324$

4.9	1.3340	0.43	0.0977
4.1	1.3343	0.45	0.1048
4.2	1.3345	0.50	0.1180
3.4	1.3345	0.50	0.1470
5.0	1.3335	0.16	0.0320
$\overline{KH} = 0.0891$		$S = 0.0320$	$I = 0.2090$

4.75	1.3355	0.33	0.1747
6.54	1.3350	0.66	0.1909
6.1	1.3356	0.66	0.1409
6.9	1.3345	0.50	0.0734
6.1	1.3345	0.50	0.0819
$\overline{KH} = 0.11416$		$S = 0.03831$	$I = 0.8876$

Tiempo : 3 minutos

4.2	1.3340	0.33	0.0790
3.6	1.3340	0.33	0.0425
4.2	1.3340	0.33	0.0792
3.7	1.3363	1.10	0.2972
4.1	1.3340	0.50	0.1463
$\overline{KH} = 0.13884$		$S = 0.0329$	$I = 0.7354$

5.7	1.3322	1.73	0.3035
5.65	1.3362	1.06	0.1875
7.65	1.3363	1.10	0.1919
6.25	1.33625	1.08	0.1729
6.8	1.3363	1.10	0.1617
$\overline{KH} = 0.1935$		$S = 0.0569$	$I = 0.8246$

2.4	1.3345	0.50	0.1923
3.9	1.3340	0.33	0.0246
3.8	1.3345	0.50	0.1315
2.2	1.3350	0.66	0.3000
3.0	1.3340	0.33	0.0868
$\overline{WR} = 0.15904$		$S = 0.0206$	$I = 0.7442$
5.0	1.3350	0.66	0.1320
6.5	1.3369	1.33	0.2000
5.9	1.3355	1.16	0.1956
6.3	1.3363	1.26	0.2000
6.3	1.3350	0.66	0.1047
$\overline{WR} = 0.1370$		$S = 0.0477$	$I = 0.8558$
3.0	1.3345	0.50	0.1556
4.5	1.3345	0.50	0.1111
3.7	1.3345	0.50	0.1351
3.2	1.3350	0.66	0.2062
5.0	1.3340	0.33	0.0660
$\overline{WR} = 0.1370$		$S = 0.04777$	$I = 0.8558$
b 5.0	1.3350	0.66	0.1320
6.5	1.3369	1.33	0.2000
5.9	1.3365	1.16	0.1956
6.3	1.3363	1.26	0.2000
6.3	1.3350	0.66	0.1047
$\overline{WR} = 0.1166$		$S = 0.0402$	$I = 0.8507$

Tiempo : 12 minutos

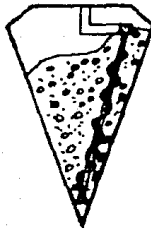
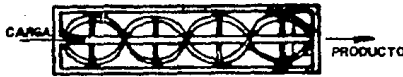
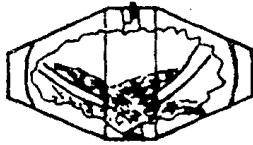
3.8	1.3345	0.50	0.1315
3.1	1.3345	0.50	0.1612
0.5	1.3340	0.33	0.6600
6.4	1.3350	0.66	0.1031
6.3	1.3350	0.66	0.1047
$\overline{XH} = 0.3321$		$S = 0.2149$	$I = 0.2886$
5.6	1.3361	1.03	0.1560
6.2	1.3355	0.86	0.1387
6.3	1.3348	0.60	0.9523
5.9	1.3356	0.86	0.1454
5.9	1.3352	0.73	0.1057
$\overline{XH} = 0.29960$		$S = 0.3267$	$I = -0.0905$
2.6	1.3345	0.50	0.1923
3.3	1.3340	0.33	0.0846
3.8	1.3345	0.50	0.1315
2.2	1.3350	0.66	0.3000
3.6	1.3240	0.33	0.9589
$\overline{XH} = 0.3153$		$S = 0.2857$	$I = 0.0485$
5.4	1.3365	1.16	0.2148
4.9	1.3351	0.70	0.1478
5.6	1.3390	2.00	0.3571
4.5	1.3330	1.66	0.3608
5.0	1.3646	0.53	0.1060
$\overline{XH} = 0.2379$		$S = 0.1079$	$I = 0.6516$

