



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS**  
**ESCUELA: INGENIERÍA QUÍMICA**  
**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO QUÍMICO**

**Modalidad: Trabajo Comunitario**

**TEMA:**

**“REPOTENCIACIÓN DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”**

**AUTORES:**

**Cedeño Bermúdez Daniel Antonio**

**Pico Quijije Carlos Fabián**

**DIRECTORA DE TESIS:**

**Ing. Alexandra Córdova Mosquera**

**Portoviejo – Manabí – Ecuador**

**2015**

## **CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TESIS**

ING. ALEXANDRA CÓRDOVA MOSQUERA, CATEDRÁTICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ:

### **CERTIFICA:**

QUE: Los señores CEDEÑO BERMÚDEZ DANIEL ANTONIO y PICO QUIJIJE CARLOS FABIÁN, Egresados de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, han cumplido con las observaciones realizadas por los Honorables Miembros del tribunal Examinador, por lo que la presente investigación se encuentra concluida bajo los parámetros metodológicos de una tesis de grado, cuyo tema es: **“REPOTENCIACIÓN DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ.”**

La misma que se pone a consideración de la Autoridad Competente, para su validación previo a su defensa y sustentación.

.....  
**Ing. Alexandra Córdova Mosquera**  
**DIRECTORA DE TESIS**

## CERTIFICADO DEL TRIBUNAL DE REVISIÓN

La presente Tesis de Grado titulada: “**REPOTENCIACIÓN DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**”, es trabajo original de los señores: **CEDENÑO BERMÚDEZ DANIEL ANTONIO** y **PICO QUIJIJE CARLOS FABIÁN**; la misma que ha sido revisada, evaluada y aprobada bajo nuestra apreciación.

Para dar testimonio y autenticidad, firmamos:

.....  
Ing. Rodolfo Rivadeneira Zambrano

**PRESIDENTE**

.....  
Ing. Virginia Sánchez Mendoza

**MIEMBRO**

.....  
Ing. Iván Cisneros Pérez

**MIEMBRO**

## **DECLARACIÓN SOBRE LOS DERECHOS DE AUTOR**

Los autores de la presente tesis ceden todos sus derechos de autoría sobre el tema: **“REPOTENCIACIÓN DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”**, a la Universidad Técnica de Manabí.

.....  
Cedeño Bermúdez Daniel Antonio  
**AUTOR DE TESIS**

.....  
Pico Quijije Carlos Fabián  
**AUTOR DE TESIS**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, porque permitió compartir grandes experiencias en el transcurso de la etapa de estudios.

A los docentes, que con mucha sabiduría supieron impartir sus conocimientos, los cuales fueron impartidos sin egoísmo.

A la Ing. Alexandra Córdova Mosquera Directora de la tesis que con sus experiencias, criterios, paciencia y conocimientos atendió los requerimientos del presente trabajo.

A los miembros del tribunal de revisión Ing. Rodolfo Rivadeneira, Ing. Virginia Sánchez e Ing. Iván Cisneros, quienes supieron direccionar de forma correcta el desarrollo de la tesis.

A todos los que de forma directa e indirectamente creyeron y colaboraron en este trabajo, los más sinceros agradecimientos y que Dios siempre los proteja.

## DEDICATORIA

Le dedico a Dios, porque con su bendición se pudo llegar a feliz término este trabajo.

A mis padres Ing. Daniel y Lcda. Diana, porque con su apoyo incondicional pude alcanzar otra de mi metas trazadas.

A mis hermanos Estefanía y Anthony por su cariño y confianza que depositan en mí.

Para todos ellos con infinito amor, cariño y gratitud.

*DANIEL CEDEÑO*

## DEDICATORIA

Al concluir otra etapa de mi vida tanto en lo profesional como en lo personal, dedico primeramente la tesis realizada con infinito amor a Dios, por bendecirme e iluminarme cada día de mi vida.

A mi Madre Mariela, quien con su comprensión, paciencia y cariño ha guiado cada uno de mis pasos para ser una persona de bien y enseñarme a salir adelante a pesar de la adversidad.

A mi Padre Carlos por ser mi referente de vida, apoyarme siempre y confiar en mí durante toda mi carrera universitaria.

A mis hermanos John y Ericka por brindarme su confianza y cariño en todo momento.

A mi tío Jairo que siempre estuvo en los buenos y malos momentos apoyándome incondicionalmente, y por el haber dejado en mí las fuerzas y ganas de seguir adelante.

*FABIÁN PICO*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>X</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>XI</b>
<b>1. TEMA.....</b>	<b>12</b>
<b>1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>13</b>
1.1. <b>MACROLOCALIZACIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.2. <b>MICROLOCALIZACIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>2. FUNDAMENTACIÓN.....</b>	<b>15</b>
2.1. <b>DIAGNÓSTICO DE LA COMUNIDAD.....</b>	<b>15</b>
2.2. <b>IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>16</b>
2.3. <b>PRIORIZACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>16</b>
<b>3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
<b>4. ANTECEDENTES.....</b>	<b>18</b>
<b>5. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>6. OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
6.1. <b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>20</b>
6.2. <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>20</b>
<b>7. MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>21</b>
7.1. <b>SEPARACIONES MECÁNICAS.....</b>	<b>21</b>
7.1.1. <b>REDUCCIÓN MECÁNICA DE TAMAÑOS.....</b>	<b>22</b>
7.2. <b>MOLIENDA.....</b>	<b>23</b>
7.2.1. <b>ELEMENTOS IMPORTANTES EN LA MOLIENDA.....</b>	<b>23</b>

7.2.2.	TIPOS DE MOLIENDA .....	25
7.2.3.	MOLINOS .....	25
7.2.4.	PARTES PRINCIPALES DE UN MOLINO .....	28
7.2.5.	FUNCIONES PRINCIPALES DEL MOLINO DE BOLAS .....	31
7.2.6.	VARIABLES OPERACIONALES DE UN MOLINO DE BOLAS .....	31
7.2.7.	FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE MOLIENDA .....	34
7.2.8.	CAPACIDAD DEL MOLINO .....	35
<b>7.3.</b>	<b>TAMIZADO Y TAMICES.....</b>	<b>37</b>
7.3.1.	TAMIZ .....	37
7.3.2.	CLASIFICACIÓN DEL TAMIZADO.....	38
7.3.3.	EQUIPOS INDUSTRIALES PARA EL TAMIZADO .....	39
7.3.4.	SERIES DE TAMICES TAYLER.....	45
<b>7.4.</b>	<b>MEZCLADO .....</b>	<b>48</b>
7.4.1.	OBJETIVOS GENERALES DE LA MEZCLA .....	49
7.4.2.	CONSIDERACIONES ADICIONALES SOBRE LA MEZCLA .....	52
<b>7.5.</b>	<b>AGITACIÓN .....</b>	<b>54</b>
7.5.1.	TIPOS DE AGITACIÓN: EXTERNA E INTERNA.....	55
7.5.2.	TIPOS DE AGITADORES MECÁNICOS .....	56
7.5.3.	FORMAS DE FLUJO .....	60
7.5.4.	PREVENCIÓN DE FLUJO CIRCULATORIO .....	61
7.5.5.	GEOMETRÍAS .....	64
7.5.6.	DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DE AGITACIÓN.....	66
7.5.7.	TIEMPO DE MEZCLA .....	73
<b>8.</b>	<b>BENEFICIARIOS .....</b>	<b>75</b>
<b>8.1.</b>	<b>DIRECTOS .....</b>	<b>75</b>
<b>8.2.</b>	<b>INDIRECTOS .....</b>	<b>75</b>
<b>9.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>76</b>
<b>9.1.</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>76</b>
<b>9.2.</b>	<b>TÉCNICAS.....</b>	<b>76</b>
<b>9.3.</b>	<b>INSTRUMENTOS. ....</b>	<b>77</b>
<b>10.</b>	<b>RECURSOS A UTILIZARSE .....</b>	<b>78</b>
<b>10.1.</b>	<b>RECURSOS HUMANOS. ....</b>	<b>78</b>

<b>10.2.</b>	<b>RECURSOS OPERATIVOS.</b>	<b>78</b>
<b>10.3.</b>	<b>RECURSOS FINANCIEROS.</b>	<b>78</b>
<b>11.</b>	<b>REPOTENCIACIÓN DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA.</b>	<b>79</b>
<b>11.1.</b>	<b>REPOTENCIACIÓN DE LA UNIDAD DE AGITACIÓN Y MEZCLA.</b>	<b>79</b>
<b>11.2.</b>	<b>REPOTENCIACIÓN DEL MOLINO DE BOLAS.</b>	<b>80</b>
<b>11.3.</b>	<b>DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS.</b>	<b>81</b>
11.3.1.	SOLUCIÓN AZUCARADA.	81
11.3.2.	CORRIDA DE LA PRÁCTICA.	81
11.3.3.	MOLIENDA.	81
11.3.4.	PRIMERA PRÁCTICA.	81
11.3.5.	SEGUNDA PRÁCTICA.	82
11.3.6.	CÁLCULOS DE LAS PRÁCTICAS	82
11.3.7.	ÍNDICE DE COSTOS.	86
<b>12.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.</b>	<b>88</b>
<b>13.</b>	<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>89</b>
<b>14.</b>	<b>RECOMENDACIONES.</b>	<b>90</b>
<b>15.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>91</b>
<b>16.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>93</b>

## **RESUMEN**

Al finalizar el presente trabajo comunitario se está aportando con las exigencias académicas actuales, las mismas que relacionan la teoría con la práctica.

El repotenciar los equipos de separación mecánica de la Escuela de Ingeniería Química, de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí es de vital importancia, ya que tanto sus docentes como estudiantes podrán realizar sus prácticas y afianzar los conocimientos aprendidos en las aulas al momento de maniobrar uno de estos equipos como son la Molienda y la Unidad de Agitación y Mezcla.

Partiendo desde el punto de vista la Provincia de Manabí es rica en la producción de cítricos, en la unidad de agitación antes mencionada se podrán realizar las mezclas adecuadas para obtener la concentración requerida de un tipo de bebida refrescante, se cuenta de igual manera con la molienda en la cual se podrá elaborar algún tipo de balanceado aprovechando la producción de la provincia.

## SUMMARY

At the end of this Community work is contributing to current academic requirements, the same linking theory with practice.

The repowering equipment mechanical separation of the School of Chemical Engineering, School of Mathematical Sciences, Physics and Chemistry at the Technical University of Manabí is vital, as both their teachers and students can make their practices and strengthen the knowledge learned in the classroom when maneuvering around this equipment such as grinding and stirring and mixing unit.

Starting from the point of view Manabí Province is rich in citrus production in the unit above agitation may make suitable for the required type of soft drink concentration mixtures, it is counted equally with the grinding which may develop some sort of balanced production taking advantage of the province.

## **1. TEMA**

“REPOTENCIACIÓN DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”

# 1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El cantón Portoviejo de la provincia de Manabí se encuentra ubicado a 30 kilómetros del Océano Pacífico, su altura promedio es de 46 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar).

## 1.1.MACROLOCALIZACIÓN

El proyecto se realizará en la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí ubicada en la Av. José María Urbina, vía a Crucita, de la parroquia 12 de Marzo en el cantón Portoviejo, provincia de Manabí.

Sus coordenadas geográficas son:

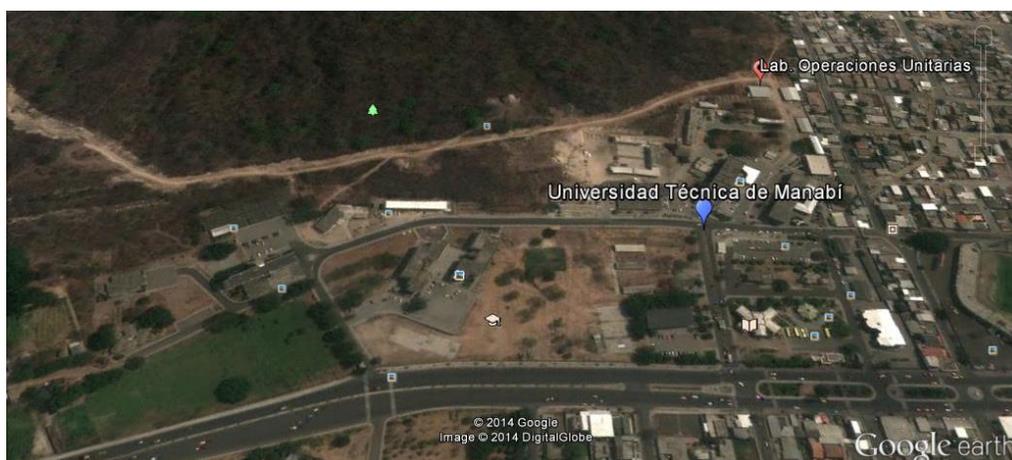
Latitud 1° 2' 46.48" Sur

Longitud: 80° 27' 10.92" Oeste

Elevación: 46 m

Coordenadas U.T.M.

9°869100      571850



**Fuente:** Google Earth

**Elaborado por:** Autores de Tesis

## 1.2.MICROLOCALIZACIÓN

El área donde se llevará a cabo el proyecto es en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí.



**Fuente:** Google Earth

**Elaborado por:** Autores de Tesis

## **2. FUNDAMENTACIÓN**

Dotada de talento humano y de grandes recursos naturales la provincia de Manabí se vio en la imperiosa necesidad de contar con una Universidad, razón para pensar en la creación de un Centro de Educación Superior en nuestra provincia en donde sus habitantes podían obtener un título de Tercer Nivel.

El 25 de junio de 1954 entra en funcionamiento la Universidad Técnica de Manabí liderada por el Ing. Paulo Emilio Macías Sabando, cuyo objetivo es formar profesionales con calidad humana, altamente calificados, con sentido crítico, capaces de adaptarse a circunstancias cambiantes del medio interno y externo.

La Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas es una de las escuelas que más resalta por su misión y visión de formar profesionales capaces de desempeñarse en diferentes áreas de trabajo.

Para contribuir con los fines de la Universidad Técnica de Manabí, nuestra tesis se fundamenta en la repotenciación de los procesos de separación mecánica del laboratorio de Operaciones Unitarias, para ello se realizarán prácticas con los equipos de separación que permitan verificar su funcionamiento.

### **2.1. DIAGNÓSTICO DE LA COMUNIDAD**

Al realizar los estudios en la Universidad Técnica de Manabí, sus estudiantes tienen aspiraciones de adquirir conocimientos necesarios para poder desenvolverse al momento de obtener su título profesional, pero al pasar los niveles se encuentran con la realidad de que el laboratorio de operaciones unitarias no cuenta con las condiciones para realizar las prácticas y aplicar los conocimientos además de adquirir experiencias del campo laboral.

## **2.2.IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Entre los principales problemas que tiene la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, se encuentra la falta de aplicación de los conocimientos teóricos en la práctica, razón por la que se tornan importante repotenciar ciertos equipos, que ayuden a que los estudiantes profundicen sus conocimientos en el ámbito profesional y puedan brindar servicios a la comunidad.

## **2.3. PRIORIZACIÓN DEL PROBLEMA**

Luego de haber analizado los principales problemas que afectan a la Escuela de Ingeniería Química se evidenció que el Laboratorio de Operaciones Unitarias no se encuentra en óptimas condiciones para brindar una enseñanza de calidad a sus estudiantes.

Por tal motivo se repotenciarán los equipos de separación mecánica de dicho laboratorio para que los estudiantes puedan desarrollar sus prácticas de manera correcta y eficaz de acuerdo a las exigencias del ámbito laboral.

### **3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

**CAMPO:** Operaciones Unitarias.

**ÁREA:** Laboratorio.

**ASPECTO:** Repotenciación de los procesos de separación mecánica.

**DELIMITACIÓN ESPACIAL:** El presente proyecto se realizará en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Técnica de Manabí.

**DELIMITACIÓN TEMPORAL:** El presente proyecto se realizará durante el período de Junio 2014 a Diciembre del 2014.

#### **4. ANTECEDENTES**

Las operaciones unitarias son parte fundamental del conocimiento de un Ingeniero Químico.

El laboratorio de Operaciones Unitarias cuenta con los equipos necesarios para que al finalizar el período de enseñanza aprendizaje dentro de la universidad por parte del alumno este alcance las competencias necesarias para desempeñarse en una industria, ya que todos estos equipos se diseñaron con el objetivo de llevar la teoría a la práctica como lo exige la educación basada en competencias.

El funcionamiento de cada uno de los equipos no se limita a una sola disciplina lo que da como resultado una gran versatilidad en su uso y aprendizaje en las diferentes asignaturas del programa de Ingeniería Química.

## **5. JUSTIFICACIÓN**

Una de las partes fundamentales de las operaciones unitarias en Ingeniería Química está relacionada por lo común en separar o modificar la composición de soluciones o mezclas por medio de métodos que no involucren, precisamente, reacciones químicas.

La Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí cuenta con un Laboratorio de Operaciones Unitarias que no tiene sus equipos en funcionamiento para que sus estudiantes puedan realizar sus prácticas con exigencias profesionales.

El presente proyecto pretende repotenciar los equipos de separación mecánica de molienda, mezcla, agitación y tamizado, para una mejor enseñanza de todos los estudiantes de dicha escuela.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1.OBJETIVO GENERAL**

Repotenciar los procesos de separación mecánica del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.

### **6.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar equipos y accesorios para el buen funcionamiento de los procesos de separación mecánica del Laboratorio de Operaciones Unitarias.
- Implementar un sistema de tamices para la selección y clasificación de tamaño de partículas para diferentes productos.
- Realizar ensayos para demostrar la eficiencia de los equipos.
- Elaborar un diagrama y un manual de operación para cada uno de los equipos de los procesos de separación del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

## **7. MARCO DE REFERENCIA**

### **7.1.SEPARACIONES MECÁNICAS**

Con frecuencia es necesario separar los componentes de una mezcla en fracciones individuales. Las fracciones pueden diferir entre sí en el tamaño de partícula, fases o composición química. Así, un producto crudo puede purificarse separando del mismo las impurezas; dos o más productos de una mezcla se pueden separar en los productos individuales puros; la corriente procedente de una etapa del proceso puede consistir en una mezcla del producto y de las materias primas no convertidas, que debe separarse y recircular las materias primas a la zona de reacción para su posterior tratamiento; o bien una sustancia valiosa, tal como un mineral metálico, disperso en una masa de material inerte, ha de liberarse con el fin de recuperarlo y retirar el material inerte. Se han desarrollado numerosos métodos para llevar a cabo estas separaciones, y existen distintas operaciones unitarias con esta finalidad. En la práctica se presentan muchos problemas de separación teniendo el ingeniero que elegir el método que mejor se adapte a la resolución.

Los procedimientos para separar los componentes de una mezcla se clasifican en dos grupos, el que constituyen los denominados operaciones disfuncionales, que implican cambios de fases o transporte de materia de una fase a otra, y el que comprende a aquellos métodos llamados separaciones mecánicas, útiles para separar partículas sólidas o gotas líquidas. Este último método es el objeto del presente proyecto.

Las separaciones mecánicas son aplicables a mezclas heterogéneas y no a disoluciones homogéneas. Los coloides, que son una clase intermedia de mezclas, generalmente no se tratan por los métodos considerados, ya que está dedicado fundamentalmente a partículas superiores a 0,1  $\mu\text{m}$ . Las técnicas están basadas en las diferencias físicas entre las partículas, tales como tamaño, forma o densidad. Son aplicables a la separación de sólidos de gases, de gotas líquidas de gases, sólidos de sólidos y sólidos de líquidos. Los métodos generales son los procesos de separación mecánica de molienda, mezcla, agitación y tamizado para diferentes productos. (McCabe S. H., 1985)

### **7.1.1. REDUCCIÓN MECÁNICA DE TAMAÑOS**

Muchos materiales sólidos se presentan en tamaños demasiados grandes para su uso por lo que deben reducirse. Con frecuencia, la reducción de tamaño de los sólidos se lleva a cabo para poder separar sus diversos ingredientes. En general los términos trituración y molienda se usan para denotar la subdivisión de partículas sólidas grandes en partículas más pequeñas.

En la industria del procesamiento de alimentos, gran número de productos alimenticios se somete a una reducción de tamaños. Se usan molinos de rodillos para moler trigo y cebada y obtener harinas. Las semillas de soya se trituran, se comprimen y se muelen para producir aceites y harina.

Las operaciones de molienda son muy comunes en la industria de minerales y del cemento. Entre los ejemplos están los minerales de cobre, níquel, hierro y cobalto, que se muelen antes de procesarlos por vía química. La piedra caliza, el mármol, el yeso y la dolomita, se muelen para usarse como cargas en el papel, las pinturas y el caucho. Las materias primas del cemento, tales como cal, alúmina y sílice, se muelen antes de procesarlas. (J.Geankoplis, 1982)

## **7.2.MOLIENDA**

La molienda es una operación de reducción de tamaño de rocas y minerales de manera similar a la trituración. Los productos obtenidos por molienda son más pequeños y de forma más regular que los surgidos de trituración. Generalmente se habla de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1" (1" = 2.54 cm) siendo el grado de desintegración mayor al de trituración. (EcuRed, 2012)

Se utiliza fundamentalmente en la fabricación de cemento Portland, en la preparación de combustibles sólidos pulverizados, molienda de escorias, fabricación de harinas, alimentos balanceados, etc. Además se utiliza en la concentración de minerales ferrosos y no ferrosos, donde se muele la mena previamente extraída de canteras y luego se realiza un proceso de flotación por espumas para hacer flotar los minerales y hundir la ganga y así lograr la separación.

### **7.2.1. ELEMENTOS IMPORTANTES EN LA MOLIENDA**

Existe una serie de elementos importantes que influyen en la molienda de los materiales.

Estos son:

#### **7.2.1.1.VELOCIDAD DE INSTANTE**

Cuando esto ocurre, los elementos molidores quedan “pegados” a las paredes internas del molino y no ejercen la fuerza de rozamiento necesaria sobre el material para producir la molienda. El molino, entonces, deberá trabajar a velocidades inferiores a la crítica.

### **7.2.1.2.RELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS VARIABLES DE LOS MOLINOS**

El diámetro del molino, su velocidad, y el diámetro de los elementos moledores son los elementos variables del proceso. Teniendo en cuenta que en la molienda se emplean elementos moledores de distintos tamaños, las relaciones entre los elementos variables son:

- A mayor diámetro de bolas, mayor es la rotura de partículas grandes (percusión).
- A menor diámetro de bolas, mayor es la molienda de partículas pequeñas por una mayor superficie de los elementos moledores (fricción).
- A mayor diámetro de bolas, mejora la molienda de material duro (percusión).
- Para igual molienda, a mayor diámetro del molino o mayor velocidad, menor el diámetro necesario de bolas.

### **7.2.1.3.VOLUMEN DE CARGA**

Los molinos de bolas y barras no trabajan totalmente llenos. El volumen ocupado por los elementos moledores y el material a moler referido al total del cilindro del molino, es lo que se denomina Volumen de Carga.

### **7.2.1.4.POTENCIA**

La potencia máxima se desarrolla cuando el volumen de carga es del 50% aproximadamente, sin embargo, generalmente se trabaja entre un 30% y un 40% ya que como la curva es bastante plana, la potencia entregada es similar a la del 50%.

## **7.2.2. TIPOS DE MOLIENDA**

### **7.2.2.1.MOLIENDA SECA**

Es habitual que la molienda sea seca en la fabricación del cemento y que sea húmeda en la preparación de minerales para concentración. Hacer a materiales secos o a suspensiones de sólidos en líquido (agua), el cual sería el caso de la molienda húmeda.