5.90	1.33075	2.25	0.2900
5.05	1.3355	0.83	0.1600
5.20	1.3340	0.33	0.0620
0.20	1.3335	0.16	0.3000
7.00	1.3324	3.13	0.4400
$\overline{XH} = 0.3686$		$S = 0.2562$	$I = 0.1485$
3.80	1.3345	0.50	0.1315
5.90	1.3356	0.86	0.1454
3.80	1.3340	0.33	0.2684
4.90	1.3351	0.70	0.1428
5.20	1.3340	0.33	0.0630
$\overline{XH} = 0.27022$		$S = 0.3000$	$I = 0.0000$



# FACULTAD DE QUIMICA

OPERACIONES UNITARIAS ALIMENTARIAS



US  
AM



## APENDICE B

### PRACTICA PROPUESTA

#### LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS ALIMENTARIAS

#### PRACTICA DE MEZCLADO

#### MEZCLADO DE SOLIDOS

Objetivo : Introducir a los alumnos de O.B.F. al estudio del mezclado de solidos. El alumno recibirá un mezclado y con los datos obtenidos sacará conclusiones y deducirá resultados aplicando un método estadístico.

#### INTRODUCCION

En la industria química y en particular en la de alimentos, el mezclado es una operación tan usual como lo son la transferencia de masa la transferencia de calor y el flujo de fluidos en otras áreas pero no ha tenido el desarrollo técnico-práctico que se esperaba. Por ello puede decirse que la industria de la transformación ha hecho del mezclado una operación ampliamente reconocida y muy utilizada pero poco desarrollada.

En ocasiones se le ha considerado un arte más que una operación unitaria y en muchos casos, se le menciona como una operación tan simple, que no se requiere experiencia para efectuarla.

Hasta este punto se ha mencionado la palabra mezclado pero ¿qué significa el mezclado? De acuerdo con Brennan (1) "El mezclado se puede definir como una operación durante la cual se efectuará una combinación uniforme de dos o más ingredientes; Parry (5) dice: "El mezclado es una operación en la cual dos o más ingredientes separados o rudimentariamente mezclados se procesan para que cada partícula de un componente esté lo más cerca posible de una partícula de los demás ingredientes" y Ho, Cobe y Smith (4) dicen que: "El mezclado es la combinación uniforme de dos o más materiales".

Realizando las definiciones anteriores se puede observar que coinciden en obtener una distribución uniforme a partir de dos o más componentes.

Existen diferentes tipos de equipos para mezclado. Estos pueden ser agrupados en tres grandes clases: Mezcladores de impulsor para líquidos, mezcladores para pastas y sólidos plásticos y mezcladores para polvos secos.

#### MATERIAL Y EQUIPO

##### a.- Material

- 1 Termómetro
- 1 Balanza Granataria

- 1 Cubeta
- 1 Cuchara de sibalil
- 1 Pirata con agua destilada
- 1 Cronometro
- 15 Matraces Erlenmeyer de 250 ml
- 1 Pirata volumetrica de 50 ml
- 1 Vaso de precipitado de 250 ml
- 1 Botra Kitasato de 250 ml
- 1 Manuera de vacio
- 1 Bafudo Buchanan
- 1 muestreador
- 1 Soble de vacio
- Papel Filtro Whatman # 1 Cualitativo

b.- Equipo

- 1 Mezclador tipo liston
- 1 Potenciometro de Pbbe

MEZCLADOR DE LISTON

Un mezclador de listón consiste en una línea horizontal conteniendo una flecha central y un agitador helicoidal. Dos listones contraguertos están montados en la misma flecha, uno moviendo el sólido lentamente en una dirección el otro moviéndolo rápidamente en la otra. Los listones pueden ser continuos o intermurmados. El mezclado resulta de la turbulencia inducida por la contraposición de los agitadores y no del movimiento de sólidos continuo en la línea.

El mezclador que existe en el laboratorio es de listones continuos con una capacidad útil de 5 Kg y una sola velocidad de operación ( 72 rpm ), cuenta con un dispositivo de vaciado en la parte inferior y la tina tiene una cubierta para evitar la salida de polvo durante la operación.