### **7.2.2.2.MOLIENDA HÚMEDA**

El material a moler es mojado en el líquido elevando su humedad, favoreciéndose así el manejo y transporte de pulpas, que podrá ser llevado a cabo por ejemplo con bombas en cañerías. En la molienda húmeda moderna, luego del proceso de desintegración, la clasificación de partículas se llevará a cabo en hidrociclones y si se desea concentrar el mineral se podrá hacer una flotación por espumas. El líquido, además, tiene un efecto refrigerante con los calores generados en el interior. (EcuRed, 2012)

## **7.2.3. MOLINOS**

Se llaman así a las máquinas en donde se produce la operación de molienda. Existen diversos tipos según sus distintas aplicaciones.

### **7.2.3.1.MOLINO DE BOLAS (BALL MILL)**

Los molinos de bolas consisten en cámaras giratorias de acero, de forma cilíndrica o tronco-cónica llenas hasta la mitad con bolas de acero o hierro, y, en ciertos casos, con guijarros. La reducción de tamaños se produce gracias a los choques que ocasionan estas bolas al caer, desde la altura a que son elevadas, por la rotación de la cámara. (Brown G. G., 1965)

El molino de bolas es adecuado para materiales finos y gruesos, molienda en húmedo o en seco, en circuito cerrado con clasificadores, cribas o separadores de aire.

La selección de molienda en seco y en vía húmeda la suele indicar el uso final del producto. Cuando el material puede ser molido en vía húmeda o seca, el consumo de energía, desgaste del recubrimiento y los costos de capital determinan el diseño. El consumo de los medios de molienda y el desgaste del recubrimiento por tonelada de producto más bajo para un sistema de molienda en seco. A pesar de esto el consumo de energía para un sistema de molienda en seco es aproximadamente 30% mayor que para la molienda en vía húmeda y requiere el empleo de un colector de polvos.

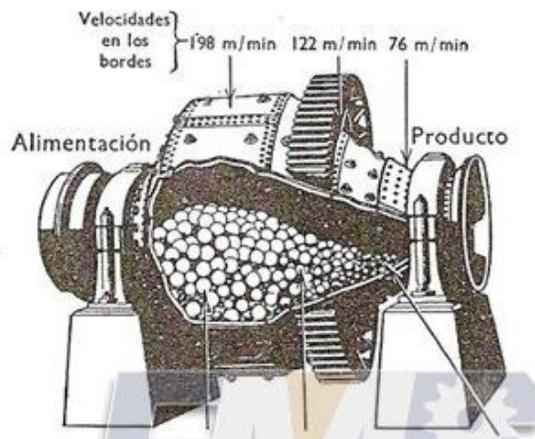
La alimentación a los molinos de bolas puede ser de 2.5 a 4 cm (1 a 1.5 in) para materiales muy frágiles, aunque por los general el tamaño es de 1.3 cm (0.5 in). La mayor parte de los molinos de bolas operan con una razón de reducción de 20 a 200:1. El tamaño usual de las bolas más grandes es de 13 cm (5 in) de diámetro. (Perry J. , 1992)

En los molinos de bolas cilíndricos, el producto puede descargarse por rebose por uno de los cojinetes, que es hueco Figura 1. Las partículas más pequeñas se suspenden y arrastran por el fluido circulante, que puede ser aire o agua.



**Figura 1.** Molino de bolas con tolva de alimentación y gorrón hueco para la descarga (Allis-Chalmers Mfg. Co.)

El molino de Hardinge Figura 2 es el típico molino de bolas cilíndrico-cónico. Se admite que las bolas de mayor diámetro y las partículas más gruesas tienden a segregarse de las pequeñas, quedándose en la parte cilíndrica del molino. Sea o no cierta suposición, existe una relación definida óptima entre los tamaños de las partículas. En cualquier caso el volteo de las bolas por el giro del molino es tanto mayor cuanto mayor es el diámetro; así pues, el trabajo de las bolas será más eficaz en la zona cilíndrica del molino.



**Figura 2.** Corte parcial de un molino de bolas, en funcionamiento, con la distribución ideal de bolas (Hardinge Co.)

Los revestimientos de los molinos de bolas son reemplazables y suelen constituirse con aceros especiales. También se utilizan para dichos revestimientos materiales tales como el caucho, fundiciones de hierro, cerámica y rocas duras. El desgaste sufrido por el revestimiento varía por lo general de 0,05 a 0,22 Kg por tonelada de producto molido. Las bolas cargadas en el molino son de 2,5 a 15 cm de diámetro, y su desgaste de 0,5 a 1,5 Kg por tonelada de producto molido, se acostumbra compensar el desgaste de las bolas introduciendo, al menos, una o más bolas nuevas, una vez al día. (Brown G. G., 1965)

#### **7.2.4. PARTES PRINCIPALES DE UN MOLINO**

Las piezas fundamentales de un molino son: Casco, Chaquetas o revestimiento, Rejillas, Cuerpos trituradores, dispositivos de carga y de descarga.

##### **7.2.4.1. CUERPO O CASCO DEL MOLINO O SHELL**

El casco del molino está diseñado para soportar impactos y carga pesada, es la parte más grande de un molino y está construido de placas de acero forjadas y soldadas. Tiene perforaciones para sacar los pernos que sostienen el revestimiento o forros. Para conectar las cabezas de los muñones tiene grandes flanges de acero generalmente soldados a los extremos de las placas del casco. En el casco se abren aperturas con tapas llamadas manjoles para poder realizar la carga y descarga de las bolas, inspección de las chaquetas y para el reemplazo de las chaquetas y de las rejillas de los molinos. El casco de los molinos está instalado sobre dos chumaceras o dos cojinetes macizos esféricos.

##### **7.2.4.2. TAPAS**

Soportan los cascos y están unidos al trunión.

##### **7.2.4.3. FORROS O CHAQUETAS**

Sirven de protección del casco del molino, resiste al impacto de las bolas así como de la misma carga, los pernos que los sostienen son de acero de alta resistencia a la tracción forjados para formarle una cabeza cuadrada o hexagonal, rectangular u oval y encajan convenientemente en las cavidades de las placas de forro.

#### **7.2.4.4. TRUÑÓN DE DESCARGA**

Es el conducto de descarga del mineral en pulpa, por esta parte se alimenta las bolas, sobre la marcha.

#### **7.2.4.5. CUCHARÓN DE ALIMENTACIÓN**

Normalmente forma parte del muñón de entrada del molino.

#### **7.2.4.6. TROMEL**

Desempeña un trabajo de retención de bolas especialmente de aquellos que por excesivo trabajo han sufrido demasiado desgaste. De igual modo sucede con el mineral o rocas muy duras que no pueden ser molidos completamente, por tener una granulometría considerable quedan retenidas en el tromel. De esta forma se impiden que tanto bolas como partículas minerales muy gruesas ingresen al clasificador o bombas.

#### **7.2.4.7. VENTANA DE INSPECCIÓN**

Está instalada en el cuerpo del molino, tiene una dimensión suficiente como para permitir el ingreso de una persona, por ella ingresa el personal a efectuar cualquier reparación en el interior del molino. Sirve para cargar bolas nuevas (carga completa) así como para descargarlas para inspeccionar las condiciones en las que se encuentra las bolas y blindajes.

- Las chumaceras del contra eje.
- El contra eje.
- Las poleas.
- Reductor de velocidad.

- El acoplamiento.
- El motor eléctrico.

#### **7.2.4.8.REJILLAS DE LOS MOLINOS**

En los molinos se instalan unas rejillas destinadas a retener los cuerpos trituradores y los trozos de mineral grueso, durante el traslado del mineral molido a los dispositivos de descarga.

Para dejar el mineral molido, el muñón el trunión de descarga, está separado del espacio de trabajo por parrillas dispuestas radialmente con aberturas que se ensanchan hacia la salida. El mineral molido pasa por las parrillas, es recogido por las nervaduras, dispuestas radialmente y se vierte fuera del molino por el muñón trunión de descarga. Las parrillas y las nervaduras se reemplazan fácilmente cuando se desgastan.

#### **7.2.4.9.CUERPOS TRITURADORES**

Los cuerpos trituradores van a ser utilizados en los molinos cuya acción de rotación transmite a la carga de cuerpos moledores fuerzas de tal naturaleza que estos se desgastan por abrasión, impacto y en ciertas aplicaciones metalurgistas por corrosión.

#### **7.2.4.10. DISPOSITIVOS DE DESCARGA**

El sistema de descarga del mineral en los molinos es por el muñón de descarga o trunión de salida que es hueco y generalmente con nervaduras de espiral en el interior del trunión de salida.

El mineral, al salir del muñón de salida que es hueco, cae a través del tamiz. Las partículas grandes de los cuerpos extraños, los trozos de bolas gastadas y otros materiales por el tamiz.

En el sistema de descarga con rejilla, el mineral atraviesa la parrilla del molino y entra en el espacio comprendido entre esta pared cabecera del casco. Luego de aquí el mineral es retirado por unos canales sobre el tamiz selector. Las partículas finamente molidas atraviesan el tamiz y entra en la tolva de finos, los cuerpos extraños caen desde el tamiz y abandona el molino. (Barrientos, 2006)

#### **7.2.5. FUNCIONES PRINCIPALES DEL MOLINO DE BOLAS**

Es ampliamente utilizado en muchos campos industriales, es un equipo de elaboración para los polvos finos y polvos superfinos, se aplica a la molienda de materiales de baja dureza tales como los materiales no metálicos no combustibles y no explosivos, como Caolín, piedra caliza, calcita, talco, mármol, baritina, yeso, pintura, arcilla, tiza, dolomía, bentonita, mica, magnesita, pirofilita, vermiculita, sepiolita, diatomita, grafito, piedra de alumbre, fluorita, roca fosfática, mineral de potasio, piedra pómez, etc. (Romero & Santana, 2010)

#### **7.2.6. VARIABLES OPERACIONALES DE UN MOLINO DE BOLAS**

Para que la molienda sea racional y económica hay que considerar 3 factores fundamentales que influyen en los resultados y son:

- La carga del mineral
- Alimentación de agua
- Medios de molienda

### **7.2.6.1.LA CARGA DE MINERAL DE ALIMENTACIÓN AL MOLINO**

Cuanto más rápido sea la alimentación al molino más rápido será la descarga que llega al otro extremo y el producto final será más grueso, permanecerá menos tiempo sometido a molienda.

La alimentación de carga del mineral debe ser constante y uniforme, la cantidad se regula en faja de alimentación.

De tamaño de mineral apropiado, depende de la trituración 5% malla + 3/4.

Limpias de planchas de Fe, madera, trapos o piezas de acero que pueden cortar la faja de alimentación o bloquear los alimentadores, o producir atoros en la descarga, etc.

Normalmente los molinos trabajan con 70% a 78% de sólidos, dependiendo del peso específico del mineral, la cantidad de mineral que se puede cargar en un molino de bolas oscila de 0.45 toneladas por m<sup>3</sup> de capacidad.

### **7.2.6.2.ALIMENTACIÓN DE AGUA**

Al operar el molino por vía húmeda, el mineral finalmente molido es extraído con agua de los intersticios entre las bolas y por lo tanto no perjudica la molienda de las partículas de mineral gruesas, por ende en la operaciones se agrega un 50% a 60% de agua en peso, para asegurar una descarga rápida del mineral. El exceso de agua dentro del molino lavara las bolas y cuando se hace funcionar el molino pues el mineral no está pegado en las bolas, haciendo una pulpa demasiado fluida que saca la carga de mineral demasiado rápida, no dando tiempo a moler y disminuyendo el tiempo de molienda, dando como resultado una molienda excesivamente gruesa. Consumo exagerado de bolas y desgaste de chaquetas, todas estas condiciones unidas representan un aumento del costo de producción y una baja eficiencia de la molienda.

### **7.2.6.3.CARGA DE BOLAS**

La cantidad de bolas que se coloca dentro de un molino depende en gran parte de la cantidad de energía disponible para mover el molino.

Generalmente nunca llega al 50% de volumen, aunque una carga de bolas igual a 50% del volumen del molino da la capacidad máxima, el volumen total de las bolas no debe ser menor que el 20% del volumen interior (las cargas normales varían de 40 a 50%).

Donde quiera que se desee una producción mínima de finos debe usar una carga de bolas cuyo diámetro está relacionado al tamaño del mineral que se alimenta, el aumento de la carga de bolas, hace elevar el gasto de energía hasta alcanzar un valor máximo, por encima del cual la energía necesaria disminuye al aumentar la carga, por acercarse al centro de gravedad de esta al eje de rotación.

La carga se puede aumentar elevando el peso de bolas cargado al molino aumentando la densidad de sólidos de la pulpa a moler, o trabajando a nivel de líquidos más alto.

Este nivel de pulpa, que es función de la cantidad de molienda, constituye un factor muy importante en el funcionamiento del molino de bolas.

Normalmente la carga de bolas se debe determinar mediante ensayos metalúrgicos por estudios detenidos. La potencia necesaria es máxima cuando el contenido en sólidos de alimentación es del orden del 75%.

El consumo de bolas esta dado en función al tonelaje tratado, a la dureza del mineral, al tamaño de la carga de mineral.

Cuanto más pequeñas sean las bolas mayor será la finura del producto final, la calidad de las bolas se fabrican de acero moldeado, fundido, laminado o forjado, normalmente se emplea acero al manganeso o al cromo. (Barrientos, 2006)

### **7.2.7. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE MOLIENDA**

Varios factores afectan la eficiencia del molino de bolas. La densidad de la pulpa de alimentación debería ser lo más alta posible, pero garantizado un flujo fácil a través del molino. Es esencial que las bolas estén cubiertas con una capa de mena; una pulpa demasiado diluida aumenta el contacto metal-metal, aumentando el consumo de acero y disminuyendo la eficiencia. El rango de operación normal de los molinos de bolas es entre 65 a 80% de sólidos en peso, dependiendo de la mena. La viscosidad de la pulpa aumenta con la fineza de las partículas, por lo tanto, los circuitos de molienda fina pueden necesitar densidad de pulpa menor.

La eficiencia de la molienda depende del área superficial del medio de molienda. Luego las bolas deberían ser lo más pequeñas posible y la carga debería ser distribuida de modo tal que las bolas más grandes sean justo lo suficientemente pesadas para moler la partícula más grande y más dura de la alimentación. Una carga balanceada consistirá de un amplio rango de tamaños de bolas y las bolas nuevas agregadas al molino generalmente son del tamaño más grande requerido. Las bolas muy pequeñas dejan el molino junto con la mena molida y pueden separarse haciendo pasar la descarga por harneros. (Barrientos, 2006)

#### **7.2.7.1.EL EXCESO DE AGUA EN EL MOLINO OCASIONA**

Un exceso lavara las bolas y cuando se hace funcionar el molino no se obtiene una buena acción de molienda pues el mineral no está pegado a las bolas, haciendo una pulpa demasiado fluida que saca la carga de mineral demasiado rápida, no dando tiempo a moler disminuyendo el tiempo de molienda, dando como resultado una molienda excesivamente gruesa, consumo exagerado de bolas aumento de costo de producción y una baja eficiencia de molienda.

El exceso de agua en la molienda da como resultado:

- Molienda gruesa.

- Aumento de costo de producción.
- Densidad baja.
- Menor eficiencia del molino.
- Bajo tonelaje del molino.
- Excesivo consumo de bolas y chaquetas o revestimiento.
- Paradas obligadas del molino por pernos flojos, rupturas de pernos, caída de chaquetas o revestimiento interiores del molino.
- Costo de molienda altos.

#### **7.2.7.2.FALTA DE AGUA EN EL MOLINO**

La pulpa del mineral avanza lentamente y se hace cada vez más densa, las bolas no muelen, porque el barro se muele muy espeso alrededor de las bolas, impidiendo buenos golpes por que el barro amortigua todos los golpes.

En estas condiciones de operación las bolas pueden salir junto con la pulpa de mineral.

La falta de agua en un molino ocasiona:

- Molienda gruesa y mala.
- Paradas obligatorias del molino.
- Densidad elevada.
- Molienda deficiente por que el barro se pega a las bolas amortiguando los golpes.
- Perdidas de tonelaje en el molino. (Barrientos, 2006)

#### **7.2.8. CAPACIDAD DEL MOLINO**

La capacidad del molino depende de la relación de reducción, así como de la dureza del material que se trate, y no puede calcularse exactamente. Una evaluación razonable de la capacidad de un molino de bolas cilíndrico-cónico del tipo Hardinge, en toneladas por 24 horas, es

$$4,76 \frac{\text{diámetro máximo } \times \text{ longitud (m)}}{C_1}$$

Siendo  $C_1$  un valor que varía entre 6 y 3 para la mayoría de las operaciones normales.

La capacidad normal de un molino de bolas cilíndrico, en toneladas por 24 horas, puede calcularse mediante la relación

$$32 \frac{\text{volumen del molino (m}^3\text{)}}{C}$$

Siendo  $C$  un valor que generalmente oscila entre 1 y 2. (Brown G. G., 1965)

### **7.3.TAMIZADO Y TAMICES**

Objeto de la tamización o tamizado es separar las distintas fracciones que componen un sólido granular o pulverulento, por el diferente de tamaño de sus partículas, utilizando para ello los tamices. En principio, se puede considerar como tamiz toda superficie agujereada. Para que la operación puede efectuarse es necesario que el sólido a tamizar y el tamiz encargado de ello se encuentren en movimiento relativo, para con ello dar oportunidad a las partículas del sólido a que coincidan con las aberturas del tamiz y que pasen a través de estas las de menor tamaño. (Vian & Ocón, 1952).

Los tamices industriales se construyen con tela metálica, telas de seda o plástico, barras metálicas, placas metálicas perforadas, o alambres de sección transversal triangular. Se utilizan diferentes metales, siendo el acero al carbono y el acero inoxidable los más frecuentes. Los tamaños de los tamices normalizados están comprendidos entre 4 pulgadas y 400 mallas, y se dispone de tamices comerciales de tela metálica con aberturas tan pequeñas como 1  $\mu\text{m}$ . Los tamices más finos, aproximadamente de 150 mallas, no se utilizan habitualmente debido a que con partículas muy finas generalmente resultan más económicos otros métodos de separación. La separación en el intervalo de tamaños entre 4 y 48 mallas recibe el nombre de tamizado fino y para tamaños inferiores a 48 mallas el tamizado se considera ultrafino.

#### **7.3.1. TAMIZ**

Todo tamiz dará, pues, dos fracciones: una, la fracción gruesa (o de gruesos o el rechazo), y otra, la fracción fina, que se llama también los finos o el cernido. (Vian & Ocón, 1952)

Un tamiz es una malla metálica constituida por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar el alimento previamente triturado. Las aberturas que deja el tejido y, que en conjunto constituyen la superficie de tamizado, pueden ser de forma distinta, según la clase de tejido. Las mallas cuadradas se aconsejan para productos de grano plano, escamas, o alargado.

La separación de materiales sólidos de acuerdo a su tamaño es importante para la producción de diferentes productos, como ejemplo están las arenas sílicas. Además de lo anterior, se utiliza para el análisis granulométrico de los productos de molinos para observar la eficiencia de éstos y para su control. Es por esto que realiza el tamizado.

- Esta operación unitaria separa por granulometría la muestra dándole homogeneidad y medida por el tamaño malla usado.
- Se realiza en ausencia de presión.
- Acompaña a la molienda cuando se quiere separar a los sólidos de distintos tamaños.
- Se utilizan mallas de marca Tyler de tamaño universal, mientras mayor sea el número Tyler, menor será la abertura y por ende menor será el tamaño de las partículas que pasan por la malla.

Un análisis de tamiz típico implica una columna jerarquizada de tamices con el paño del acoplamiento de alambre. Una muestra pesada representativa se vierte en el tamiz superior que tiene las aberturas más amplias. Cada tamiz más bajo en la columna tiene aberturas más pequeñas que la de arriba. En la base está una cacerola redonda, llamada el receptor.

La columna se coloca típicamente en una coctelera mecánica. La coctelera sacudirá la columna para una cantidad de tiempo fija. Después de sacudir completamente el material en cada tamiz se pesa. El peso de la muestra de cada tamiz entonces es dividido por el peso total para dar un porcentaje conservado en cada tamiz.

### **7.3.2. CLASIFICACIÓN DEL TAMIZADO**

#### **7.3.2.1.MACROTAMIZADO**

Se hace sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso de partículas alrededor de 0,2mm. Se utilizan para retener materias en suspensión, flotantes o semiflotantes, residuos vegetales o animales, ramas, de tamaño entre 0,2 y varios milímetros.

### 7.3.2.2.MICROTAMIZADO

Hecho sobre tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Se usa para eliminar materias en suspensión muy pequeñas contenidas en el agua de abastecimiento (Plancton) o en aguas residuales pretratadas. Los tamices se incluirán en el pretratamiento de una estación depuradora en casos especiales.

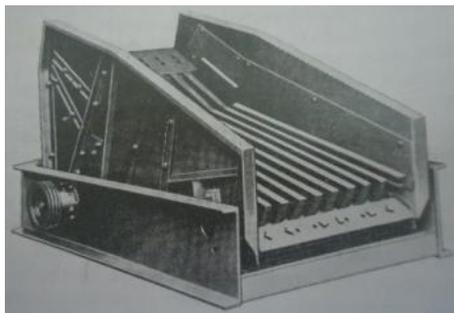
### 7.3.3. EQUIPOS INDUSTRIALES PARA EL TAMIZADO

#### 7.3.3.1.RASTRILLOS DE BARRAS

Los rastrillos se utilizan mucho para el tamizado de grandes tamaños, en especial los superiores a 2,5 cm. Están contruidos simplemente por un grupo de barras paralelas, separadas en sus extremos mediante espaciadores. Las barras pueden estar dispuestas horizontalmente o hallarse inclinadas en sentido longitudinal, de 20 a 50 grados sexagesimales sobre la horizontal, según la naturaleza del material a tratar.

Debido al desgaste que sufren las barras, están suelen ser de acero al manganeso.

Los rastrillos se construyen con una anchura de 0,90 a 1,20 m, y barras de 2,40 a 3 m de largo. (Brown G. G., 1965)



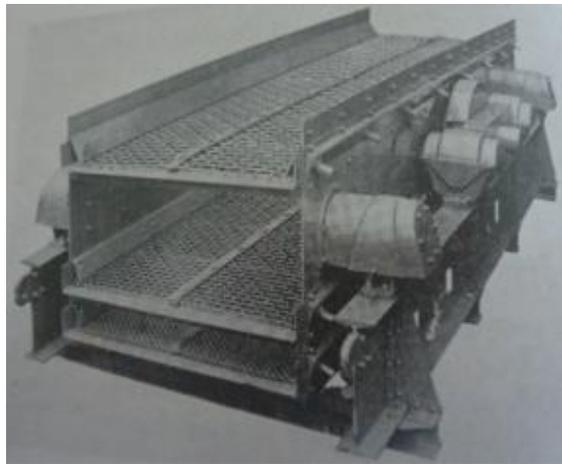
**Figura 3.** Rastrillo de barras con movimiento oscilante. El material se carga por la parte alta de la izquierda y desciende hacia la derecha. El rechazo de descarga por el lado inferior y el cernido cae en la tolva situada debajo del rastrillo (Nordberg Mfg. Co.)

### 7.3.3.2.TAMICES FIJOS

Se construyen con placas metálicas perforadas, así como también con tejidos metálicos que suelen disponerse en ángulo hasta 60 grados sexagesimales con la horizontal. Estos tamices se usan en las operaciones intermitentes de pequeña escala, tales como el cribado de la arena, grava o carbón, para la cual se proyecta el material sobre el tamiz. Cuando hay que tratar un elevado tonelaje, las cribas fijas se reemplazan por las vibratorias.

### 7.3.3.3.TAMICES VIBRATORIAS

Se utilizan para grandes capacidades. El movimiento vibratorio se le comunica al tamiz por medio de levas, con una excéntrica y un volante desequilibrado, o mediante un electroimán. El tamiz puede poseer una sola superficie tamizante o llevar dos o tres tamices en serie, como en la Figura 4.



**Figura 4.** Criba mecánica de tres tamices en serie, de movimiento vibratorio. (W. S. Tyler Co.)

Los tamices de este tipo se instalan con una ligera inclinación, que llega hasta los 45 grados sexagesimales sobre la horizontal Figura 5.



**Figura 5.** Criba vibratoria formada por dos tamices en cascada y accionada mecánicamente, en funcionamiento. (W. S. Tyler Co.)

Estos tamices se aplican de ordinario para productos de tamaños entre 8 y 100 mallas, o aún más finos, y para el tamizado en húmedo. La frecuencia de vibración viene determinada por la frecuencia de la corriente alterna utilizada, y varía entre 900 y 7200 vibraciones por minuto. La más baja se utiliza para el tamizado de partículas gruesas (8 mallas), y las más elevadas para los productos de granos más finos.

La capacidad de un tamiz vibratorio varía mucho según las características del producto tratado: desde 22 ton/m<sup>2</sup> de superficie en 24 horas, para las sustancias tales como arcillas húmedas o el polvo de jabón, hasta 330 ton/m<sup>2</sup> día, para los cuerpos secos, cual es el caso del coque, empleando tamices de 6 a 8 mallas. (Brown G. G., 1965)

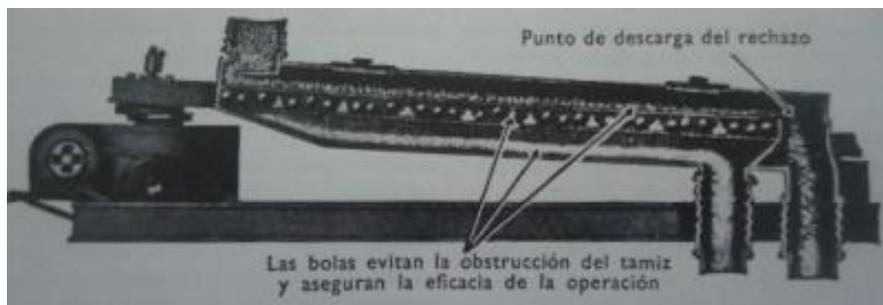
#### **7.3.3.4. TAMICES OSCILANTES**

Se caracteriza por una velocidad relativamente pequeña (300 a 400 oscilaciones por minuto) en un plano esencialmente paralelo al del tamiz. La criba lleva un tamiz que se mueve en vaivén mediante una excéntrica y otro mecanismo enlazado al único soporte del tamiz, que suele ser vertical que sostiene a la caja del mismo. Constituye el tipo de tamiz más barato que ofrecen los constructores, y se aplican para trabajos intermitentes o discontinuos.

El cernedor está formado por una caja que lleva cierto número de telas tamizante dispuestas unas sobre otras, que reciben un movimiento por una excéntrica o contrapeso que describe una órbita casi circular. Muchos de estos dispositivos de tamizado llevan un tamiz grosero de malla ancha bajo las telas de tamizado, en el cual hay bolas de caucho retenidas en zonas limitadas que, al trabajar el aparato, saltan desde su base de apoyo contra la cara inferior de la tela del tamiz. (Brown G. G., 1965)

### 7.3.3.5. TAMICES DE VAIVÉN

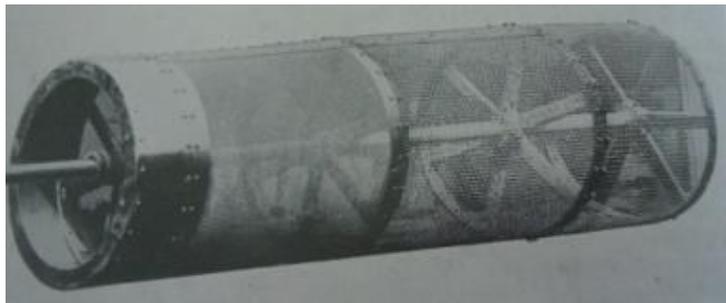
Se propulsan mediante una excéntrica montada en el lado de la alimentación Figura 6. El movimiento varia, desde el giratorio de casi 50 mm de diámetro, en el extremo de alimentación, hasta el de vaivén en el extremo apuesto de descarga, estos tamices suelen tener inclinación de unos 5 grados sexagesimales, dando al tamiz un movimiento perpendicular a las telas del tamizado, de casi 2,5 mm. Bajo la superficie activa del tamiz y mediante las bolas de caucho localizadas en determinadas zonas se consigue, además, otra vibración. Este aparato está muy generalizado y se usa mucho para el tamizado de productos químicos secos hasta el tamaño correspondiente a casi 300 mallas. (Brown G. G., 1965)



**Figura 6.** Criba oscilante con bolas limpiadoras de los tamices. El rechazo cae por un extremo del tamiz. Las bolas quedan confinadas en zonas limitadas debajo del tamiz y están soportadas por una tela mecánica de malla ancha. Las bolas saltan sobre este soporte y provocan una vibración secundaria en el tamiz situado encima. El material fino tamizado, pasa a través de ambas telas mecánicas. (J. H. Day Co.)

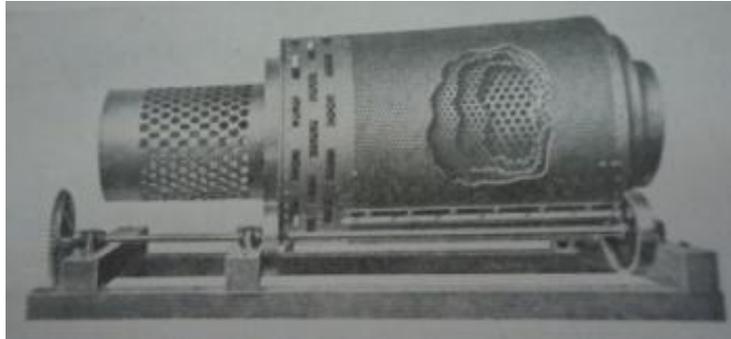
### 7.3.3.6. TAMIZ ROTATORIO (TROMEL)

Está formado por un tamiz de forma cilíndrica o tronco – cónica, que gira sobre su eje. Pueden disponerse varios tambores en serie, de modo que el tamizado del primero pase luego al segundo y de éste al tercero, etc. En algunos casos se construyen tamices de diferentes lados de orificios, dispuestos longitudinalmente, y la alimentación entra por el lado del tamiz más fino Figura 7. De este modo se fracciona un producto en materiales de distintos tamaños. Pero la operación no resulta tan eficaz como en el caso de una serie de tambores sencillos o de un solo tambor compuesto. (Brown G. G., 1965)



**Figura 7.** Criba múltiple de tambor (disposición en línea). La carga entra por el extremo izquierdo y pasa sobre los sucesivos tamices en el sentido de mayor a menor abertura. Por el extremo derecho se descarga la fracción más gruesa de la carga. (C. O. Bartlett and Snow Co.)

El tambor compuesto Figura 8 está formado por dos o más superficies de tamizado, montadas concéntricamente sobre un mismo eje. La superficie tamizante con los orificios de mayor diámetro está montada en el interior del tambor, y la de agujeros más finos, en el exterior, resultando así materiales con tamaños intermedios comprendidos entre los dos límites.



**Figura 8.** Criba múltiple de tambor (disposición en cascada). (C. O. Bartlell and Snow Co.)

La capacidad del tromel aumenta con la velocidad de rotación hasta un valor de ésta para lo cual cegado el tamiz por acumulaciones y atasque del material en sus orificios. Si la velocidad de rotación se incrementa hasta la velocidad crítica, el material ya no se desliza sobre la superficie tamizante, sino que es arrastrado por el tambor en su giro, debido a la acción de la fuerza centrífuga. Generalmente la mejor velocidad de trabajo es de 0,33 a 0,45 veces la crítica. (Brown G. G., 1965)

**Tabla1.** Capacidad aproximada de los tamices para materiales densos, como los minerales

<b>Tipo de tamiz</b>	<b>Capacidad en toneladas métricas por m<sup>2</sup> de área y por mm de abertura y 24 horas</b>
Rastrillos	10-60
Tamices fijos	10-50
Tamices vibratorios	50-200
Tamices oscilantes o sacudidos	20-80
Tromels	3-20

**Fuente.** (Brown G. G., 1965)

### 7.3.4. SERIES DE TAMICES TAYLER

Esta es una serie de tamices estandarizados usados para la medición del tamaño y distribución de las partículas en un rango muy amplio de tamaño. Las aberturas son cuadradas y se identifican por un número que indica la cantidad de aberturas por pulgada cuadrada.

Una serie de tamices patrón muy conocidas es la serie de Tamices Tyler. Esta serie se basa en la abertura del tamiz 200, establecida en 0,0074cm y enuncia que "el área de la abertura del tamiz superior es exactamente el doble del área de la abertura del tamiz inmediato inferior. (Moreno, 2012)

**Tabla 2.** Tamices Tyler

Intervalo $=\sqrt{2}$ abertura, pulgadas	Intervalo $=\sqrt[4]{2}$ , para tamices selectos			
	Abertura, pulgadas	Abertura, mm	Numero de mallas	Diámetro del hilo, pulgadas
<b>1,050</b>	1,050	26,67	.....	0,148
	0,883	22,43	.....	0,135
<b>0,742</b>	0,742	18,85	.....	0,135
	0,624	15,85	.....	0,120
<b>0,525</b>	0,525	13,33	.....	0,105
	0,441	11,20		0,105
<b>0,371</b>	0,371	9,423	.....	0,092
	0,312	7,925	2,5	0,088
<b>0,263</b>	0,263	6,680	3	0,070
	0,221	5,613	3,5	0,065

<b>0,185</b>	0,185	4,699	4	0,065
	0,156	3,962	5	0,044
<b>0,131</b>	0,131	3,327	6	0,036
	0,110	2,794	7	0,0326
<b>0,093</b>	0,093	2,362	8	0,032
	0,078	1,981	9	0,033
<b>0,065</b>	0,065	1,651	10	0,035
	0,055	1,397	12	0,028
<b>0,046</b>	0,046	1,168	14	0,025
	0,0390	0,991	16	0,0235
<b>0,0328</b>	0,0328	0,833	20	0,0172
	0,0278	0,701	24	0,0141
<b>0,0232</b>	0,0232	0,589	28	0,0125
	0,0195	0,495	32	0,0118
<b>0,0164</b>	0,0164	0,417	35	0,0122
	0,0138	0,351	42	0,0100
<b>0,0116</b>	0,0116	0,295	48	0,0092
	0,0097	0,248	60	0,0070
<b>0,0082</b>	0,0082	0,208	65	0,0072
	0,0069	0,175	80	0,0056
<b>0,0058</b>	0,0058	0,147	100	0,0042
	0,0049	0,124	115	0,0038

<b>0,0041</b>	0,0041	0,104	150	0,0026
	0,0035	0,088	170	0,0024
<b>0,0029</b>	0,0029	0,074	200	0,0021
	0,0024	0,061	230	0,0016
<b>0,0021</b>	0,0021	0,053	270	0,0016
	0,0017	0,043	325	0,0014
<b>0,0015</b>	0,0015	0,038	400	0,0010

**Fuente:** (Brown G. G., 1965)

#### **7.3.4.1.MESH**

Lo representa el número de luces de mallas dentro de una pulgada inglesa, equivalente a 25.4 mm.

Se entiende por Luz de la Malla a la abertura útil de pasaje, y la superficie de paso es la relación al tanto por ciento entre la superficie total de los ojos de las mallas y la superficie total de la tela. (ALNICOLSA, 2000)

## 7.4.MEZCLADO

El mezclado es una operación unitaria de ingeniería química que consiste en integrar, reunir, incorporar, juntar, combinar dos o más sustancias con el fin de obtener un producto o subproducto debido a que la mayoría de los procesos de transferencia de masa requiere del mezclado de corriente de fluidos o la separación de uno de ellos. (Brown E. G., 1965)

La operación de mezclado es mucho más difícil de estudiar y describir que la agitación. Los patrones del flujo de fluidos y la velocidad de un fluido en un tanque agitado, aunque complejos, son bastante definidos y reproducibles. El consumo de potencia (energía) se mide fácilmente. Por otro lado, los resultados de los estudios de mezclado son difíciles de reproducir y dependen en gran medida de cómo se defina el mezclado por el experimentador. Con frecuencia el criterio de un buen mezclado es visual, como ocurre en la utilización de fenómenos de interferencia para seguir la mezcla de gases en un conducto o en el cambio de color de un indicador ácido-base, para la determinación del tiempo de mezcla de líquidos. Otros criterios utilizados incluyen la velocidad de caída de las fluctuaciones de concentración o temperatura, la variación de composición de pequeñas muestras tomadas al azar en distintos puntos de la mezcla, la velocidad de transferencia de un soluto de fase líquida a otra, y en mezclas sólido líquido, la uniformidad que se observa visualmente en la suspensión. (McCabe & Harriott, 2007)

Si el proceso de mezclado es entre dos o más fluidos con una relativa baja viscosidad, de tal manera que el mezclado no se ve afectado por las velocidades de cizallamiento del fluido, entonces la diferencia en el tiempo de mezclado y la circulación, tanto para recipientes pequeños o grandes, es el único factor implicado. Sin embargo, si el mezclado implica o conlleva importantes diferencias de la densidad, viscosidad y la tensión superficial entre las distintas fases, resulta necesario una tensión o esfuerzo cortante adicional antes de que el mezclado pueda proceder hasta alcanzar un aceptable grado de uniformidad.

El papel de la viscosidad es uno de los factores más importantes en el paso del régimen turbulento, a través de la región de transición, al régimen viscoso y en el cambio en el papel de disipación de energía. El papel de la viscosidad no newtoniana entra en escena con fuerza, dado que tiende a cambiar de manera importante el tipo de influencia de los impulsores y condiciona o determina la geometría más apropiada. (Perry & DonW.Green, 2001)

El mezclado es la dispersión de los componentes, uno en otro. Se presenta en innumerables ejemplos en la industria alimentaria.

Los objetivos de mezclado son:

- Producir mezclas físicas simples donde no se efectúen reacciones ni cambios en el tamaño de partícula.
- Efectuar cambios físicos:
  - disolución de compuestos.
  - formación de cristales.
- Llevan a cabo una dispersión en aquellos casos en que se va a fabricar un producto de apariencia homogénea.
- Promover una reacción, es el uso más importante.

#### **7.4.1. OBJETIVOS GENERALES DE LA MEZCLA**

Tanto si se trata de líquidos como de sólidos o gases, o de una combinación cualquiera de estas fases, la finalidad principal perseguida en una mezcla teóricamente perfecta es siempre la misma, y puede formularse como sigue: en todos los casos, dos o más materiales separados o mal mezclados, al mezclarlos bien, se debe alcanzar un estado tal que cada partícula de uno cualquiera de los materiales esté lo más próxima posible a una partícula de cada uno de los demás materiales (Figura 9). En la práctica no se obtiene nunca ese resultado perfecto (excepto en la mezcla de fluidos miscibles de baja viscosidad) y puede afirmarse que en algunos casos esa mezcla teóricamente perfecta no sería conveniente. El resultado de la mezcla puede ser una mixtura, una dispersión



el grado deseado y en el tiempo óptimo todo el material contenido en el mezclador. Esta regla se refiere a características de la mezcla observables a simple vista.

En lo que respecta a la regla 1, la intimidad o el grado de la mezcla depende de las diferencias de las velocidades o flujos con que circulan los diversos componentes de la mezcla. Estas diferencias de flujos se producen ya sea por contacto directo entre los ingredientes de la mezcla y el propio mezclador (del cual debe considerarse siempre como una parte el recipiente), ya por el movimiento comunicado a los materiales por el elemento mezclador, o por ambas cosas a la vez. El esfuerzo cortante, directo o a través de los pasos intermedios de la cantidad de movimiento y del choque, es el factor más importante para convertir las fuerzas engendradas por el mezclador en diferencias de flujos. La intimidad máxima se produce por lo general en la vecindad del elemento mezclador, ya que en esa región es donde tiene lugar el movimiento más vigoroso.

Una gran parte de la energía consumida se emplea en producir esta intimidad de la mezcla, mientras el resto se utiliza para mantener la circulación general necesaria.

Cuando se cumpla la regla 2, todo el contenido del recipiente estará uniformemente distribuido y en condición apropiada para que sea sometido repetidas veces a la acción mezcladora más intensa exigida por la Regla 1. La estratificación y la sedimentación hacen que una mezcla que puede ser la excelente, quede totalmente inservible. Cualquiera que sea el tipo de mezcla, dispersión, disolución o reacción, efectuada en el mezclador, ésta será completamente inservible por insuficiencia de la mezcla en las partes alejadas del recipiente, a menos que sea suficientemente intenso tanto el flujo horizontal como el vertical y que toda la masa se desplace continuamente a la zona de acción intensa. Nunca se insistirá bastante en este punto, pues se olvida a menudo, con resultados desastrosos en cuanto al rendimiento, el tiempo y la energía consumida. En el caso de la mezcla de líquidos, una excesiva turbulencia estorba la aplicación correcta de la Regla 2, porque se pierde tanto de la cantidad de movimiento comunicado por el elemento mezclador al líquido, en corrientes parásitas locales y en interferencias, que la cantidad de movimiento residual no puede ya llegar con vigor a los lugares más remotos del recipiente. (H.Perry, 1966)

## **7.4.2. CONSIDERACIONES ADICIONALES SOBRE LA MEZCLA**

Es considerable recordar algunos de los aspectos que muestran la gran complejidad que presentan los procesos de mezcla en la práctica. En muchas ocasiones se ha indicado la necesidad de nuevos enfoques o paradigmas.

### **7.4.2.1.HETEROGENEIDAD**

Los sistemas de mezcla presentan una gran heterogeneidad interna. Por lo general en el centro suele haber más mezcla, ya que cerca de las paredes la velocidad será prácticamente cero con una subcapa laminar, en el fondo habrá mayor concentración de sólidos si tienen más densidad que el agua. Así, muchas de las propiedades que se han tratado ( $P/V$ ,  $t_m$  ...) tienen un valor diferente en cada punto, por lo que se suele disponer sólo de valores promedio.

Por lo general cuando los tanque son muy altos el  $t_m$  varía y pueden colocarse agitadores (uno por cada  $h = D$ ). En la mezcla la potencia aplicada es proporcional al número de agitadores; pero si la distancia entre agitadores es menor, crece la interacción y la potencia requerida disminuye. (Díaz, 2012)

### **7.4.2.2.EFECTO DEL AUMENTO DE VISCOSIDAD**

Si la viscosidad  $\mu$  aumenta, habrá que aumentar la potencia de agitación, pero al hacerlo, una mayor cantidad de energía mecánica se transformará en calor. De esta manera, el efecto de la agitación no llega lejos del agitador (por ejemplo cerca de la pared), y a su vez, al ser más viscoso, el calor se difundirá peor (acumulaciones térmicas) y el sistema puede no ser factible. Una solución puede ser introducir un agitador de tipo ancla en lugar de turbina, para que “rasque” las paredes, con poca velocidad. En este caso, el agitador no romperá burbujas, por lo que la velocidad de transferencia de oxígeno se disminuye. (Díaz, 2012)

### 7.4.2.3.FLUIDOS PSEUDOPLÁSTICOS

En la proximidad del agitador hay mucho mayor esfuerzo cortante y gradiente de velocidad  $\dot{\gamma}$ . Por otro lado, para estos fluidos, si  $\dot{\gamma}$  aumenta, el fluido será menos viscoso (menor  $n_{ap}$ ), y en consecuencia, con agitador tipo turbina, en el centro fluye mejor al multiplicarse los dos efectos; por el contrario, cerca de la pared, ambos factores contribuyen a que se dificulte la mezcla.

### 7.4.2.4.PASO DE ESCALA

Es frecuente que se disponga de información de un proceso a una escala dada y que se quiera conocer el comportamiento en otra escala; por ejemplo, las escalas de laboratorio y planta industrial. Se procura, para ello, que haya muchas variables o parámetros que se mantengan; entre otros factores, se intenta, es la analogía geométrica.

Se puede pretender una analogía dinámica, térmica, mismo Re, misma relación P/V, velocidad en la punta (tip speed). Según el parámetro que se quiera mantener, la velocidad de agitación debe ser diferente. Es frecuente que se procure mantener:

- Relación fuerzas inerciales/viscosas. Reynolds

$$Re = \frac{D^2 N \rho}{\mu} \cdot \text{Luego } D^2 N = \text{cte.}$$

- Igual Potencia/Volumen.

$$\frac{P}{V} = \frac{cte \rho N^3 D^5}{cte' D^3}$$

- Igual tiempo de mezcla.

La clave es que se elija en función del fenómeno controlante y, por tanto, el criterio (o número adimensional) que mejor lo determine. (Díaz, 2012)

## 7.5.AGITACIÓN

La agitación es la operación por la cual se crean movimientos violentos e irregulares en el seno de una materia fluida o que se comporte más o menos perfectamente como tal. Mediante estos movimientos se sitúan las partículas o moléculas de una o más fases de tal modo que se obtenga el fin pretendido en el mínimo de tiempo y con un mínimo de aportación energética. (Vian & Ocón, 1952)

En las industrias químicas de proceso y en otras semejantes, muchas operaciones dependen, en alto grado, de una agitación y mezclado efectivos de los fluidos. Por lo general, la agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. El mezclado implica partir de dos fases individuales, tales como un fluido y un sólido pulverizado o dos fluidos, y lograr que ambas fases se distribuyan entre sí.

Existen varios objetivos en la agitación de fluidos y algunos de ellos son:

1. Mezclado de dos líquidos miscibles, tales como alcohol etílico y agua.
2. Disolución de sólidos en líquidos, tales como sal en agua.
3. Dispersión de un gas en un líquido en forma de burbujas pequeñas, como en el caso del oxígeno del aire en una suspensión de microorganismos para la fermentación, o en el caso del proceso de activación de lodos en el tratamiento de aguas de desperdicio.
4. Suspensión de partículas sólidas finas en un líquido, tal como la hidrogenación catalítica de un líquido, donde las partículas del catalizador sólido y las burbujas de hidrógeno se dispersan en un líquido.
5. Agitación de un fluido para aumentar la transferencia de calor entre dicho fluido y un serpentín o una camisa en las paredes del recipiente. (J.Geankoplis, 1982)

Las operaciones de agitación y mezclado se encuentran presente en prácticamente todas las áreas de la ingeniería de los procesos. Por ejemplo:

- Polímeros
- Productos farmacéuticos

- Cosmética (cremas, pastas, etc.)
- Alimentos
- Pinturas
- Petroquímica
- Productos químicos en general
- Procesamiento de minerales
- Tratamiento y producción de agua potable

Sin embargo, no es una operación a la cual se le dedique mucha atención, aunque muchas veces la calidad del producto dependa de la agitación.

El sistema más común y utilizado en la industria, corresponde a mezclas líquido/líquido, y aquí centraremos nuestra atención. Se han desarrollado procedimientos para diseñar sistemas de agitación para estas mezclas, basados en principios racionales y con un poder predictivo razonable.

Para el resto de las mezclas, el diseño es muy dependiente del caso particular y de la experiencia del Ingeniero de Procesos y de pruebas en planta piloto. (Perry J. H., 1997)

### **7.5.1. TIPOS DE AGITACIÓN: EXTERNA E INTERNA**

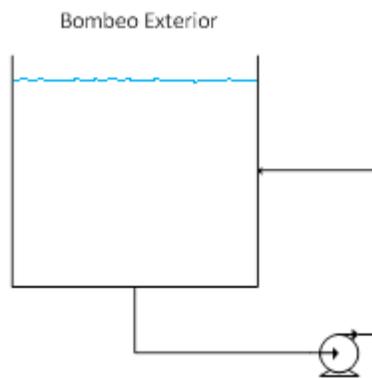
La operación de mezcla necesita energía. En unos casos, para bombear fluido promoviendo la fricción y mezcla; en otros casos, para suspender o distribuir una segunda fase; en otros, por ejemplo, si tenemos dos fases fluidas, se gasta energía para que las fases se rompan y se mezclen. Así al hablar de mezcladores, se debe pensar también en términos económicos: pueden ser de 0,2 kW en el laboratorio, mientras en la industria se tienen agitadores de unos 1-50 kW cuya operación tiene un elevado coste.