#### DESARROLLO EXPERIMENTAL Y CURVA PATRÓN

##### a.- Metodología

Pesar 2 Kg de  $\text{CaCO}_3$  y 200 g de  $\text{NaCl}$ , colocarlos en el mezclador/mazador durante el tiempo elegido operándose con un cronómetro. Una vez transcurrido el tiempo detener el mezclador y tomar cinco muestras una en el centro y una en cada esquina lo que proporciona un total de cinco muestras. Colocar cada muestra en un matraz Erlenmeyer previamente pesado adicionar con pipeta volumétrica 50 ml de agua destilada y agitar durante tres minutos con el objeto de disolver el  $\text{NaCl}$  presente en la muestra, filtrar a vacío, (se obtiene una solución transparente), determinar el índice de retracción de cada uno de las soluciones e introducir en la curva patrón para obtener la concentración de  $\text{NaCl}$  en cada muestra. Una vez obtenidos los datos aplicar al tratamiento estadístico que permite evaluar el grado e índice de mezcla.

##### b.- Curva patrón

La curva patrón se construye con las lecturas de índice de retracción contra la concentración de  $\text{NaCl}$  (solución de g de  $\text{NaCl}$ / 50 ml de agua destilado). Ésta se realiza en un re-

rectómetro de Hbbe (Bausch & Lomb) d 20°C.

Los datos de la curva patrón se presentan en la Figura 1:

#### TRABAJO POSTERIOR A LA PRÁCTICA

De acuerdo con Kraemer (2) para una distribución al azar la utilización de la desviación típica como criterio de evaluación del grado de mezclado proporciona cifras adecuadas para poder determinar el grado e índice de mezclado de una corrida con precisión.

Para determinar el grado de mezclado:

- 1.- Determinar la fracción del material trazador contenido en cada muestra.

$$XR = \frac{MR}{MT}$$

MR = Masa del trazador

MT = Masa total de muestra

La masa del material trazador se obtiene interpolando el índice de refracción de cada muestra en la curva patrón.

- 2.- Determinar la media y la desviación típica de cada corrida.

$$\overline{XR} = \frac{\sum XR}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (XR - \overline{XR})^2}{n}}$$

n = Número de muestras

De la misma forma se procede para todos los datos obtenidos en cada corrida.

- 3.- Determinar el grado de mezclado siguiendo el criterio de que a menor desviación típica menor grado de mezclado.
- 4.- Determinar el índice de mezclado para cada corrida.

$$I = \frac{S_0 - S}{S_0 - S_r}$$

$I$  = Índice de mezclado

$S_0$  = Desviación típica al tiempo cero.

$$S_0 = a \sqrt{1 - m}$$

$$m = \frac{\text{masa de NaCl}}{\text{masa de CaCO}_3}$$

$S$  = Desviación típica para cada corrida.

$S_0$  = Desviación típica en condiciones ideales.

$$S_0 = \sqrt{\frac{m(1-m)}{N}}$$

$N$  = Número de partículas de material transportador por unidad de masa.

$$N = 3280 \text{ partículas/g de NaCl}$$

- 5.- Elaborar la gráfica de desviación típica vs. tiempo.
- 6.- Elaborar una gráfica de índice de mezclado vs. tiempo.
- 7.- Conclusiones.

FIGURA 1  
CURVA PATRON

```
*****
* CONCENTRACION DE NaCl          * INDICE DE REFRACCION          *
* ( g / 50 ml )                  *                                *
*****
```

* 0.0000	* 1.3330
* 0.2125	* 1.3340
* 0.4250	* 1.3350
* 1.2500	* 1.3370
* 2.5000	* 1.3400
* 5.0000	* 1.3480

```
*****
```

HOJA DE DATOS

CORRIDA	MUESTRA												
A	PESO DEL MATRAZ VACIO												
B	PESO DEL MATRAZ CON LA MUESTRA												
$C = B - A$	PESO DE LA MUESTRA												
I.R.	INDICE DE REFRACCION												
D	INTERPOLACION EN LA CURVA PATRON												
$E = D/C$	FRACCION PESO DEL MATERIAL TRAZADOR												
$F = \sum E$	SUMA DE LAS FRACC. PESO DEL TRAZADOR												
G	DESVIACION TIPICA DEL TRAZADOR EN C/CORRIDA												
I	INDICE DE MEZCLADO												