Se puede clasificar inicialmente la agitación en fase líquida en:

- 1. Interna.** En particular la agitación mecánica (con un elemento mecánico móvil, la más habitual), agitación neumática, frecuentemente por aire (sistemas aerobios) aunque también es frecuente con biogás (tras recompresión) en

sistemas anaerobios, o por nitrógeno, y un tercer sistema es la agitación moviendo el reactor, como es el caso de la agitación orbital, para Erlenmeyer, muy frecuente a escala de laboratorio.

- 2. Externa.** Se extrae líquido del tanque y se reintroduce aportándole energía para la mezcla mediante bombeo (Figura 10). En su paso por el exterior se le pueden añadir componentes, airear, calentar o enfriar, o pasar por algún tipo de separador.



**Figura 10.** Agitación por bombeo externo

### 7.5.1.1. AGITACIÓN MECÁNICA

Se dispone un elemento móvil dentro del tanque. Una dificultad en la práctica es la necesidad de cierre del eje de giro al exterior, en particular si se agita desde abajo. La agitación magnética evita el uso del cierre utilizándose sobre todo con bajas potencias, y frecuentemente en el laboratorio. (Díaz, 2012)

### 7.5.2. TIPOS DE AGITADORES MECÁNICOS

Algunos de los más frecuentes que se aparecen en la práctica son:

### 7.5.2.1.PARA VISCOSIDADES BAJAS O INTERMEDIAS

Para viscosidades bajas o intermedias (por ejemplo,  $10^{-3}$  Pa · s) se usan sobre todo los agitadores de paletas, turbina y hélice, como se indica en la Figura 11.

- Los agitadores de **hélices** poseen elementos impulsores de hojas cortas, pero que giran a gran velocidad (por ejemplo  $N = 20$  rps = 20 s<sup>-1</sup>). Este tipo de agitador es utilizado para viscosidades bajas ( $< \sim 10^{-1}$  Pa · s), y no son muy efectivas si se colocan sobre ejes verticales ubicados en el centro del depósito de la mezcla, muchas veces se instalan cerca de la parte superior del líquido.

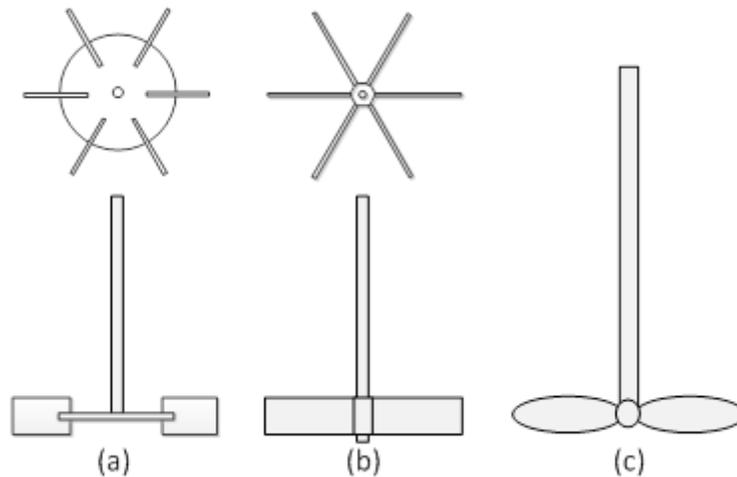
La velocidad de flujo que crean los agitadores de hélices en el depósito de mezcla, presenta tres componentes principales:

- a) Una componente radial que actúa en dirección perpendicular al eje.
- b) Una componente longitudinal que actúa paralelamente al eje.
- c) Una componente rotatoria que actúa en dirección tangencial al círculo de rotación del eje.

Estos componentes, tanto la radial como la longitudinal contribuyen al proceso de mezclado, al contrario de la componente rotatoria que no siempre lo hace.

- Los agitadores de **paletas** pueden tener dos o tres paletas sujetas a un eje rotatorio. Estos agitadores producen una acción de mezcla suave, la cual es la más conveniente para la mezcla de materiales cristalinos frágiles. Generalmente son útiles para operaciones de mezcla simple, como por ejemplo en el caso de mezcla de líquidos miscibles o también en la dilución de productos sólidos. Los agitadores de paletas a velocidades muy bajas producen una agitación suave en un tanque sin cortacorrientes o conocidas como placas deflectoras, las cuales son de mucha importancia para velocidades elevadas.

- Los agitadores de **turbina** son eficaces para un amplio intervalo de viscosidad (por ejemplo, hasta  $10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ), las cuales contienen álabes verticales rectos que generalmente con 6 suele denominarse Rushton. Estos proporcionan inicialmente una velocidad tangencial pudiendo girar a velocidades elevadas. Los álabes pueden ser, no obstante, verticales, curvados o incluso inclinados dando componentes de velocidad axial. En muchas ocasiones se coloca una placa en la que se incorporan completamente los álabes conformándose los agitadores de disco con aletas o álabes, rectos o curvos. En las proximidades del rodete se encuentran zonas de corrientes rápidas, con una alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales que se encuentran en estas agitaciones son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtice y torbellinos en la agitación, la cual se evita por medio de las placas deflectoras contribuyendo a dispersar los componentes de la mezcla. Los agitadores de turbinas suelen colocarse en el centro del líquido o más hacia abajo, alrededor de un  $1/3$ .



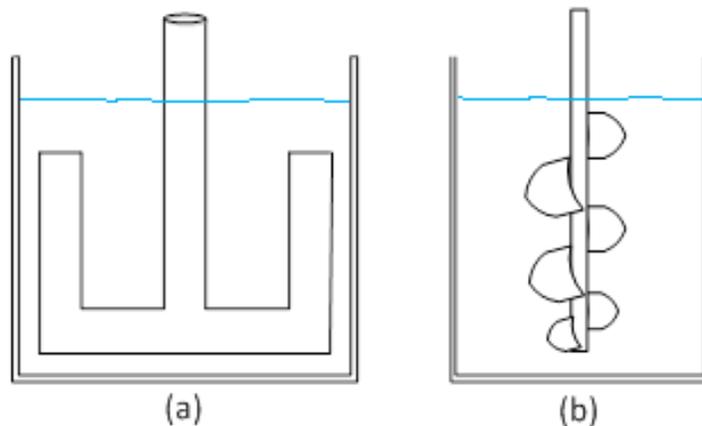
**Figura 11.** Agitadores usuales para líquidos de viscosidad baja hasta media: (a) turbina (b) paletas (c) hélice

### 7.5.2.2.PARA VISCOSIDADES ALTAS

Para viscosidades altas, se utilizan agitadores que tengan elementos móviles cerca de todos los elementos de fluidos. Incluso se pueden aprovechar para que tengan refrigeración interna y contribuir al enfriamiento(o calentamiento). Se suelen distinguir:

- **De ancla.** Con elementos próximos a la superficie del tanque (si el fluido es muy viscoso, casi pegados a la pared). Tienen una alta superficie para aportar movimiento a los distintos elementos de fluido, sin el bombeo característico de los sistemas de baja viscosidad. Suelen trabajar con bajar velocidades, por lo que generan poca capacidad de rotura, por ejemplo de burbujas.
- **De tornillo.** Con uno o varios elementos para mover el fluido, y al tiempo mezclarlo. Se usan principalmente para pastas, mantequillas.

En algunos sistemas de agitación avanzados sobre todo para pastas, se buscan movimientos caóticos, para mejorar la mezcla de forma análoga a las ideas utilizadas en mezcla de sólidos. (Díaz, 2012)



**Figura 12.** Agitadores usuales para fluidos de alta viscosidad. (a) Ancla y (b) Tornillo

### 7.5.3. FORMAS DE FLUJO

Las formas de flujo que se producen en un tanque agitado, depende de muchos factores como:

- Tipo de rodete.
- Características del fluido.
- Tamaño y proporciones del tanque.
- Placas deflectoras.
- Agitador.

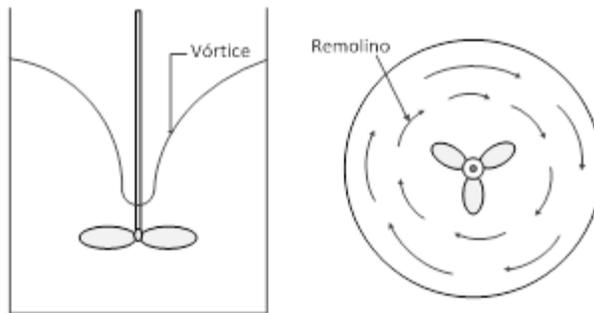
La velocidad que adquiere el fluido en un punto del tanque tiene tres componentes y el tipo de flujo global en el mismo, depende de las variaciones que ocurra en estas tres componentes de la velocidad, de un punto a otro. La primera componente de velocidad es radial y esta actúa en dirección perpendicular al eje del rodete. La segunda componente es la longitudinal y actúa en dirección paralela al eje y por último la tercera componente es la tangencial o la rotacional, y esta actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita respectivamente por el rodete.

En el caso de corriente de un eje vertical, las componentes radial y tangencial están en un plano horizontal, mientras que la componente longitudinal está en el plano vertical.

Las componentes radial y longitudinal son muy útiles porque estas dan lugar al flujo necesario para que en el tanque se produzca la mezcla. Cuando el eje es vertical y se dispone en el centro del tanque, la componente tangencial de velocidad es prácticamente perjudicial para la mezcla, ya que generalmente el flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje creando vórtice respectivamente en la superficie del líquido, que debido a la circulación en flujo laminar da lugar a una estratificación permanente en los diferentes niveles del líquido de sustancias sin mezclarse, sin que se de flujo longitudinal de un nivel a otro. Si se encuentran presentes partículas sólidas, por acción de las fuerzas centrífugas las corrientes circulatorias que se producen tienden a lanzar estas partículas sólidas contra la pared del tanque, donde caen acumulándose en la parte

central del fondo del tanque, por lo que en vez de mezcla se produce la acción contraria en esta operación.

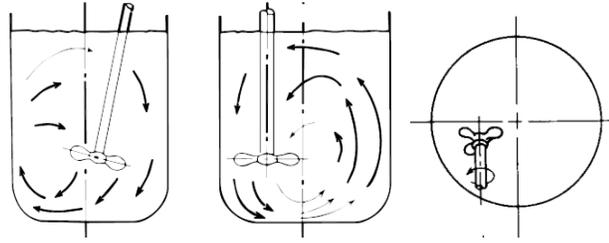
En una agitación sin placas deflectoras o cortacorrientes, el flujo circulatorio es inducido por todos los tipos de rodete, tanto si el flujo es radial como axial. Si en la agitación los remolinos son intensos, el tipo de flujo es sencillamente el mismo dentro del tanque, independientemente del diseño del rodete. Cuando se llega a obtener velocidades elevadas, la profundidad del vórtice es tan grande que puede llegar esencialmente al rodete mismo, provocando que en la mezcla se introduzca aire (Figura 13), lo cual no es deseable por lo que normalmente debe evitarse esta interferencia en el proceso de mezcla.



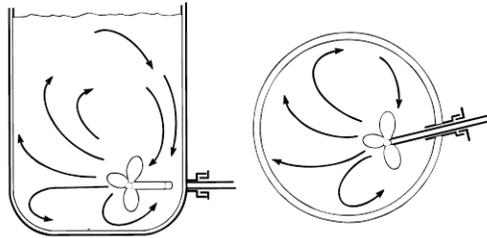
**Figura 13.** Formación de vórtice y tipo de flujo en un tanque agitado. (Según Lyons.)

#### 7.5.4. PREVENCIÓN DE FLUJO CIRCULATORIO

El flujo circulatorio y los remolinos pueden evitarse por uno de los tres métodos siguientes. En tanques de pequeño tamaño se dispone el rodete separado del centro del tanque, según indica la Figura 14. El eje se mueve así alejado de la línea que pasa por el centro del tanque, inclinándose después según un plano perpendicular a la dirección del movimiento. En los tanques de mayor tamaño, el agitador puede montarse en la parte lateral del tanque, con el eje en un plano horizontal, pero formando un cierto ángulo con el radio, según se indica en la Figura 15.



**Figura 14.** Agitador no centrado. (Según Bissell et al.)

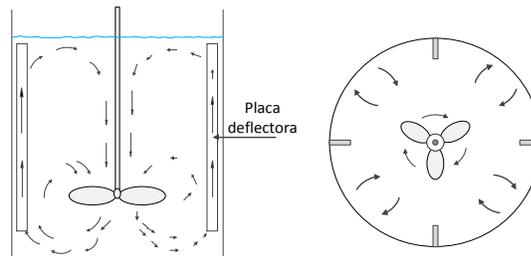


**Figura 15.** Rodete con entrada lateral. (Según Bissell et al.)

En los tanques de gran tamaño, con agitadores verticales, el método más conveniente de reducir los remolinos es instalar placas deflectoras, que impiden el flujo rotacional sin afectar al flujo radial y longitudinal. Un método sencillo y eficaz de destruir los remolinos, se consigue instalando placas verticales perpendiculares a la pared del tanque. En la Figura 16 se representan placas deflectoras de este tipo, y el tipo de flujo a que dan lugar. Excepto en tanques muy grandes, son suficientes cuatro placas deflectoras, para evitar los remolinos y la formación de vórtice. Para agitadores de turbina, la anchura de la placa deflectora no es preciso que sea mayor de la doceava parte del diámetro del tanque; para agitadores de hélice, basta con un octavo. Cuando el rodete entra al tanque lateralmente, está inclinado, o desplazado del centro, no son necesarias placas deflectoras.

Una vez que el flujo circulatorio ha cesado, el modelo específico de flujo en el tanque depende del tipo de rodete. Los agitadores de hélice generalmente dirigen el líquido hacia el fondo del tanque, donde la corriente se esparce radialmente en todas las direcciones hacia la pared, asciende a lo largo de la pared y retorna desde la parte superior hasta el punto de succión del rodete. Este modelo de flujo se representa en la Figura 16. Se utilizan agitadores de hélice cuando se desean fuertes corrientes verticales,

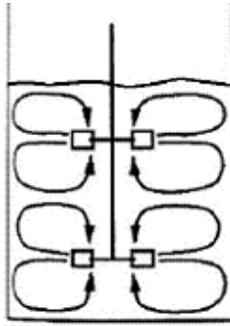
por ejemplo, cuando han de mantenerse partículas sólidas en suspensión. No se utilizan ordinariamente cuando la viscosidad del líquido es superior a aproximadamente 50 P. Con el fin de obtener un fuerte flujo axial para la suspensión de sólidos también se utilizan turbinas con una inclinación de las placas de 45°.



**Figura 16.** Modelo de flujo en un tanque con placas deflectoras y un agitador de hélice instalado centralmente.

Los agitadores de palas y las turbinas de placas planas producen un buen flujo radial en el plano del rodete, dividiendo el flujo hacia la pared para formar dos modelos distintos de circulación, tal como se muestra en la Figura 13. Una parte fluye hacia abajo a lo largo de la pared y retorna hacia el centro del rodete desde el fondo, mientras que otra asciende hacia la superficie y retorna al rodete desde la parte superior. En un tanque sin placas deflectoras hay un fuerte flujo tangencial así como formación de vórtices para moderadas velocidades de giro del agitador. Cuando se instalan placas deflectoras, aumenta el flujo vertical y se produce una mezcla más rápida del líquido.

En un tanque cilíndrico vertical la profundidad del líquido deberá ser igual, o algo mayor, que el diámetro del tanque. Si se desea una mayor profundidad de líquido se pueden instalar dos o más rodetes sobre el mismo eje, actuando cada rodete como un mezclador separado. Para cada rodete se generan dos corrientes de circulación, tal como se muestra en la Figura 17. El rodete inferior, bien de tipo turbina o de hélice, se instala a aproximadamente un diámetro del rodete por encima del fondo del tanque. (McCabe, Smith, & Harriott, 1991)



**Figura 17.** Turbinas múltiples en todo el tanque.

Los agitadores sin cortacorrientes no se consideran adecuados porque en la mezcla tienden a producir inconvenientes como:

- a) Producir un movimiento de rotación pura.
- b) Producir un torbellino por debajo del agitador, la cual acabaría penetrando aire por el eje del agitador y previamente reduciendo su descarga.

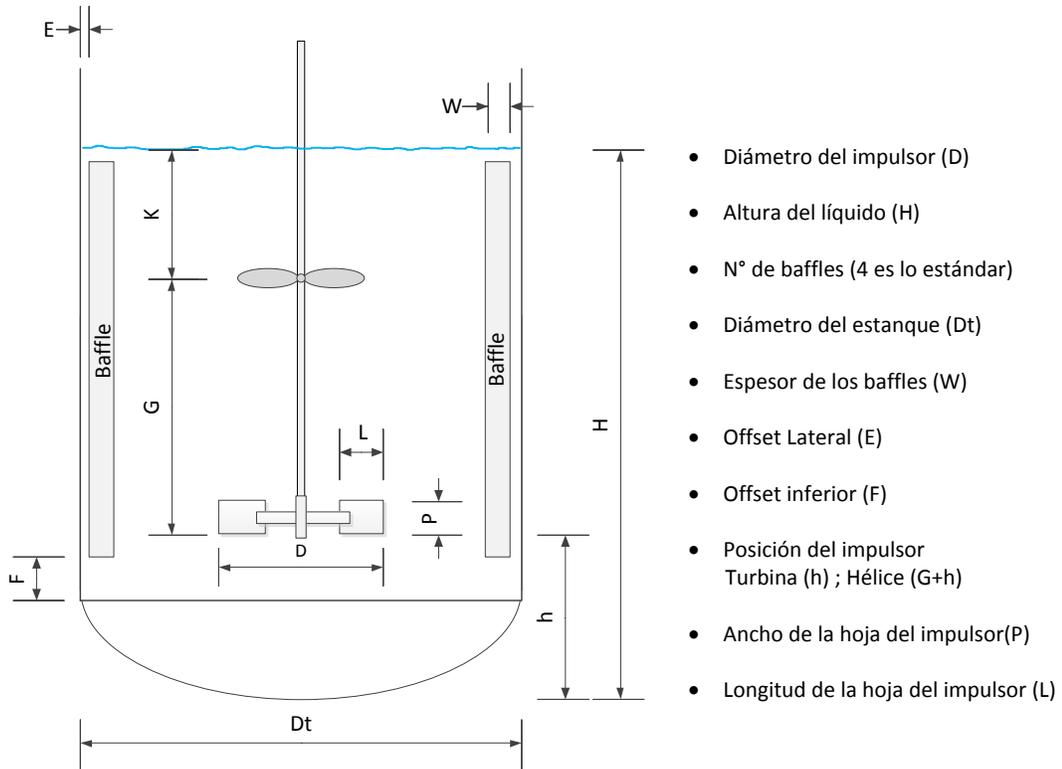
Además, con fluidos viscosos, al aumentar la velocidad el vórtice se profundiza en el centro, y no siempre esto es deseable.

Cuando se mezcla líquidos, estos deflectores van directamente unidos a la pared del depósito, pero si hay sólidos en suspensión o bien cuando se requiere transferencia de calor con las paredes, los deflectores se ubican a cierta distancia con la pared del estanque.

### **7.5.5. GEOMETRÍAS**

Hay todo tipo de geometrías diferentes. No obstante, es frecuente trabajar con geometrías estándar, sobre todo para utilizar el mismo sistema empleado por otros experimentadores, y poder usar sus correlaciones y experiencia. El tanque cilíndrico, de igual altura que diámetro, con un agitador centrado de tipo turbina, es el considerado más frecuentemente como estándar (Figura 18).

Es así frecuente considerar los valores:  $H = D_T$ ;  $D \approx \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) D_T$ ;  $h \approx \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) H$ . Si  $H = D_T$ , el volumen de un cilindro  $\left(V = \frac{\pi D_T^2 H}{4}\right)$  será  $V = \frac{\pi D_T^3}{4}$ . Hay por supuesto muchas variaciones. Por ejemplo en el tratamiento biológico de aguas, las turbinas suelen colocarse a poca profundidad, para generar remolinos y espumas que introducen aire sin utilizar burbujeadores y que aumentan la transferencia de materia. (Díaz, 2012)



**Figura 18.** Estanque de agitación con dimensiones típicas

$$\frac{H}{D_t} = 1$$

$$D = \frac{D_t}{3}$$

$$W = \frac{D_t}{12}$$

$$P = \frac{D}{5}$$

$$L = \frac{D}{4}$$

$$h = \frac{H}{6}$$

$$G = \frac{H}{2}$$

$$K = \frac{H}{3}$$

$$F = \frac{D}{2}$$

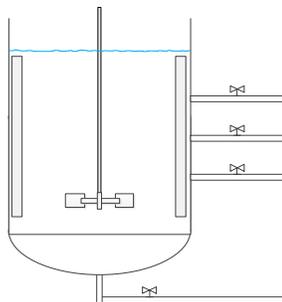
$$E = \frac{W}{6}$$

## El estanque

Generalmente en el estanque el fondo tiene forma de plato, ya que de esta manera el consumo de energía en la agitación es menor, además de que se evita el tener “espacios muertos”.

La relación óptima con lo que respecta a la altura del líquido y el diámetro del estanque ( $H/D_t$ ) para el caso de un impulsor es 1, donde el impulsor se ubica en el centro del estanque. En los casos que se obtengan una relación de  $(H/D_t) > 1$ , se producirán zonas muertas.

**Otras modificaciones:** existen muchos tipos variaciones en el estanque, usándose nuevas formas de agitación sin la geometría denominada estándar, usualmente en tanques pequeños se coloca el rodete en una parte no central al estanque, mientras que en tanques de grandes volúmenes suele montárselo en forma lateral, con el eje en un plano horizontal, pero ubicado en la dirección del radio. Se suele también incorporar en el sistema de agitación elementos para la adición o toma de muestras (Figura 19).



**Figura 19.** Elementos adicionales para la toma de muestra

### 7.5.6. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DE AGITACIÓN

Cuando se necesita determinar la potencia que requiere un agitador para poder moverse a una velocidad específica, es conveniente que se dispongan de correlaciones empíricas de la potencia ( $N_p$ ) que estarán en función de otras variables del sistema.

Para esto es importante conocer algunas medidas del estanque y del agitador como son:

- Profundidad del líquido.
- Distancia del rodete al fondo del estanque.
- Dimensiones de placas deflectoras (número y disposición de estas).
- Número de palas de rodete.
- Propiedades del fluido.

Todas estas características se convierten en relaciones adimensionales, llamados factores de forma, las cuales se determinan dividiendo cada uno de los términos por uno de ellos que se tome como base en el cálculo, como por ejemplo la viscosidad.

#### **7.5.6.1. VALORES HABITUALES USADOS DE POTENCIA DE AGITACIÓN**

En los tanques industriales se aplica, en la práctica, menos energía por unidad de volumen P/V que en los tanques de laboratorio, muchas veces debido a los altos costes que representaría mantener esta relación P/V. Esto también implica que los procesos biológicos en esos tanques, no se comportaran igual en la industria que en el laboratorio.

Es interesante por tanto tener una idea aproximada de los valores habituales de P/V (potencia por unidad de volumen) en la práctica para sistema de agitación de volúmenes diferentes.

De forma aproximada, en los sistemas de laboratorio se trabaja P/V de alrededor de 50-100 (kW/m<sup>3</sup>), mientras que en plantas piloto (del orden de 1 m<sup>3</sup>) pasa a ser alrededor de 1 kW/m<sup>3</sup>. En plantas muy grandes, en particular de tratamiento de aguas con volúmenes de decenas de miles de m<sup>3</sup>, se trabaja alrededor de 0,02 kW/m<sup>3</sup> (= 20 W/m<sup>3</sup>). (Díaz, 2012)

#### **7.5.6.2. NÚMERO DE REYNOLDS DE MEZCLADO**

El número de Reynolds representa una medida de la magnitud relativa de los esfuerzos inerciales con respecto a los esfuerzos viscosos. Si los esfuerzos inerciales dominan

respecto los esfuerzos viscosos se dice que el flujo no puede ser laminar. La pérdida de laminaridad se la denomina simplemente turbulencia.

$$Re = \frac{D^2 N \rho}{\mu}$$

### **7.5.6.3. NÚMERO DE FROUDE**

Es la relación entre la fuerza de inercia de mezclado y la fuerza de gravedad, definido como: El número de Froude es importante en situaciones donde existe la formación de vórtice en la superficie del líquido y puede ser despreciado generalmente cuando el número de Reynolds es menor a aproximadamente 300. Para números de Reynolds más altos, los efectos del número de Froude son eliminados con el uso de deflectores o de agitación excéntrica.

$$Fr = \frac{DN^2}{g}$$

### **7.5.6.4. NÚMERO DE POTENCIA**

El número de potencia es un número adimensional que da una idea de la cantidad total de potencia necesaria para el funcionamiento del agitador.

La presión característica en un sistema de agitación es la concentración de energía cinética que proporciona el impulsor, definida como:

$$p' = \rho v^2 \propto \rho N^2 D^2$$

La relación entre la caída de presión alrededor de un aspa o paleta y la presión característica, define el Número de Potencia, importante en la caracterización de la agitación y la determinación de los requerimientos de potencia, el cual representa la relación entre la fuerza suministrada al sistema y la fuerza de inercia. (Valderrama, 2012)

$$N_p = \frac{(p - p_o)}{p'} = \frac{P}{N^3 D^5 \rho}$$

### 7.5.6.5. CÁLCULO DE POTENCIA: USO DE GRÁFICOS

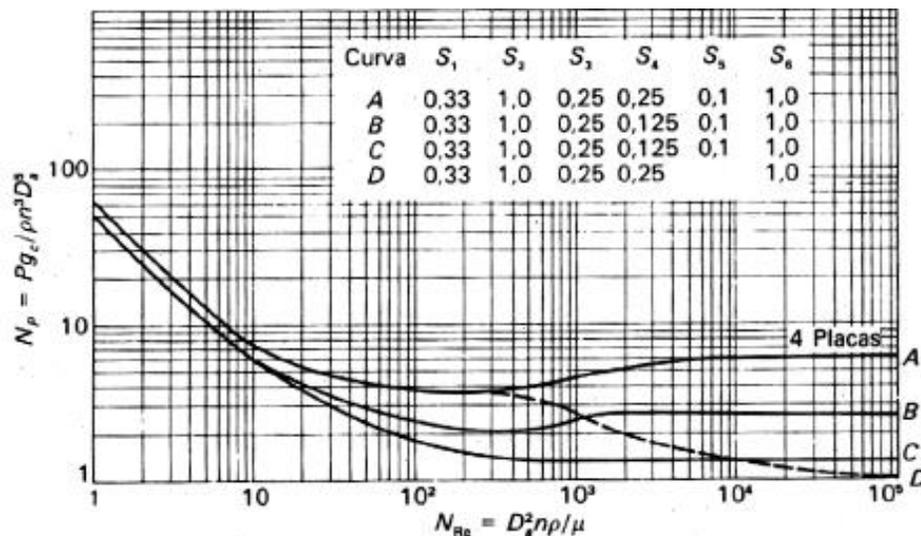
Potencia para estanques con placas deflectoras. En la Figura 20 se representan curvas típicas para  $N_p$  vs  $Re$  en el caso de estanques con placas deflectoras, equipadas con turbinas de 6 placas planas localizadas centralmente.

Las letras  $S_i$  corresponden a los factores de forma. En términos de las dimensiones del reactor y agitador:

$$S_1 = D/D_t \quad S_2 = h/D \quad S_3 = L/D$$

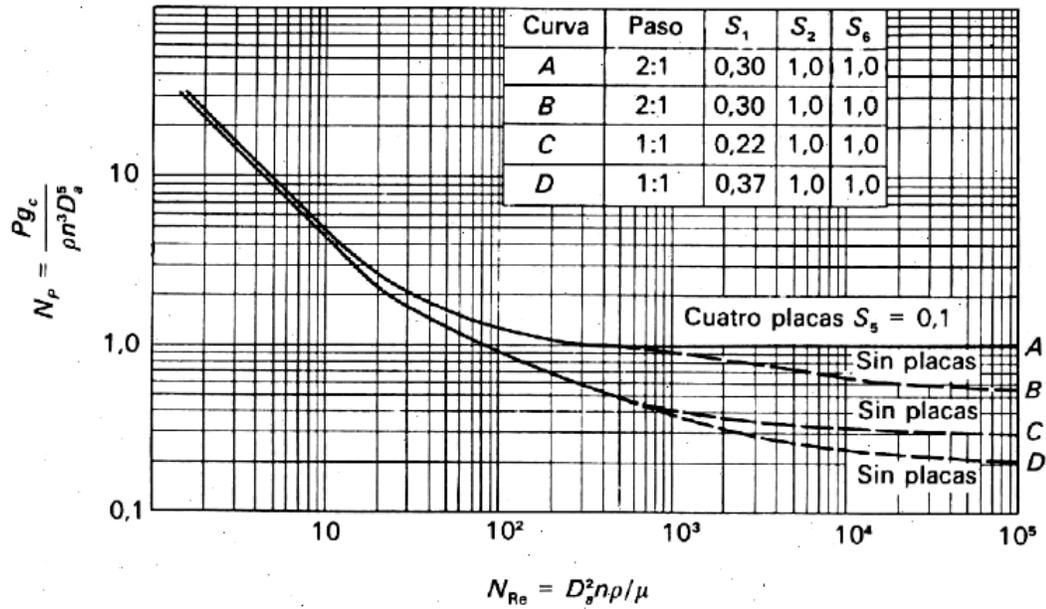
$$S_4 = P/D \quad S_5 = W/D_t \quad S_6 = H/D_t$$

La curva A corresponde a palas verticales con  $S_4 = 0.25$ ; la curva B es para un rodete similar pero con palas más estrechas ( $S_4 = 0.125$ ). La curva C es para una turbina de palas y muy similar a la curva B. La curva D es para un estanque sin placas deflectoras.



**Figura 20.** Número de potencia  $N_p$  versus  $Re$  para turbinas de seis palas. (Según Bates et al.; Rushton et al.<sup>32</sup>.) Para la porción de trazos de la curva D, el valor de  $N_p$  que se obtiene de la figura hay que multiplicarlo por  $N_{Fr}^m$ .

La curva A de la Figura 21 corresponde a un rodete de pres palas instalado centralmente en un estanque con placas deflectoras. Las hélices y las turbinas con placas deflectoras presentan un consumo de potencia considerablemente menor que una turbina con placas verticales.



**Figura 21.** Número de potencia  $N_p$  versus  $Re$  para rodetes de tres palas. (Según Rushton et al.<sup>32</sup>.) Para las porciones de trazos de las curvas B, C y D, el valor de  $N_p$  que se obtiene en la figura hay que multiplicarlo por  $N_{Fr}^m$ .

Para bajos números de  $Re$  ( $< 300$ ), las curvas para estanques con y sin placas deflectoras son idénticas. Sin embargo, las curvas divergen para  $Re$  más elevados (ver Fig. 20, y las curvas B, C y D de Fig. 21). En esta región se forma un vórtice y tiene influencia el número de Froude. La ecuación para  $N_p$  se modifica, de tal forma que:

$$N_p' = N_p \cdot (N_{Fr})^m$$

El exponente de la ecuación anterior, para un conjunto dado de factores de forma, está empíricamente relacionado con el número de  $Re$  por la ecuación:

$$m = (a - \log_{10}(Re)) / b$$

Donde  $a$  y  $b$  son constantes. La siguiente tabla da valores de las constantes  $a$  y  $b$  para las curvas de las figuras 20 y 21. Para utilizar las curvas de línea punteada de las figuras 20 y 21 hay que corregir el número de potencia ( $N_p$ ), leído de la escala de ordenadas, multiplicándolo por  $(N_{Fr})^m$ . (McCabe, Smith, & Harriott, 1991)

**Tabla 3.** Constantes  $a$  y  $b$

<b>Figura</b>	<b>Línea</b>	<b><math>a</math></b>	<b><math>B</math></b>
4.6	D	1,0	40,0
4.7	B	1,7	18,0
4.7	C	0	18,0
4.7	D	2,3	18,0

#### 7.5.6.6. CÁLCULO DE POTENCIA: CASOS LÍMITE

La potencia se va a calcular de distinta manera en función de si existe régimen turbulento o régimen laminar. El tipo de régimen se determinará mediante un número adimensional, el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D^2 N \rho}{\mu}$$

El régimen será turbulento si  $Re > 10000$  y laminar si  $Re < 2000$ . Entre los dos quedaría el régimen de transición.

La potencia del agitador para el régimen turbulento se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = K_T * N^3 * D^5 * \rho$$

Y para un régimen laminar la ecuación queda de la siguiente manera:

$$P = K_L * N^2 * D^3 * \mu$$

donde:

- $K_T$  = constante de agitación
- $K_L$  = constante de agitación laminar
- $N$  = velocidad de rotación en revoluciones por segundo (rps) ( $s^{-1}$ )
- $D$  = diámetro del rodete (m)
- $\rho$  = densidad ( $kg/m^3$ )
- $\mu$  = viscosidad ( $N \cdot s/m^2$ )

En estos casos cuando el flujo en el estanque con o sin placas deflectoras es laminar, la densidad no influye y cuando es régimen turbulento en estanques con placas deflectoras, el número de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad ya no influye en el sistema.

Valores  $K_T$  y  $K_L$  típico quedan representados en la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Valores de las constantes  $K_L$  y  $K_T$  para estanques con cuatro palas deflectoras en la pared, cuyo ancho es igual a la décima parte del diámetro del estanque.

Tipo de rodete †	$K_L$	$K_T$
Hélice, paso cuadrado, tres palas	41,0	0,32
Paso de 2, tres palas	43,5	1,00
Turbina, seis palas planas	71,0	6,30
Seis palas curvas	70,0	4,80
Turbina de ventilador, seis palas	70,0	1,65
Palas planas, dos palas §	36,5	1,70
Turbina cerrada, seis palas curvas	97,2	1,08
Con estator, sin deflectores	172,5	1,12

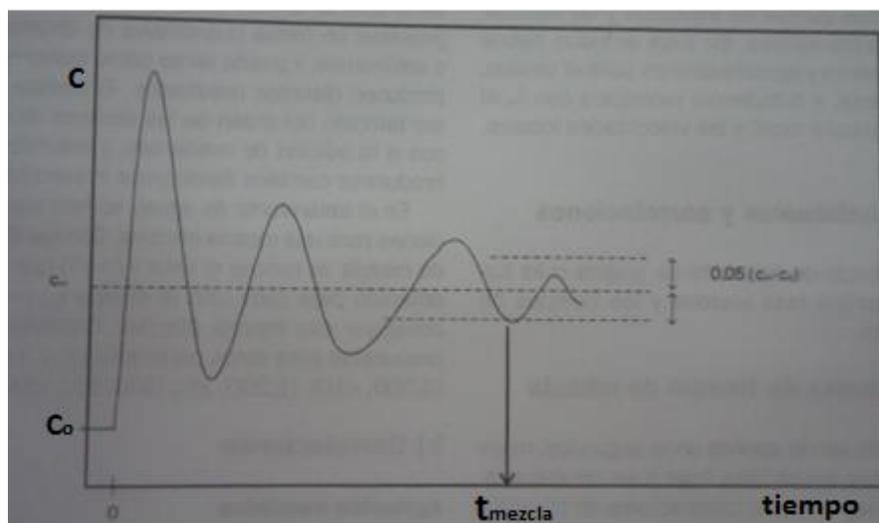
Según J. H. Rushton, Ind. Eng. Chem, 44:2931 (1952)

† Para turbinas  $L/Da = 1/4$ ,  $W/Da = 1/5$ .

§  $W/Da = 1/5$ .

### 7.5.7. TIEMPO DE MEZCLA

Resulta muy importante conocer el valor del tiempo de mezcla en procesos reales, sobre todo en equipos industriales en que suele ser más elevado, debido al valor más bajo de P/V que se utiliza. En unos casos, puede ser que tenga que llegar un nutriente a determinados organismos; en otros, porque si tarda en mezclarse un producto, puede estar afectando a los microorganismos con altas concentraciones (por ejemplo en la adición de ácidos para neutralización).



**Figura 22.** Curvas que pueden obtenerse en experimentos de tiempos de mezcla con estímulos respuesta.

Se define el tiempo de mezcla como el tiempo que tarda un sistema en adquirir una concentración uniforme. Teóricamente el tiempo es infinito, así que se considera el tiempo para obtener un 95 % de uniformidad (en ocasiones se toma el 90 %). Es decir, se toma el tiempo a partir del cual la concentración no se separa del valor final más del 5 %. El método más habitual para su determinación consiste en someter el sistema a un estímulo, introduciendo en un punto dado una cantidad pequeña de producto que se va mezclando con el fluido próximo según las líneas de flujo, y se mide su evolución con el tiempo en otro punto del sistema, por ejemplo por calorimetría (añadiendo un colorante), conductividad (añadiendo una sal, como KCl), potenciometría, pH.

El resultado que se obtiene puede ser como el mostrado en la Figura 22 en sistemas donde hay poca interacción entre los elementos de fluido de diferente velocidad. Es decir, al principio varía de forma rápida, después oscila, y al final se va estabilizando hasta que se alcanza la mezcla. Si hay una alta interacción entre los elementos, la curva puede ser siempre creciente hasta alcanzar el valor final, sin oscilaciones. La determinación del valor de  $t_{mezcla}$ , a partir del cual la curva no sale de la zona de  $C_{\infty} \pm 5\%(C_{\infty} - C_0)$ , presenta más error al haber oscilaciones, que si nos la hay. (Díaz, 2012)

El grado de mezclado en un tanque agitado no es tan solo función de la potencia suministrada. Ha resultado sumamente difícil el definir una escala para expresar el grado de mezclado a un tiempo dado, y la dedición final, de cuando un material se encuentra mezclado está todavía sujeta a la habilidad, experiencia y juicio del operador por ello se ha recurrido al uso de pruebas empíricas como el mejor método para estimar el grado de mezclado obtenido.

## **8. BENEFICIARIOS**

### **8.1.DIRECTOS**

- Escuela de Ingeniería Química.
- Estudiantes.
- Docentes.
- Ejecutantes de la tesis.

### **8.2.INDIRECTOS**

- Docentes de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.
- Comunidad en general.

## 9. METODOLOGÍA

### 9.1.MÉTODOS.

**Deductivo.** Se utilizó este método porque se partió de una idea general, que es la repotenciación de los procesos de separación mecánica del laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.

### 9.2.TÉCNICAS.

**Observación.** Se manejó dicha técnica para verificar las fallas y ausencia que presentan los equipos de separación mecánica, que se detallan a continuación:

#### **Molino de bolas.**

- Caja de encendido y apagado en mal estado.
- Cables del motor deteriorados.
- Tamices.
- Mantenimiento en el equipo.
- Falta de Instructivos.

#### **Unidad de agitación y mezcla.**

- Sistema de encendido y apagado no adecuado.
- Equipo no aterrizado.
- Motor en mal estado (recalentamiento).
- Fuga en las líneas de toma de muestra y evacuación.
- Falta de soportes en el equipo.
- Ausencia de línea de alimentación de agua.
- Mantenimiento en la unidad.
- Falta de Instructivos.

### **9.3.INSTRUMENTOS.**

- Cuaderno de notas
- Cámara fotográfica.
- Computador.
- Internet.

## **10.RECURSOS A UTILIZARSE**

### **10.1. RECURSOS HUMANOS.**

- Directora de tesis.
- Miembros del tribunal.
- Docentes de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.
- Asesores Internos y Externos.
- Ejecutantes de la Tesis.

### **10.2. RECURSOS OPERATIVOS.**

- Internet.
- Libros.
- Cámara fotográfica.
- Computador.
- Revistas.
- Transporte.
- Alimentación.

### **10.3. RECURSOS FINANCIEROS.**

- Compra de materiales \$ 2850.
- Internet \$ 55.
- Transporte \$ 135.
- Alimentación \$ 130.
- Sustentación \$ 120.
- Impresión de la tesis \$ 170.

## 11. REPOTENCIACIÓN DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA.

### 11.1. REPOTENCIACIÓN DE LA UNIDAD DE AGITACIÓN Y MEZCLA.

Se realizaron varios cambios como los que citaremos a continuación:

- Mantenimiento del motor y cambio del cable de alimentación de energía de esta unidad, el cual cuenta con las siguientes especificaciones.

#### ESPECIFICACIONES DEL MOTOR

SIEMENS		
<b>TIPO</b>	1LA7 070-4YA60	
<b>POTENCIA (HP)</b>	0.5	
<b>FS</b>	1.15	
<b>Ln</b>	<b>220 V</b>	1.90 A
	<b>440 V</b>	0.95 A
<b>EFICIENCIA <math>\eta</math> %</b>	63.6	
<b>FACTOR DE POTENCIA (COS. <math>\phi</math>)</b>	0.81	
<b>VELOCIDAD NOMINAL (rpm)</b>	1590	
<b>PESO (Kg)</b>	4.7	

- Cambio de teflón de las tuberías de tomas de muestras y la dirección de estas.
- Colocación de nuevas bases de soportes, para darle una mejor estabilidad a esta unidad.
- Implementación de la línea de entrada de agua al tanque agitador.
- Aterrizado del equipo.
- Mejoramiento de la caja de control, la cual permite un mejor encendido y apagado, controlar la frecuencia y el sentido de agitación (a favor o en contra de las manecillas del reloj), el cual ayudará a obtener una mezcla más homogénea.

- Reemplazo del tornillo de ajuste de los deflectores y el de la hélice al eje del motor.

## 11.2. REPOTENCIACIÓN DEL MOLINO DE BOLAS

Se efectuaron las siguientes mejoras que detallamos a continuación:

- Cambio del cable de alimentación de energía del motor con su respectiva revisión y mantenimiento, este posee las siguientes características.

### ESPECIFICACIONES DEL MOTOR

<b>RELIANCE</b>	
<b>MASTER XL GEARMOTOR</b>	
<b>IDENT. NO.</b>	417465-FW166
<b>SIZE</b>	M48WG12A
<b>S.F. OR CLASS</b>	1.0
<b>H.P.</b>	1/6
<b>OUTPUT R.P.M.</b>	97
<b>RATIO</b>	18
<b>LUB. INST.</b>	E3602

- Se reemplazó la caja de encendido y apagado por una nueva, ya que la anterior se encontraba en mal estado.
- Se implementó dos hojas de tamices al molino, ya que este solo constaba con una sola y estas presentan los siguientes diámetros.
  - Hoja número uno: 0.2795 MESH (existente).
  - Hoja número dos: 0.2362 MESH (implementada).
  - Hoja número tres: 0.1574 MESH (implementada).

### **11.3. DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS.**

Una vez efectuada la repotenciación de los procesos de separación mecánica se procedió a realizar las respectivas prácticas:

#### **11.3.1. SOLUCIÓN AZUCARADA.**

Se realizaron pruebas de laboratorio para cuantificar los valores de azúcar y agua para obtener una concentración deseada.

#### **11.3.2. CORRIDA DE LA PRÁCTICA.**

- Prepare 40 litros de solución de azúcar de mesa al 5% y con una densidad de 1.019 g/ml.
- Verificar que todas las llaves de paso estén cerradas.
- Encender el brecker que se encuentra en la caja del regulador de velocidad.
- Llenar el nivel de agua determinado en los respectivos cálculos (38.722 litros).
- Prender del selector (ON) que se encuentra en el parte posterior de la caja de control.
- Agregar el azúcar de meza a mezclar, de forma progresiva para obtener una mejor mezcla (2038 g).
- Tomar la muestra y medir la concentración (5 grados BRIX), mediante un refractómetro.

#### **11.3.3. MOLIENDA**

#### **11.3.4. PRIMERA PRÁCTICA.**

Se procedió a pesar un tipo de grano (5 kg de maíz).

Se carga el molino de bolas y echa a andar, se espera un tiempo determinado (5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos), pero los resultados no fueron los esperados, la muestra sale igual que como ingreso al inicio, esto debido a la baja eficiencia en el motor y la falta de un triturador previo a la molienda.

### **11.3.5. SEGUNDA PRÁCTICA.**

Se realizó la prueba con un producto con una estructura más fácil de romper como sal en grano.

Se pesó la sal en grano (1 kg).

Se realiza una nueva corrida en el molino de bolas con los mismos tiempo anteriores (5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos) y en el producto esta vez seleccionado se pueden apreciar ligeros cambios (cambios mínimos), porque en este caso se utilizó una materia con una estructura mas fácil de romper, pero que presenta un porcentaje de humedad, el cual tiende a formar una especie de pasta y posteriormente a pegarse en las bolas y las paredes del molino durante el proceso, evitando la molienda de la misma.