TEMPERATURA : \_\_\_\_\_

EQUIPO : \_\_\_\_\_

MEZCLA : \_\_\_\_\_

MASA MEZCLADA : \_\_\_\_\_

MATERIAL TRAZADOR : \_\_\_\_\_

VELOCIDAD DE OPERACION : \_\_\_\_\_

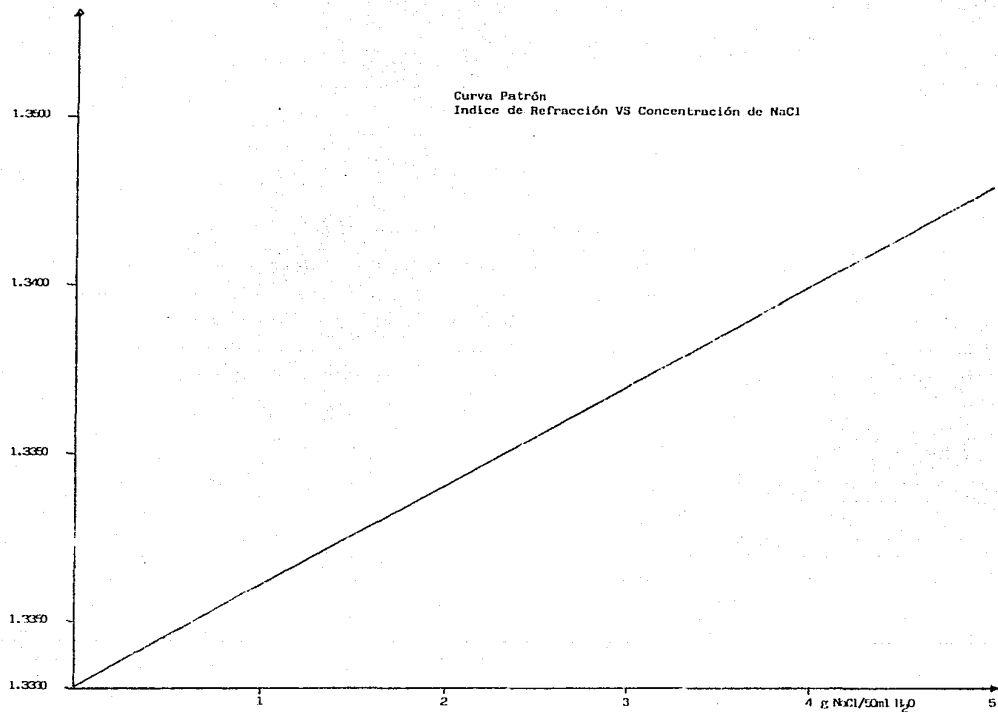
FECHA : \_\_\_\_\_

HORARIO : \_\_\_\_\_

GRUPO : \_\_\_\_\_



Curva Patrón  
Índice de Refracción VS Concentración de NaCl



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Brennan, J.C.; Batters, R.D. y Cowell, R.E.O.  
 Las operaciones de la ingeniería de los alimentos.  
 Capítulo 5 (85-102)  
 Ed. Scribner Zaragoza, España 1980
- 2.- Fen, L.T.; Chen, S.J. and Watson, C.A.  
 Solids Mixing  
 Ind. and Chem. Eng., 62 : (53-59), July 1970
- 3.- Lincoln, T.M.  
 Dry Mixing of Solids  
 Chem. Eng. Progr., 50(9): (475-480) September 1954
- 4.- Mc Cabe, P. and Smith, J.  
 Unit Operations of Chemical Engineering  
 Cap. 8 Mixing (220-312)  
 Mc Graw-Hill Book Company Inc.  
 U.S.A. 1956
- 5.- Perry, R.H. and Chilton, C.H.  
 Manual del Ingeniero Químico  
 Vol. 3 Cap. 21  
 3da. Ed. en español de la 5a. en inglés  
 Ed. Mc Graw-Hill México 1984