### **11.3.6. CÁLCULOS DE LAS PRÁCTICAS**

#### **Preparación de 40 litros de una solución azucarada al 5 %**

##### **Cálculos**

##### **Datos**

- Solución = 40 litros → 40000 ml
- Concentración = 5 %
- $\rho_{sol} = 1.019 \text{ g/ml}$
- $\rho_w = 1 \text{ g/ml}$

### Masa de la Solución

$$\rho_{\text{sol}} = \frac{m_{\text{sol}}}{V_{\text{sol}}}$$

$$m_{\text{sol}} = \rho_{\text{sol}} * V_{\text{sol}}$$

$$m_{\text{sol}} = \left(1,019 \frac{\text{g}}{\text{ml}}\right) * (40000 \text{ ml})$$

$$m_{\text{sol}} = 40760 \text{ g}$$

### Balance de Masa

Componente	%	Xi	m (g)	V (litros)
Agua	95	0.95	38722	38.722
Azúcar	5	0.05	2038	-----
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1.00</b>	<b>40760</b>	

### Masa de Azúcar

$$m_a = X_a * m_{\text{sol}}$$

$$m_a = 0.05 * 40760 \text{ g.}$$

$$m_a = 2038 \text{ g.}$$

### Masa de Agua

$$m_w = X_w * m_{\text{sol}}$$

$$m_w = 0.95 * 40760 \text{ g.}$$

$$m_w = 38722 \text{ g.}$$

### Volumen de Agua

$$V_w = \frac{m_w}{\rho_w}$$

$$V_w = \frac{38722 \text{ g}}{1 \text{ g/ml}} = 38722 \text{ ml} * \frac{1 \text{ litro}}{1000 \text{ ml}} = 38.722 \text{ litros}$$

### **Simbología**

$\rho_{\text{sol}}$  = Densidad de la Solución

$\rho_w$  = Densidad del Agua

$m$  = masa

$m_{\text{sol}}$  = Masa de la Solución

$m_w$  = Masa del Agua

$m_a$  = Masa del Azúcar

$V$  = Volumen

$V_{\text{sol}}$  = Volumen de la Solución

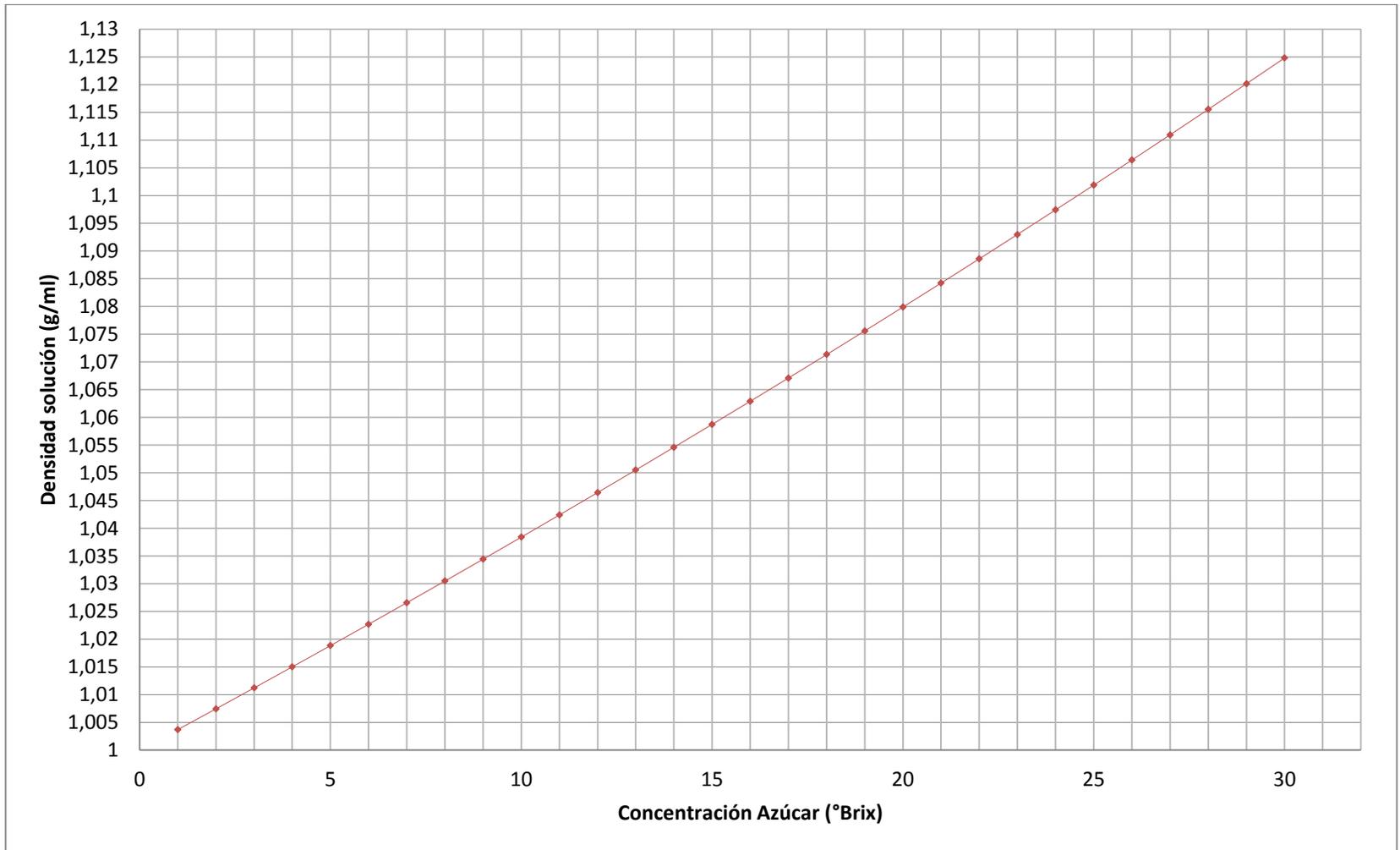
$V_w$  = Volumen de Agua

$X_i$  = Fracción Másica

$X_w$  = Fracción Másica del Agua

$X_a$  = Fracción Másica del Azúcar

### DIAGRAMA DE CONCENTRACIÓN Y DENSIDAD DE SOLUCIÓN AZUCARADA A 25 °C.



**Fuente:** Autores de la Tesis

### 11.3.7. ÍNDICE DE COSTOS

El siguiente índice de costos corresponde a una de las prácticas realizadas una vez culminada la repotenciación de los equipos de separación mecánica del laboratorio de operaciones unitarias.

#### UNIDAD DE AGITACIÓN Y MEZCLA

**Costos de Agua.-** El nivel de agua con el que se llevó a cabo la práctica en la unidad de agitación y mezcla es de 38.7 litros, teniendo en cuenta que el metro cubico de agua en el Ecuador está a \$ 0.60, entonces por la cantidad de agua utilizada se tiene un costo de:

$$38.7 \text{ litros} * \frac{\$ 0.60}{1000 \text{ litros}} = \$ 0.02$$

**Costos de Materia Prima.-** Para la práctica realizada se utilizó 2.04 Kilogramos de azúcar blanca, el cual tiene un precio de un dólar (\$) el Kilogramo, este valor multiplicado por la cantidad de azúcar utilizada da un precio total de \$2.04.

**Costos de Energía Eléctrica.-** Este factor se lo determinó teniendo en cuenta la potencia que desarrolla el motor eléctrico que es 0.5 HP, el cual se lo estableció dentro de las especificaciones del motor, el tiempo que este permanece en operación durante la práctica realizada que es de 25 minutos (0.417 h) y por el costo del kilowatts – hora en el Ecuador que es \$ 0.11/Kw-h.

#### Conversión de la Potencia

$$P = 0.5 \text{ HP} * \frac{746 \text{ Watts}}{1 \text{ HP}} * \frac{1 \text{ Kilowatts}}{1000 \text{ watts}} = 0.373 \text{ Kilowatts}$$

#### Costo de operación del motor

$$\$_{motor} = 0.373 \text{ Kw} * 0.417 \text{ h} * \frac{\$ 0.11}{1 \text{ Kw} - \text{h}}$$

$$\$_{motor} = 0.017 \approx 0.02$$

### Costo total de la práctica

$$\text{\$ Práctica} = \text{\$ Insumos} + \text{\$ Materia Prima}$$

$$\text{\$ Práctica} = \text{\$ 0.02} + \text{\$ 0.02} + \text{\$ 2.04}$$

$$\text{\$ Práctica} = \text{\$ 2.08}$$

El costo total de la práctica realizada tiene un valor de \$ 2.08, para obtener una solución azucarada al 5% durante un tiempo de 25 minutos (0.417 h), utilizando 2.04 kilogramos de azúcar y 38.7 litros de agua.

### MOLINO DE BOLAS

**Costos de Materia Prima.-** Para la práctica realizada se utilizó 5 Kilogramos de maíz, el cual tiene un precio de \$ 0.35 el Kilogramo, este valor multiplicado por la cantidad de maíz utilizada da un precio total de \$ 1.75.

**Costos de Energía Eléctrica.-** Este factor se lo determinó teniendo en cuenta la potencia que desarrolla el motor eléctrico que es 1/6 HP, el cual se lo determinó dentro de las especificaciones del motor, el tiempo que este permanece en operación durante la práctica realizada que es de 30 minutos (0.5 h) y por el costo del kilowatts – hora en el Ecuador que es \$ 0.11/Kw-h.

### Conversión de la Potencia

$$P = 1/6 \text{ HP} * \frac{746 \text{ Watts}}{1 \text{ HP}} * \frac{1 \text{ Kilowatts}}{1000 \text{ watts}} = 0.124 \text{ Kilowatts}$$

### Costo de operación del motor

$$\text{\$}_{\text{motor}} = 0.124 \text{ Kw} * 0.5 \text{ h} * \frac{\text{\$ 0.11}}{1 \text{ Kw} - \text{h}}$$

$$\text{\$}_{\text{motor}} = \text{\$ 0.0068} \approx \text{\$ 0.01}$$

### **Costo total de la práctica**

$$\text{\$ Práctica} = \text{\$ Materia Prima} + \text{\$ Energía}$$

$$\text{\$ Práctica} = \text{\$ 1.75} + \text{\$ 0.01}$$

$$\text{\$ Práctica} = \text{\$ 1.76}$$

El costo total de la práctica realizada tiene un valor de \$ 1.76 durante un tiempo de 30 minutos (0.5 h) y utilizando 5 kilogramos de maíz.

## **12. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

Al finalizar el presente trabajo, se ha contribuido de manera positiva al Laboratorio de Operaciones Unitarias, para mejor aprovechamiento de los conocimientos teóricos prácticos de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química.

La unidad de agitación y mezcla se encuentra operativa y lista para que se realicen los ensayos por parte de los estudiantes y docentes según los resultados obtenidos en las prácticas realizadas.

En el molino de bolas, se pudo obtener como resultados que el equipo no está apto para su operación por los motivos que detallaremos a continuación;

- ✓ Baja eficiencia en el motor.
- ✓ Falta de un triturador previo a la molienda (en el molino de bolas).
- ✓ Carencia de tamices vibratorios post-molienda, para poder realizar los análisis granulométricos.

Según el análisis de costo de insumos (electricidad y agua) obtenido en base a las prácticas realizadas, demuestra que los equipos son factibles económicamente para desarrollar ensayos en el Laboratorio.

### 13.CONCLUSIONES.

- ✓ Se realizó el diagnóstico de los equipos objeto del estudio, en lo cual se evidenció algunas fallas eléctricas y falta de mantenimiento, motivados por esta problemática se ejecutó el presente trabajo de repotenciación de los equipos de separación mecánica del Laboratorio de Operaciones Unitarias.
  
- ✓ Se implementaron dos hojas de tamices al molino de bolas, ya que este constaba con una sola hoja de tamiz, las cuales poseen las siguientes dimensiones:  
Hoja número uno: 0.2795 MESH (existente).  
Hoja número dos: 0.2362 MESH (implementada).  
Hoja número tres: 0.1574 MESH (implementada).
  
- ✓ Los ensayos realizados arrojaron lo siguiente:

La unidad de agitación y mezcla opera favorablemente, de tal manera que se pudieron realizar las prácticas de forma correcta, obteniendo los resultados esperados.

El molino de bolas se encuentra a la presente operativa, pero en las prácticas no se obtuvieron los resultados esperados, ya que el mismo carece de una operación antes y post molienda, lo cual se debe a falta de presupuesto.

- ✓ Se elaboró los diagramas y manuales de operación los cuales son indispensables para el manejo de las operaciones unitarias, por lo que permiten operar de forma correcta los equipos, evitando daños en estos y accidentes en los operadores.

## **14.RECOMENDACIONES.**

- ✓ El laboratorio debe de contar con personal calificado que conozca del funcionamiento de los equipos para un correcto desarrollo de las prácticas y el debido mantenimiento que estos necesiten.
  
- ✓ Es de vital importancia la implementación de unos tamices vibratorios que ayuden a la selección y clasificación de partículas previamente molidas, ya que los tamices antes implementados son estáticos.
  
- ✓ Para conservar la eficiencia de la unidad de agitación y mezcla se debe darle un buen uso y mantenimiento, y para complementar la molienda es necesario implementar un equipo de trituración (antes de pasar por el molino de bolas), el cual ayudará a reducir el tamaño del producto a procesar y de los tamices antes mencionados (post-molienda), que permitan realizar el respectivo análisis granulométrico.
  
- ✓ Revisar la guía y el manual de operación en cada práctica para que estas lleguen a un buen fin, los cuales deben de ser actualizados de acuerdo a los cambios que se realicen en los equipos.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

Brown, E. G. (1965). Ingeniería Química. Barcelona: Marín.

Brown, G. G. (1965). Operaciones básicas de la Ingeniería Química. Barcelona: Marín, S. A.

Díaz, M. (2012). Ingeniería de Bioprocesos. Madrid: Paraninfo.

H.Perry, J. (1966). Manual Del Ingeniero Químico. España: McGraw-Hill.

J.Geankoplis, C. (1982). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. México: CIA. EDITORIAL CONTINENTAL, S. A. DE C. V.

McCabe, S. H. (1985). Unit Operations of Chemical Engineering. Nueva York: McGrawHill.

McCabe, S., & Harriott. (2007). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. México: McGrawHill.

McCabe, Smith, & Harriott. (1991). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. España: McGrawHill.

Perry, & DonW.Green. (2001). Manual del Ingeniero Químico. Madrid: McGrawHill.

Perry, J. (1992). Manual del Ingeniero Químico. Mexico: McGRAW-HILL.

Perry, J. H. (1997). Chemical Engineers Handbook. Madrid: McGraw-Hill.

Vian, & Ocón. (1952). Elementos de Ingeniería Química. Madrid: AGUILAR.

## Fuentes

- ✓ <http://taninos.tripod.com/mallas.htm>
- ✓ <http://www.monografias.com/trabajos37/molino-de-bolas/molino-de-bolas.shtml>
- ✓ <http://www.ecured.cu/index.php/Molienda>
- ✓ <http://procesosbio.wikispaces.com/page/diff/Tamizado?v1=352724108&v2=352724150>
- ✓ <http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/5118/1/IQ2010-0003-0005.pdf>
- ✓ [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4770/ARRIETA\\_GUSTAVO\\_OPTIMIZACION\\_SIMULACION\\_AGITADOR.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4770/ARRIETA_GUSTAVO_OPTIMIZACION_SIMULACION_AGITADOR.pdf?sequence=1)

## 16. ANEXOS

### PRESUPUESTO

#### TEMA DE TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO:

“Repotenciación de los procesos de separación mecánica del laboratorio de operaciones unitarias”

**ENTIDAD:** UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

**POSTULANTES:** Cedeño Bermúdez Daniel Antonio, Pico Quijije Carlos Fabián.

Ítem	Descripción	Precio Total
1	Compra de materiales	\$ 2850.00
2	Internet	\$ 55.00
3	Transporte	\$ 135.00
4	Alimentación	\$ 130.00
5	Sustentación	\$ 120.00
6	Impresión de Tesis	\$ 170.00
7	Imprevistos	\$ 70.00
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3530.00</b>

Son: Tres mil quinientos treinta dólares.

---

Cedeño Bermúdez Daniel

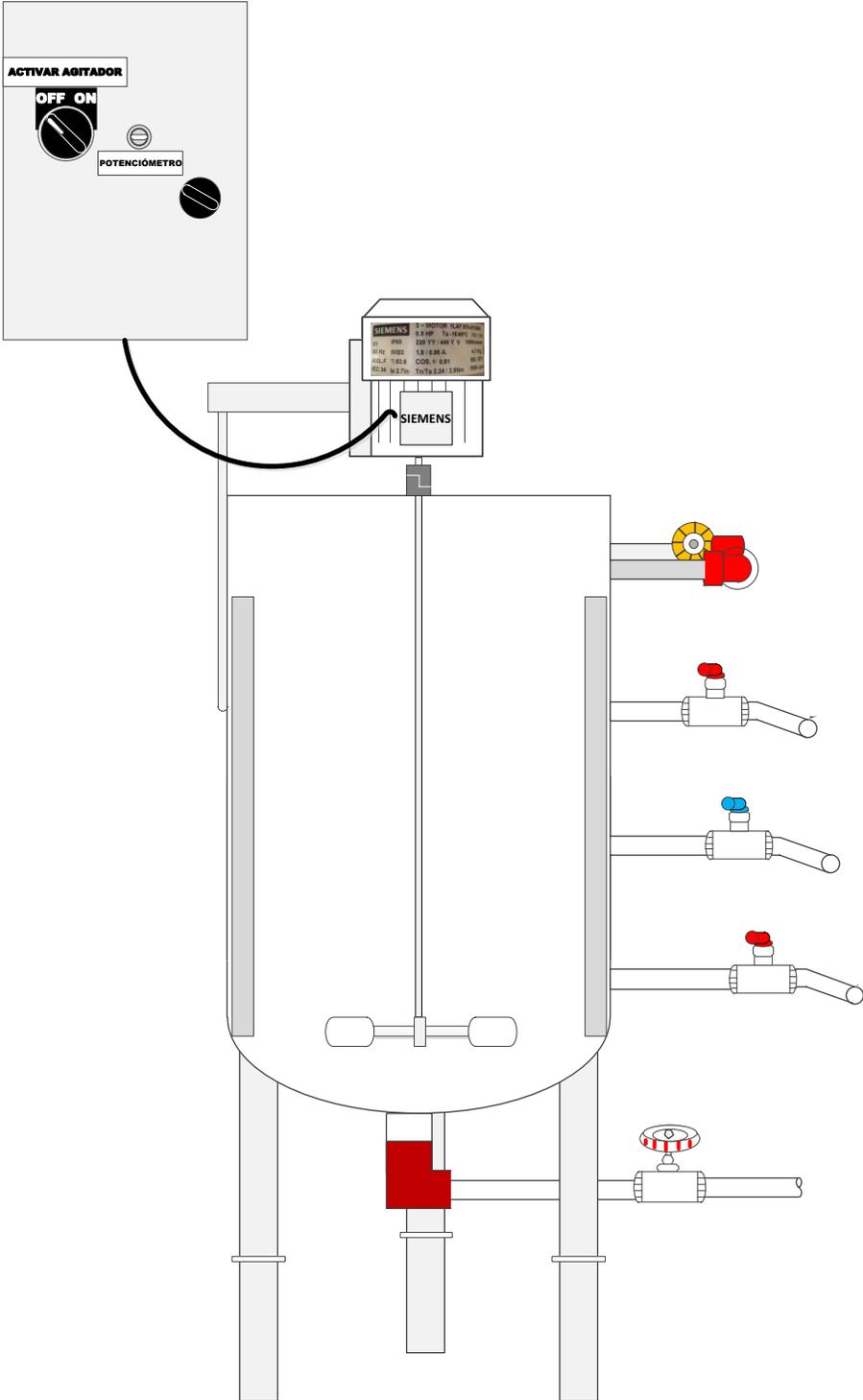
---

Pico Quijije Carlos

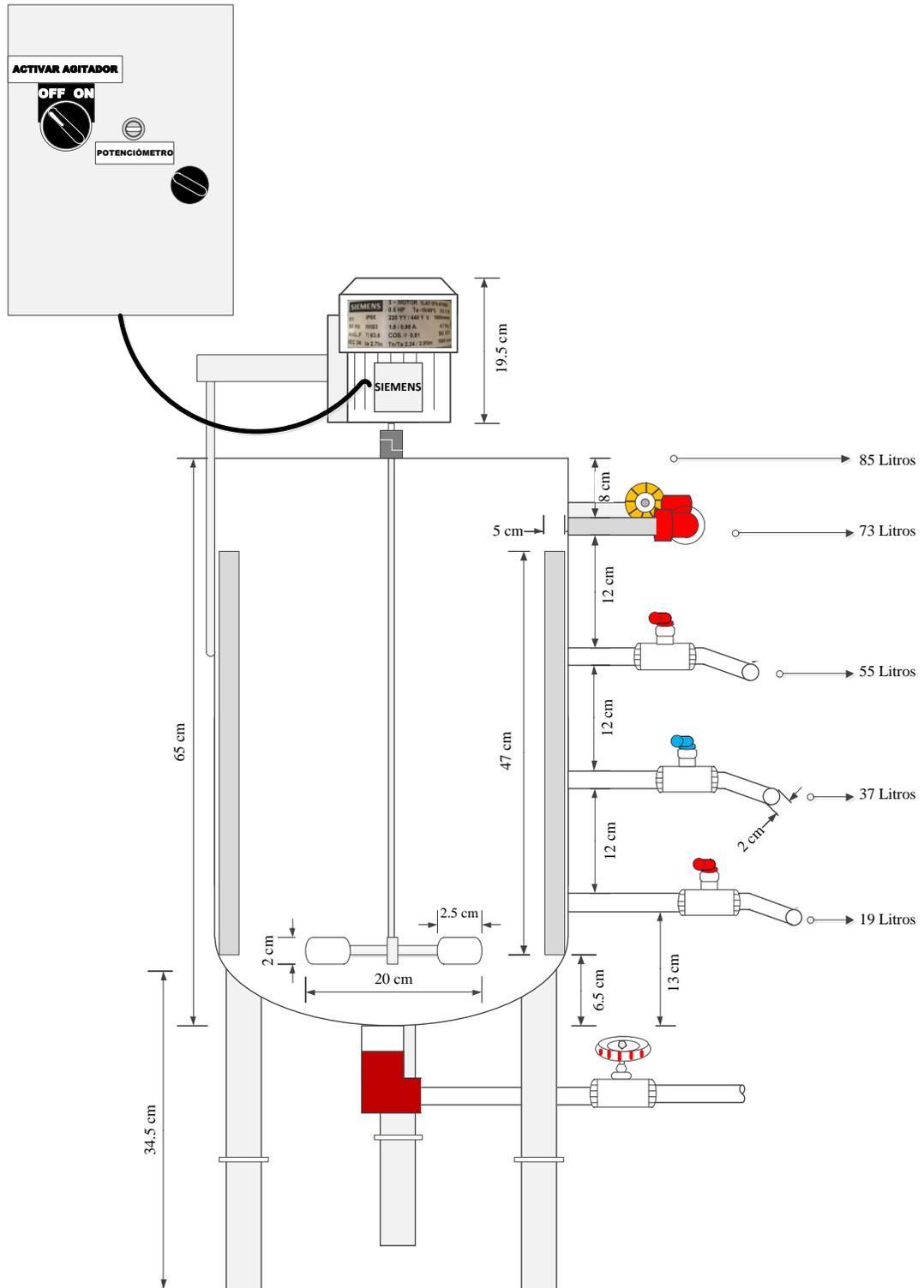
## CRONOGRAMA VALORADO

"REPOTENCIACIÓN DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS."																														
Entidad: Universidad Técnica de Manabí																														
ITEM	ACTIVIDADES	PLAZO EN MESES																												
		Julio del 2014			Agosto del 2014			Septiembre del 2014			Octubre del 2014			Noviembre del 2014			Diciembre del 2014			Enero del 2015										
1	Elaboración de las técnicas de investigación																													
2	Aprobación de las técnicas de investigación																													
3	Presentación del primer avance																													
4	Repotenciación de los procesos de separación mecánica del laboratorio de Operaciones Unitarias																													
5	Diagnóstico y realización de ensayos para demostrar la eficiencia de los equipos																													
6	Elaboración del diagrama y manual de operación para los equipos de procesos de separación																													
7	Presentación segundo avance																													
8	Corrección del trabajo final																													
9	Sustentación de tesis ante el tribunal de evaluación y revisión																													

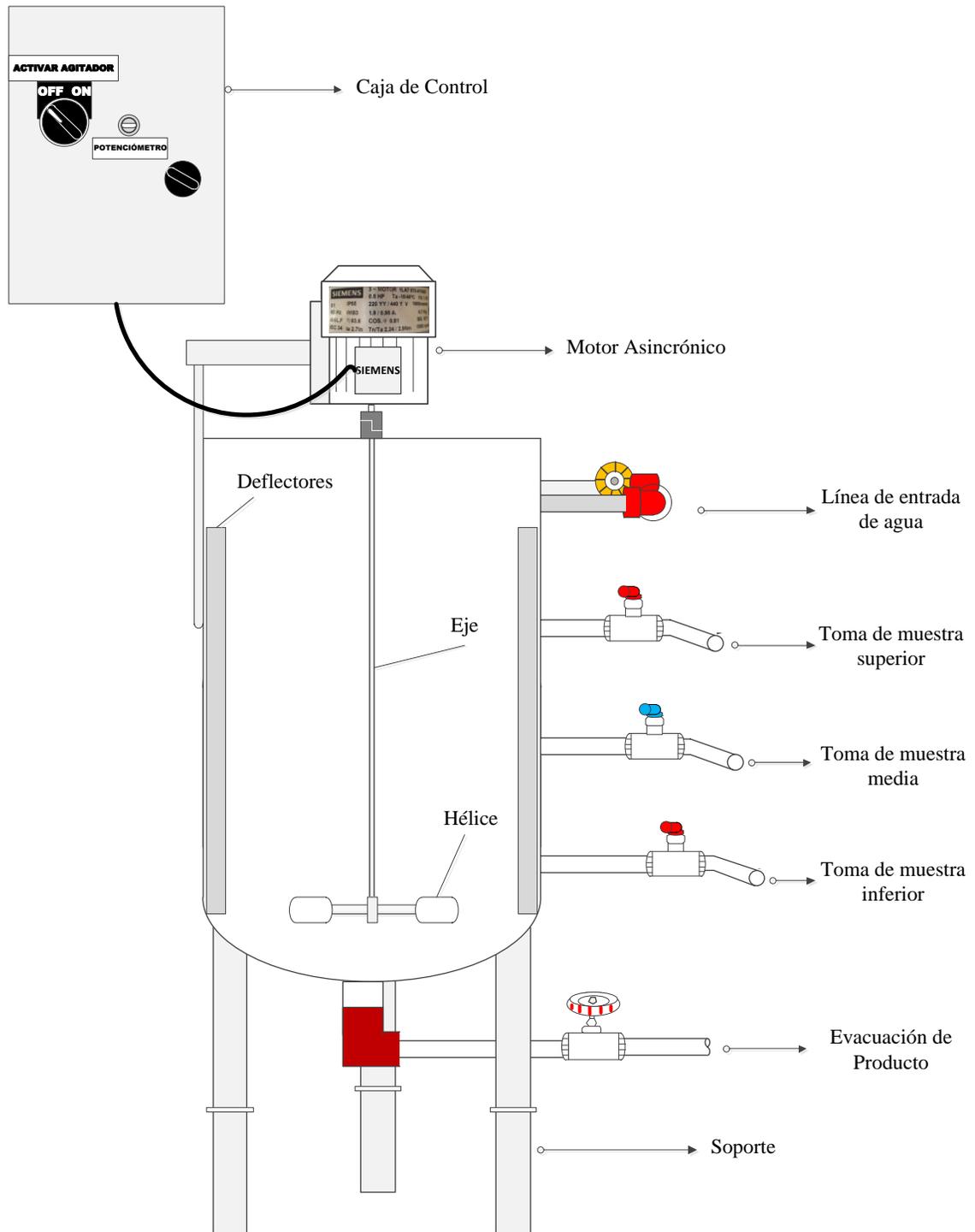
# DIAGRAMA DE LA UNIDAD DE AGITACIÓN Y MEZCLA



## Medidas de la unidad de agitación y mezcla.



## Partes de la unidad de agitación y mezcla.



# INICIO DE LA REPOTENCIACIÓN

## UNIDAD DE AGITACIÓN Y MEZCLA

Antes



Después



### Encendido y Apagado del Motor

Antes



Después



## Base de soporte

Antes (adoquines)



Después



## Tornillo que sujeta la hélice del eje

Antes



Después

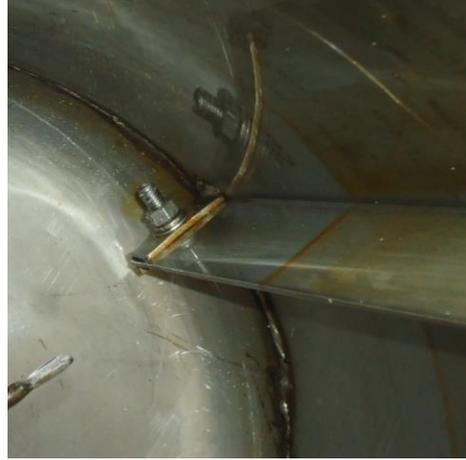


### Tornillo que sujeta los deflectores

Antes



Después



### Vista interior del tanque



Retiro del motor para su revisión



Mantenimiento del motor



Cambio de teflón en las líneas de toma de muestra



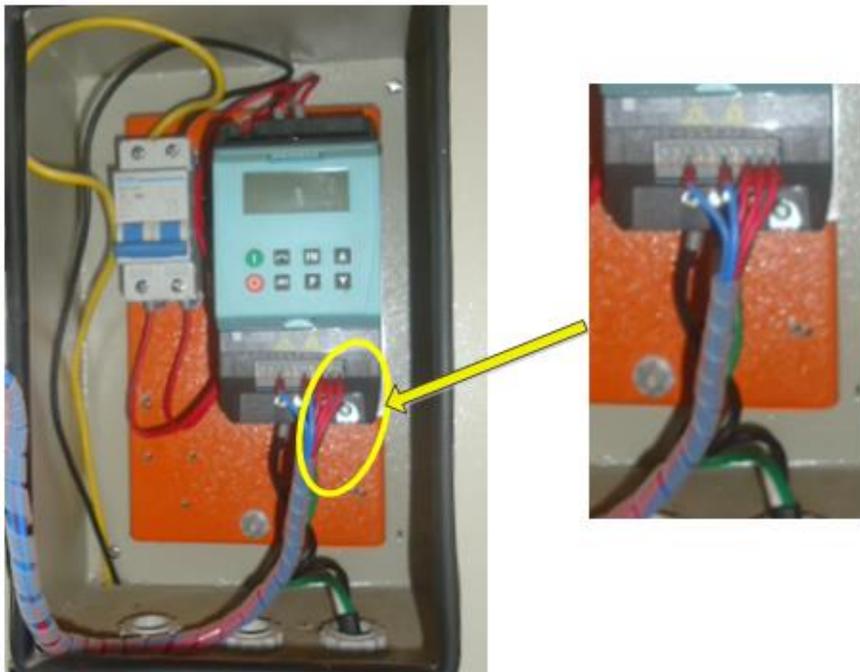
### Cambio de dirección de toma de muestras



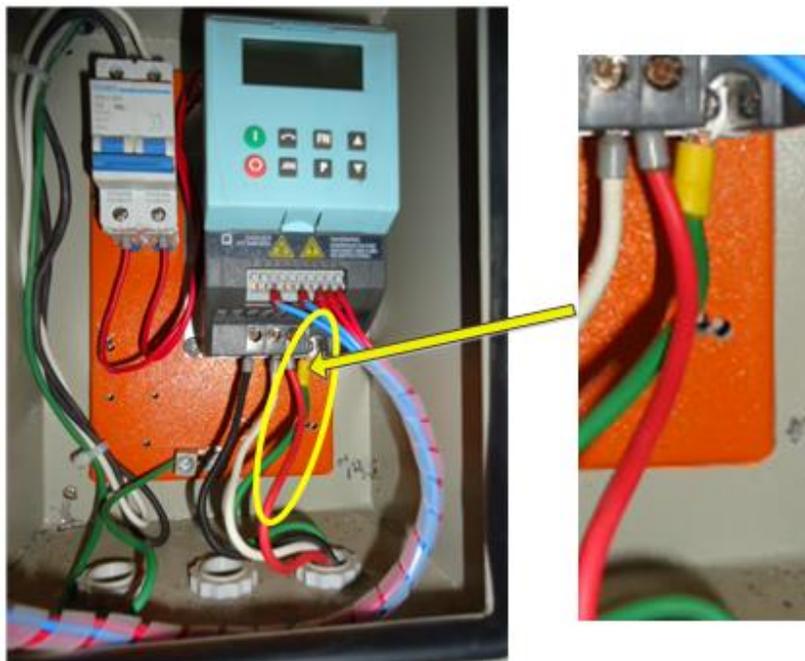
### Implementación de la línea de entrada de agua



Caja de control sin cable de tierra (antes)



Caja de control con cable de tierra (después)



Motor (marca y especificaciones).

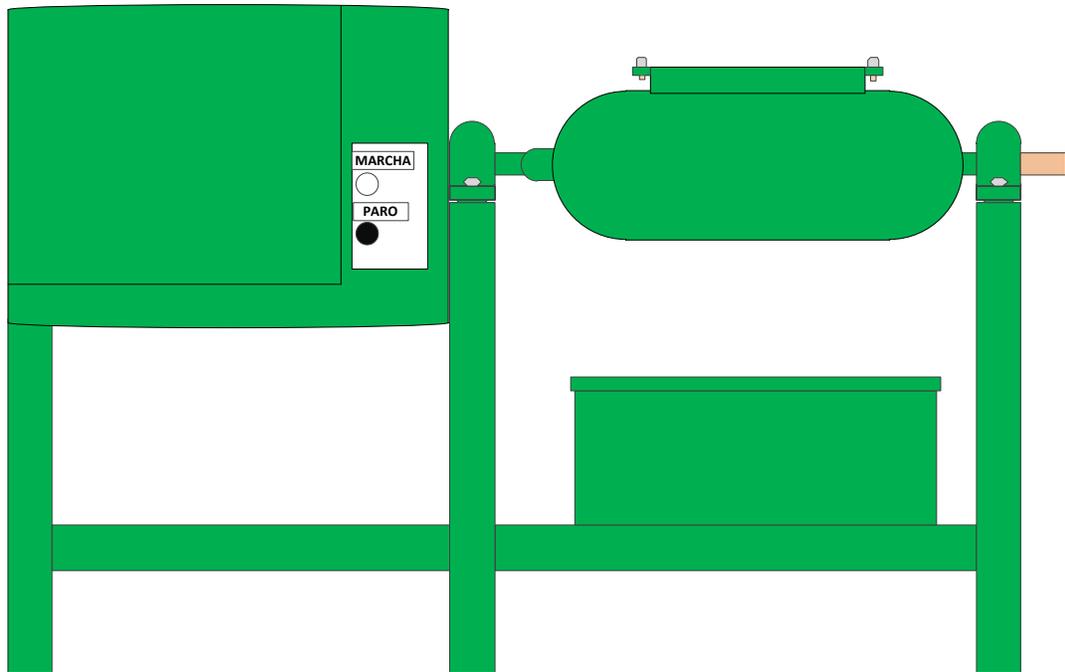


Unidad de agitación y mezcla repotenciada.

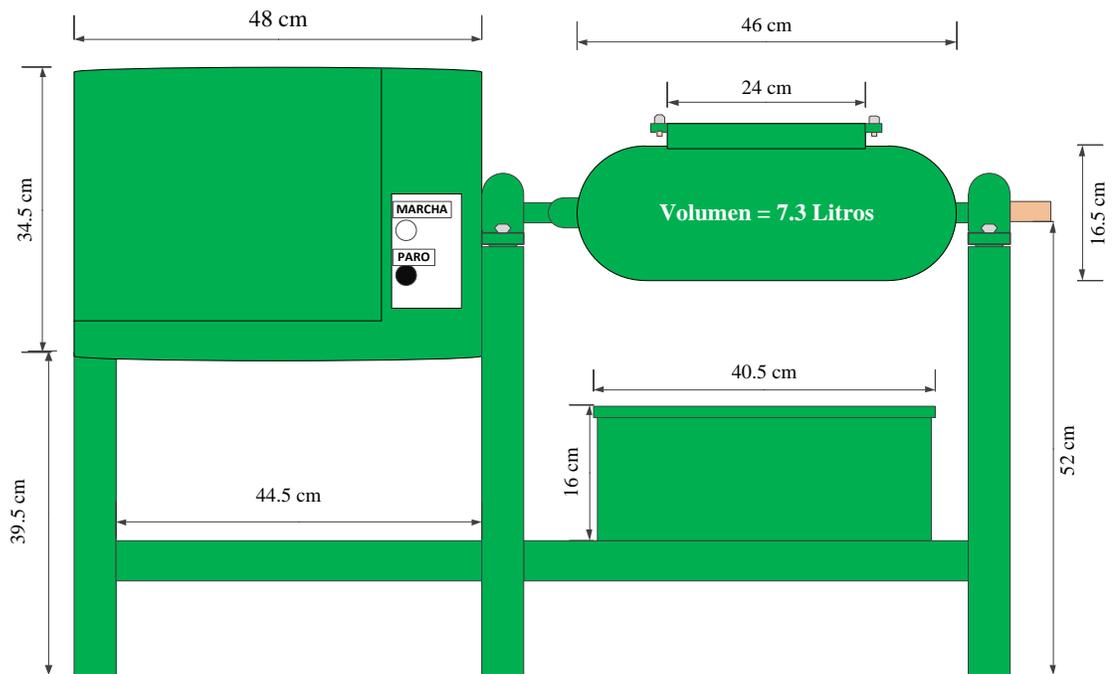


# MOLINO DE BOLAS

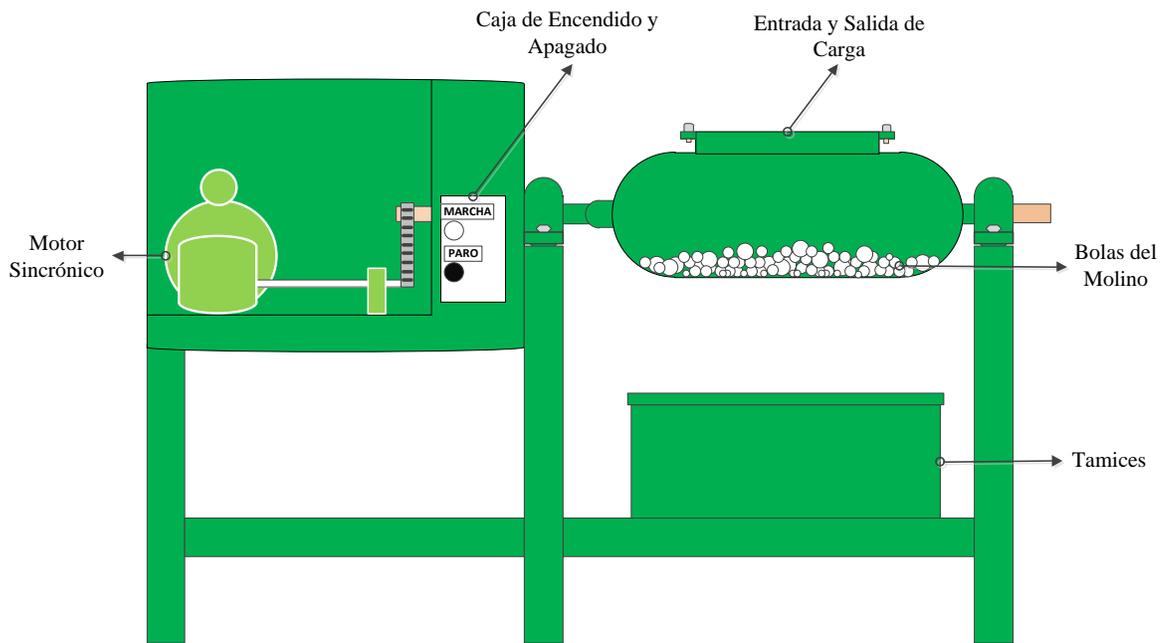
## DIAGRAMA DEL MOLINO DE BOLAS



Medidas.



### Partes.

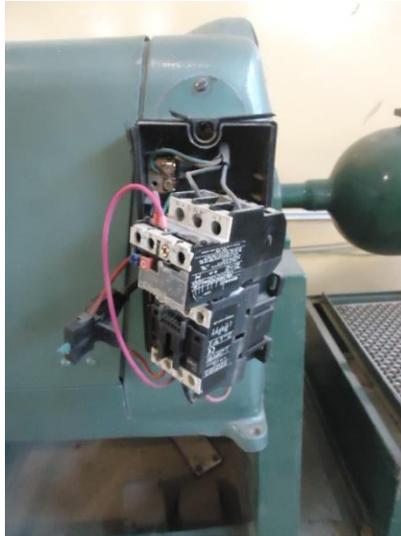


### Repotenciación.



## Caja de encendido y apagado

Antes



Después



Retirada del motor para su revisión



Mantenimiento del motor



Bolas del molino



Único tamiz en el molino



Implementación de los tamices



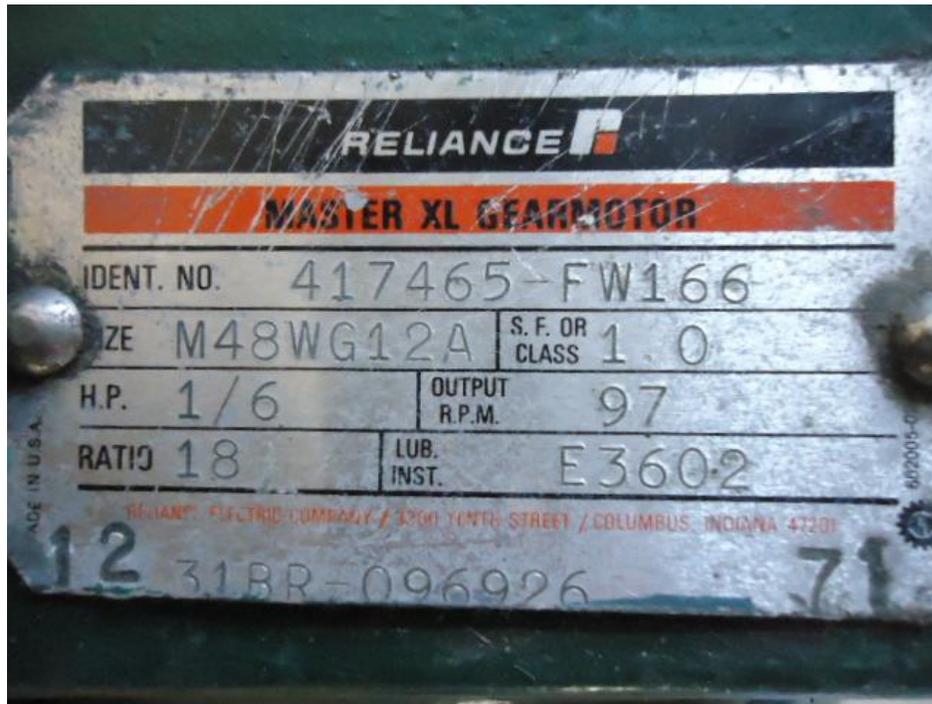
Tamiz (existente)



Tamices (nuevos)



Marca del motor y especificaciones.



Molino de bolas repotenciado.



**Explicación a los estudiantes y autoridades sobre los equipos faltantes para la molienda**



## **PRÁCTICA #1**

**TEMA:** Preparación de una solución en unidades físicas.

**OBJETIVO:** Preparar una solución azucarada con una determinada concentración.

### **MARCO TEÓRICO.**

#### **Soluciones**

Son mezclas homogéneas integradas por dos fases que son el disolvente o solvente en estado líquido y el soluto en cualquier estado, no se precipitan.

De acuerdo a la cantidad de soluto se clasifican en:

- ✓ **Diluidas:** El soluto está en escasa cantidad.
- ✓ **Concentradas:** El soluto está en cantidad apreciable.
- ✓ **Saturadas:** Si el soluto está en cantidad tal que el disolvente no admite más soluto.
- ✓ **Sobresaturadas:** Si el soluto se encuentra en exceso, se disuelve con ayuda del calor, el exceso se precipita.

### **MATERIALES**

- Vaso de precipitación de 250 ml
- Balanza
- Refractómetro

### **EQUIPOS**

- Unidad de Agitación y Mezcla

### **SUSTANCIAS**

- Agua
- Azúcar

### **PROCEDIMIENTO**

- Verificar que todas las llaves de paso estén cerradas.

- Encender el brecker que se encuentra en la caja de control.
- Llenar el nivel de agua determinado en los respectivos cálculos (entre 19 a 70 litros).
- Prender del selector (ON) que se encuentra en el parte posterior de la caja de control.
- Agregar el azúcar de meza a mezclar (máximo 30 % de la solución), de forma progresiva para obtener una mejor mezcla.
- Tomar la muestra y medir la concentración (°Brix), mediante un refractómetro.

## CÁLCULOS

### Datos

Solución	Xi		Solución			m (Kg)		V (lts)	° Brix
	a	w	ρ (Kg/lts)	V (lts)	m (Kg)	a	w	w	
1	0,03	0,97	1,0112						
2	0,05	0,95	1,0188						
3	0,10	0,90	1,0384						
4	0,15	0,85	1,0587						
5	0,20	0,80	1,0798						
6	0,25	0,75	1,1018						
7	0,30	0,70	1,1248						

### Masa de la Solución

$$\rho_{sol} = \frac{m_{sol}}{V_{sol}}$$

$$m_{sol} = \rho_{sol} * V_{sol}$$

$$m_{sol} =$$

$$m_{sol} =$$

### Masa de Azúcar

$$m_a = X_a * m_{sol}$$

$$m_a =$$

$$m_a =$$

### Masa de Agua

$$m_w = X_w * m_{sol}$$

$$m_w =$$

$$m_w =$$

### Volumen de Agua

$$V_w = \frac{m_w}{\rho_w}$$

$$V_w =$$

$$V_w =$$

### Simbología

$\rho_{sol}$  = Densidad de la Solución

$\rho_w$  = Densidad del Agua

$m$  = masa

$m_{sol}$  = Masa de la Solución

$m_w$  = Masa del Agua

$m_a$  = Masa del Azúcar

$V$  = Volumen

$V_{sol}$  = Volumen de la Solución

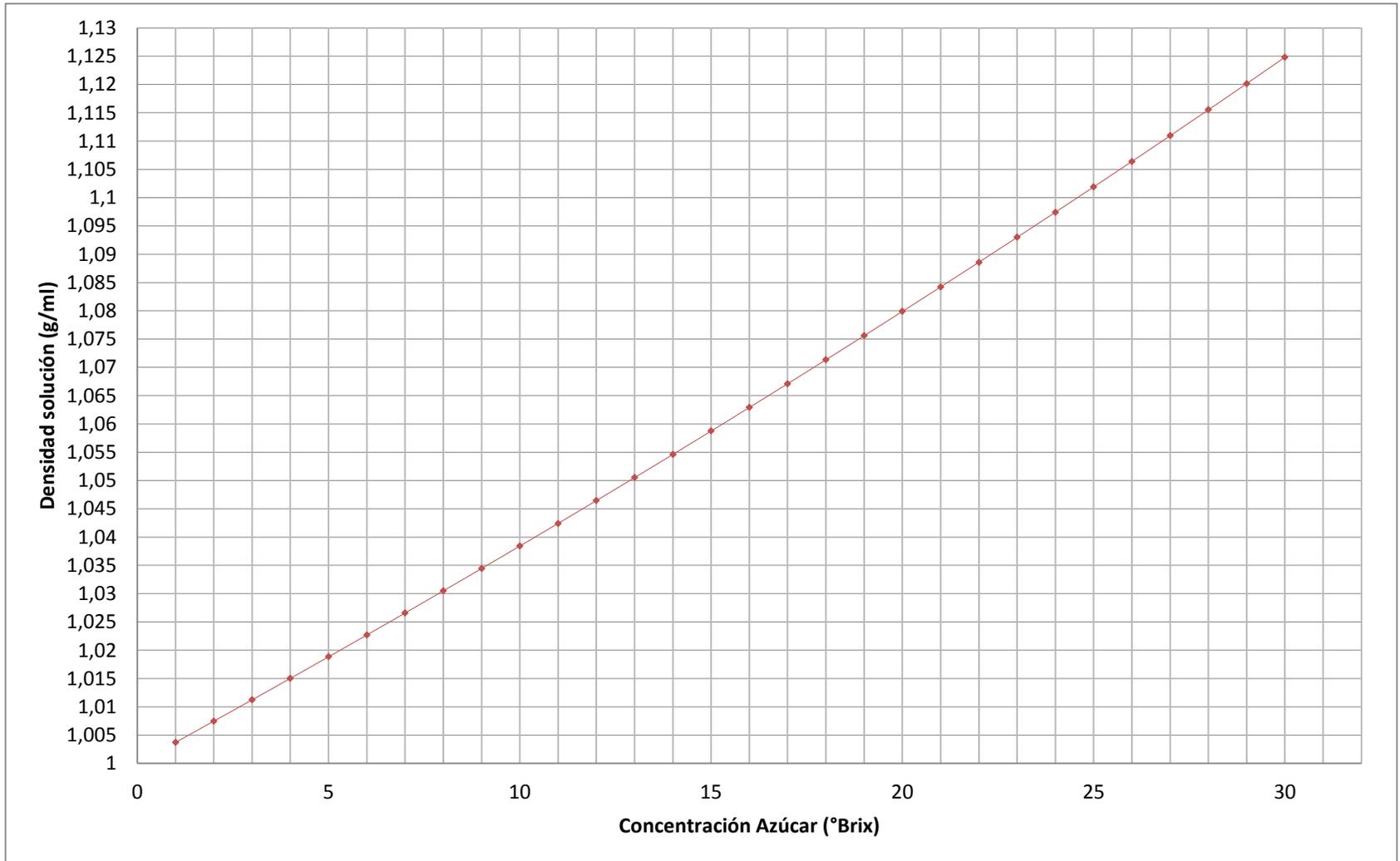
$V_w$  = Volumen de Agua

$X_i$  = Fracción Másica

$X_w$  = Fracción Másica del Agua

$X_a$  = Fracción Másica del Azúcar

### DIAGRAMA DE CONCENTRACIÓN Y DENSIDAD DE SOLUCIÓN AZUCARADA A 25°C



## **PRÁCTICA #2**

**TEMA:** Trituración y Molienda.

**OBJETIVO:** Obtener maíz previamente triturado a un determinado tamaño granular.

### **MARCO TEÓRICO.**

La trituración y molienda es una operación unitaria, se basa en una desintegración de pequeños trozos a partir de los grandes, midiéndose la efectividad de operación mediante la finura del material requerido.

Los objetivos de la trituración y molienda consisten:

- ✓ La reducción de cuerpos sólidos con un determinado tamaño granular del que se desee utilizar.
- ✓ Separación por fractura de compuestos químicos que se hayan íntimamente asociados en estado sólido.

### **MATERIALES**

- Balanza.

### **EQUIPOS**

- Molino de Bolas.

### **MATERIA PRIMA**

- Maíz.

### **PROCEDIMIENTO:**

- Verificar que el molino de bolas este correctamente conectado a la red de energía (110 V).
- Observar que el molino este cargado correctamente de bolas (30% V/V).
- Alimentar de producto previamente triturado (20% V/V), para así obtener los resultados esperados.

- El encendido y apagado se lo realiza desde la caja de control que este presenta en la parte posterior izquierda de dicho molino.
- Este equipo presenta un motor sincrónico (opera a una velocidad constante) por lo que no se puede regular sus rpm.

## DATOS

Materia Prima	Masa (Kg)	MESH
Maíz		

## RESULTADOS

Residuo		Tiempo (min.)	Producto		Eficiencia %
Masa (Kg)	MESH		MESH	Masa (Kg)	
		0			
		5			
		10			
		15			
		20			
		25			
		30			
		35			
		40			
		45			
		50			
		55			
		60			

**Nota:** El MESH representa el número de luces de mallas dentro de una pulgada inglesa, equivalente a 25.4 mm.

### Eficiencia

$$E = \frac{\text{Masa Producto}}{\text{Masa total}} * 100 \%$$

## Prácticas.

### Solución Azucarada (Laboratorio de Operaciones Unitarias)

#### Cálculos



#### Pesado del azúcar



Llenado del agua al tanque de agitación.



Colocación de azúcar



Toma de muestra.



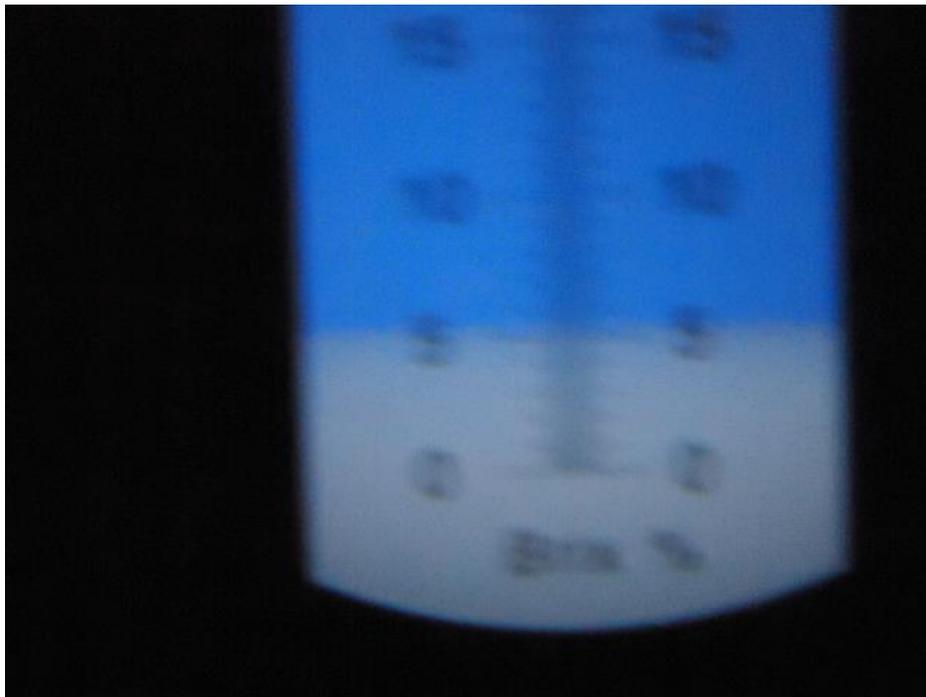
Refractómetro (para medir la concentración °Brix)



Medición de la concentración.



Porcentaje de concentración (5 grados Brix).



## Molienda (maíz).

Llenado de las bolas



Llenado del maíz



Salida del producto (No sufrió ningún cambio).



## MOLIENDA (SAL EN GRANO).

Llenado de las bolas y la sal.



Salida del producto (cambios muy pobres).



# MANUAL DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD DE AGITACIÓN Y MEZCLA

## INTRODUCCIÓN

### AGITACIÓN

La agitación es la operación por la cual se crean movimientos violentos e irregulares en el seno de una materia fluida o que se comporte más o menos perfectamente como tal. Mediante estos movimientos se sitúan las partículas o moléculas de una o más fases de tal modo que se obtenga el fin pretendido en el mínimo de tiempo y con un mínimo de aportación energética. (Vian & Ocón, 1952)

En las industrias químicas de proceso y en otras semejantes, muchas operaciones dependen, en alto grado, de una agitación y mezclado efectivos de los fluidos. Por lo general, la agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. El mezclado implica partir de dos fases individuales, tales como un fluido y un sólido pulverizado o dos fluidos, y lograr que ambas fases se distribuyan entre sí.

Existen varios objetivos en la agitación de fluidos y algunos de ellos son:

1. Mezclado de dos líquidos miscibles, tales como alcohol etílico y agua.
2. Disolución de sólidos en líquidos, tales como sal en agua.
3. Dispersión de un gas en un líquido en forma de burbujas pequeñas, como en el caso del oxígeno del aire en una suspensión de microorganismos para la fermentación, o en el caso del proceso de activación de lodos en el tratamiento de aguas de desperdicio.
4. Suspensión de partículas sólidas finas en un líquido, tal como la hidrogenación catalítica de un líquido, donde las partículas del catalizador sólido y las burbujas de hidrógeno se dispersan en un líquido.
5. Agitación de un fluido para aumentar la transferencia de calor entre dicho fluido y un serpentín o una camisa en las paredes del recipiente. (J.Geankoplis, 1982)

Las operaciones de agitación y mezclado se encuentran presente en prácticamente todas las áreas de la ingeniería de los procesos. Por ejemplo:

- Polímeros
- Productos farmacéuticos
- Cosmética (cremas, pastas, etc.)
- Alimentos
- Pinturas
- Petroquímica
- Productos químicos en general
- Procesamiento de minerales
- Tratamiento y producción de agua potable

Sin embargo, no es una operación a la cual se le dedique mucha atención, aunque muchas veces la calidad del producto dependa de la agitación.

El sistema más común y utilizado en la industria, corresponde a mezclas líquido/líquido, y aquí centraremos nuestra atención. Se han desarrollado procedimientos para diseñar sistemas de agitación para estas mezclas, basados en principios racionales y con un poder predictivo razonable.

Para el resto de las mezclas, el diseño es muy dependiente del caso particular y de la experiencia del Ingeniero de Procesos y de pruebas en planta piloto. (Perry J. H., 1997)

## **NORMAS DE SEGURIDAD EN EL LABORATORIO**

### **Normas generales**

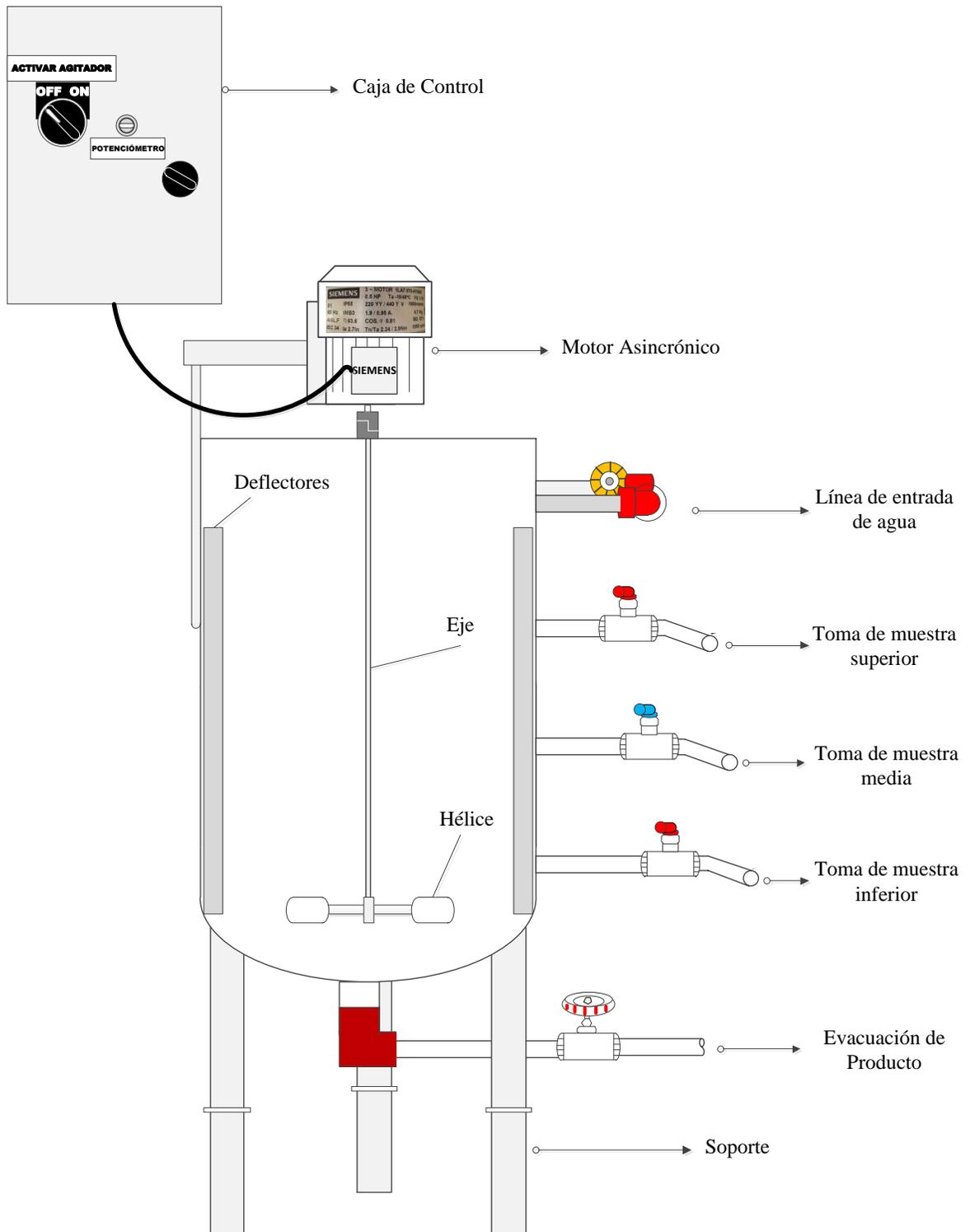
- No fumar, comer o beber en el laboratorio.
- Utilizar mandil y tenerlo siempre bien cerrado, así protegerás tu ropa.
- Guarda prendas u objetos personales y no dejarlos en el lugar de trabajo.
- Procurar no andar de un lado a otro sin motivo y, sobre todo, no correr dentro del laboratorio.
- Si tienes el cabello largo, recógetelo.
- Disponer sobre la mesa, sólo los libros y cuadernos que sean necesarios.
- Tener siempre tus manos limpias y secas. Si tienes alguna herida, tápala.
- No probar ni ingerir los productos.

- En caso de producirse un accidente, quemadura o lesión, comunicarlo inmediatamente al profesor o encargado del laboratorio.
- Saber dónde está situado un botiquín.
- Mantener el área de trabajo limpia y ordenada.

### **Normas para manipular instrumentos y productos**

- Antes de manipular un aparato o montaje eléctrico, desconectarlo de la red eléctrica.
- No poner en funcionamiento un circuito eléctrico sin que el profesor haya revisado la instalación, (verificar si el equipo funciona con corriente de 110 o 220 V.)
- No utilizar ninguna herramienta o máquina sin conocer su uso, funcionamiento y normas de seguridad específicas.
- Manejar con especial cuidado el material frágil, por ejemplo, vasos de precipitación para la toma de muestras.
- Informar al profesor del material roto o averiado.
- Fijarse en los signos de peligrosidad que aparecen en los frascos de los productos químicos.
- Lavarse las manos con jabón después de tocar cualquier producto químico.
- Al acabar la práctica, limpiar los equipos utilizados y devolver los materiales a su sitio.

## UNIDAD DE AGITACIÓN Y MEZCLA



## **PUESTA EN MARCHA DE LA UNIDAD DE AGITACIÓN Y MEZCLA.**

### **PROCEDIMIENTO:**

Este proceso se lo realiza desde la parte posterior de la caja reguladora de velocidad.

- Verificar que todas las llaves de paso estén cerradas
- Encender el brecker que se encuentra en la caja del regulador de velocidad.
- Llenar el nivel de agua deseado, no sobrepasar los 73 litros (nivel que se encuentra a la altura de la línea de entrada de agua).
- Agregar la sustancia a mezclar, (previamente hacer los cálculos).
- Prender del selector (ON) que se encuentra en el parte posterior de la caja de control.
- Para regular las revoluciones por minuto (rpm) se lo realiza desde el potenciómetro que está situado en la parte posterior de la caja de control.
- Para apagar el equipo una vez terminada la práctica se lo hace desde el selector (OFF).

**Para operar desde el interior de la caja se procede de la siguiente manera:**

Se escribe la siguiente codificación:

1. P
2. P0010 
3. P
4. 1
5. P
6. P0700
7. P
8. 1
9. P
10. P1000
11. P

- 12. 1
- 13. P
- 14. P3900
- 15. P
- 16. 1
- 17. P
- 18. ▲
- 19. P

**NOTA:** Para volver a controlar desde el exterior de la caja en el paso 8 se coloca el número 2 en vez del 1, y si se desea controlar las rpm (revoluciones por minuto) desde el potenciómetro, en el paso 12 se coloca el número 2 en vez del 1.

El sentido de orientación del eje se lo puede controlar únicamente desde el interior de la caja de control. ◀

## **MANUAL DE OPERACIÓN DEL MOLINO DE BOLAS**

### **INTRODUCCIÓN:**

#### **MOLINO DE BOLAS (BALL MILL)**

Los molinos de bolas consisten en cámaras giratorias de acero, de forma cilíndrica o tronco-cónica llenas hasta la mitad con bolas de acero o hierro, y, en ciertos casos, con guijarros. La reducción de tamaños se produce gracias a los choques que ocasionan estas bolas al caer, desde la altura a que son elevadas, por la rotación de la cámara. (Brown G. G., 1965)

El molino de bolas es adecuado para materiales finos y gruesos, molienda en húmedo o en seco, en circuito cerrado con clasificadores, cribas o separadores de aire.

La selección de molienda en seco y en vía húmeda la suele indicar el uso final del producto. Cuando el material puede ser molido en vía húmeda o seca, el consumo de energía, desgaste del recubrimiento y los costos de capital determinan el diseño. El consumo de los medios de molienda y el desgaste del recubrimiento por tonelada de producto más bajo para un sistema de molienda en seco. A pesar de esto el consumo de energía para un sistema de molienda en seco es aproximadamente 30% mayor que para la molienda en vía húmeda y requiere el empleo de un colector de polvos.

La alimentación a los molinos de bolas puede ser de 2.5 a 4 cm (1 a 1.5 in) para materiales muy frágiles, aunque por lo general el tamaño es de 1.3 cm (0.5 in). La mayor parte de los molinos de bolas operan con una razón de reducción de 20 a 200:1. El tamaño usual de las bolas más grandes es de 13 cm (5 in) de diámetro. (Perry J. , 1992)

### **NORMAS DE SEGURIDAD EN EL LABORATORIO**

#### **Normas generales**

- No fumar, comer o beber en el laboratorio.
- Utilizar mandil y tenerlo siempre bien cerrado, así protegerás tu ropa.
- Guarda prendas u objetos personales y no dejarlos en el lugar de trabajo.

- Procurar no andar de un lado a otro sin motivo y, sobre todo, no correr dentro del laboratorio.
- Si tienes el cabello largo, recógetelo.
- Disponer sobre la mesa, sólo los libros y cuadernos que sean necesarios.
- Tener siempre tus manos limpias y secas. Si tienes alguna herida, tápala.
- No probar ni ingerir los productos.
- En caso de producirse un accidente, quemadura o lesión, comunicarlo inmediatamente al profesor o encargado del laboratorio.
- Saber dónde está situado un botiquín.
- Mantener el área de trabajo limpia y ordenada.

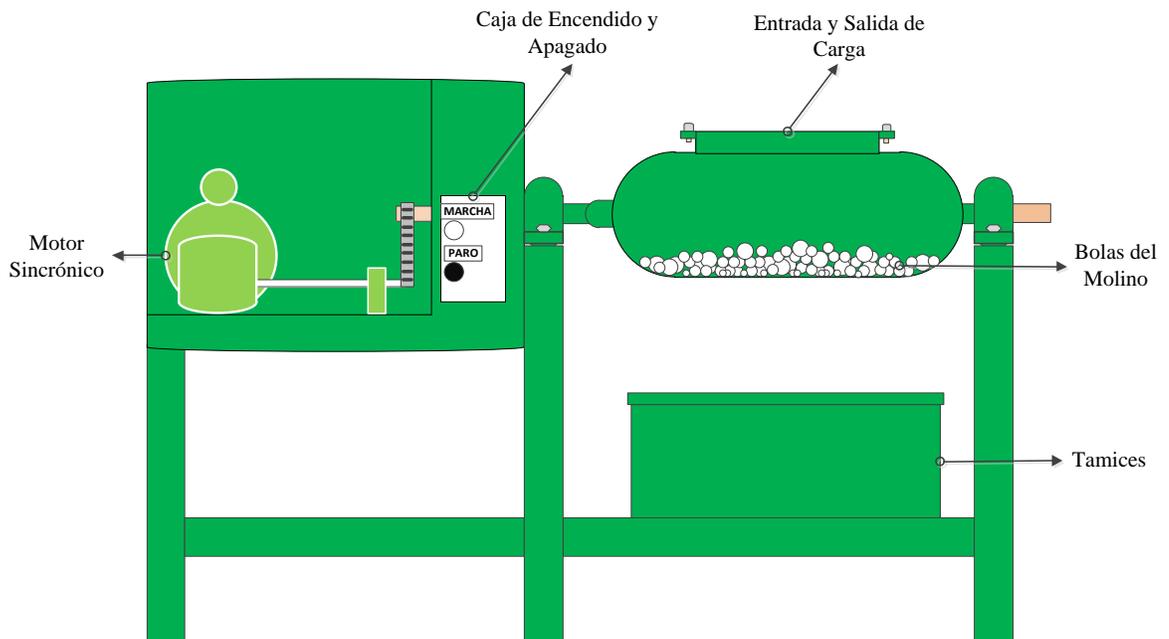
### **Normas para manipular instrumentos y productos**

- Antes de manipular un aparato o montaje eléctrico, desconectarlo de la red eléctrica.
- No poner en funcionamiento un circuito eléctrico sin que el profesor haya revisado la instalación, (verificar si el equipo funciona con corriente de 110 o 220 V.)
- No utilizar ninguna herramienta o máquina sin conocer su uso, funcionamiento y normas de seguridad específicas.
- Manejar con especial cuidado el material frágil, por ejemplo, vasos de precipitación para la toma de muestras.
- Informar al profesor del material roto o averiado.
- Fijarse en los signos de peligrosidad que aparecen en los frascos de los productos químicos.
- Lavarse las manos con jabón después de tocar cualquier producto químico.
- Al acabar la práctica, limpiar los equipos utilizados y devolver los materiales a su sitio.

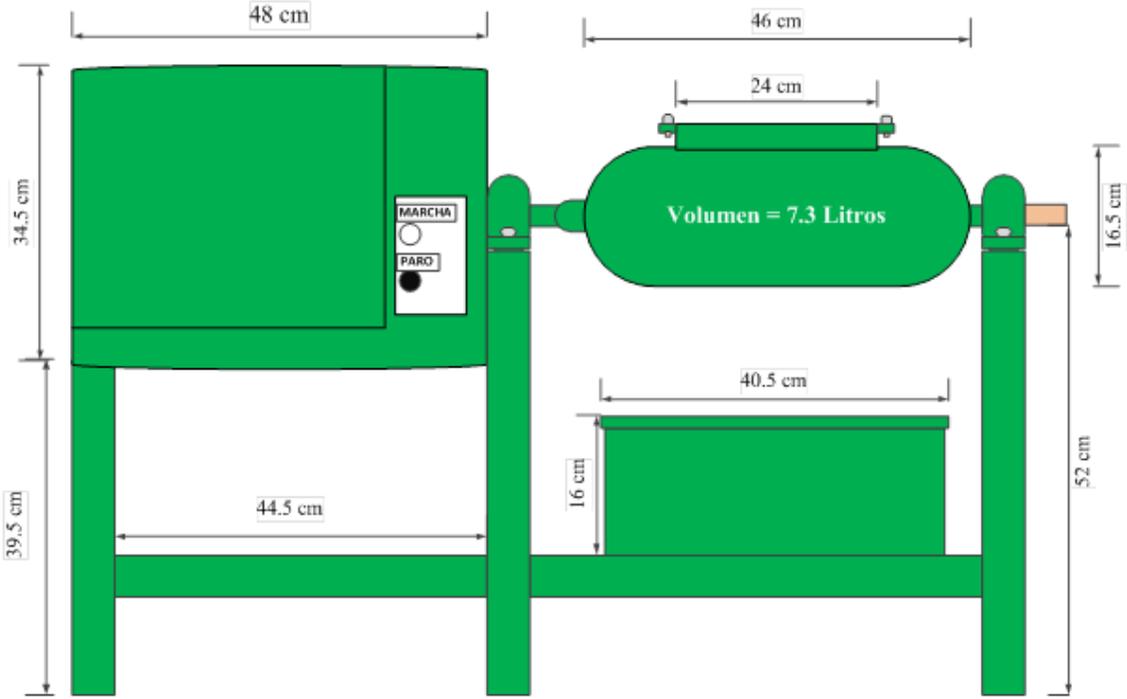
## PUESTA EN MARCHA DEL MOLINO DE BOLAS.

### PROCEDIMIENTO:

- Verificar que el molino de bolas este correctamente conectado a la red de energía (110 V).
- Observar que el molino este cargado correctamente de bolas (30% V/V).
- Alimentar de producto previamente triturado (20% V/V), para así obtener los resultados esperados.
- El encendido y apagado se lo realiza desde la caja de control que este presenta en la parte posterior izquierda de dicho molino.
- Este equipo presenta un motor sincrónico (opera a una velocidad constante) por lo que no se puede regular sus rpm.



**DIAGRAMA DEL MOLINO**



TAMICES

