

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR EL  
GRADO DE LICENCIATURA

**DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO DE ESCALAMIENTO PARA LOS  
PROCESOS DE AGITACIÓN, DISPERSIÓN Y MEZCLADO PARA UNA  
INDUSTRIA DE PINTURA.**

REALIZADO POR:

SILVIA PATRICIA ALFARO SALAZAR

RODRIGO FACIO, 2016

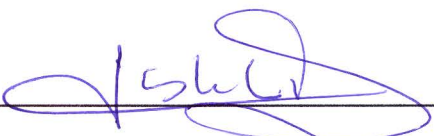
**DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO DE ESCALAMIENTO PARA LOS PROCESOS DE AGITACIÓN,  
DISPERSIÓN Y MEZCLADO PARA UNA INDUSTRIA DE PINTURA.**

Proyecto de Graduación sometido a consideración de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

**Sustentante:** Silvia Patricia Alfaro Salazar

**COMITÉ ASESOR**

**Aprobado por:**



Esteban Duran Herrera Ph.D

Presidente del Tribunal

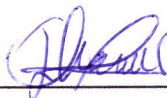
Escuela de Ingeniería Química



MBA. Gloriana Smith Carabaguiaz

Directora del Proyecto

Escuela de Ingeniería Química



MSc. Gerardo Chacón Valle

Miembro Lector

Escuela de Ingeniería Química

---

Eduardo Rivera Porras Ph.D

Miembro Lector

Escuela de Ingeniería Química



---

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'Z' followed by several vertical strokes, crossing a horizontal line.

M.Sc Adolfo Ulate Brenes

Miembro Lector

Escuela de Ingeniería Química

## **Agradecimiento**

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudios.

Agradecer hoy y siempre a mi familia por el esfuerzo realizado por ellos, el apoyo en mis estudios, de ser así no hubiese sido posible. A mis padres, mis hermanos, mis tíos y demás familiares ya que me brindan el apoyo, la alegría y me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Un agradecimiento especial a la Profesora Gloriana Smith, por la colaboración, paciencia, apoyo y sobre todo por esa gran amistad que me brindó y me brinda, por escucharme y aconsejarme siempre.

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi tesis. A los señores Gerardo Chacón y Eduardo Rivera por el tiempo y apoyo en esta última etapa, reciban mi agradecimiento.

A la empresa que me abrió las puertas al mundo laboral, por enseñarme a ser mejor profesional todos los días y aprender de mis errores; a todas las personas que trabajan ahí y me brindaron su apoyo incondicional; a los muchachos del Departamento de Investigación y Desarrollo los llevo en mi corazón.

A todos mis amigos por las risas y aventuras, guardo con mucho aprecio todos los recuerdos de estos años a su lado; gracias por estar siempre conmigo Daniela e Isaura.

## **Dedicatoria**

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme, les agradezco el cariño y la comprensión, a ustedes quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino; a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento, Rosario Salazar y Carlos Alfaro.

## Resumen

El objetivo del proyecto radicó en diseñar un procedimiento de escalamiento para los procesos de agitación, dispersión y mezclado para una industria de pintura, además se estudiaron las variables geométricas, cinemáticas y eléctricas que intervienen en el proceso de agitación de fluidos.

Para esto se procedió a recopilar la información actual de las dimensiones de los equipos del Laboratorio de Investigación y Desarrollo y del área de Manufactura, se midió la velocidad de los equipos con la ayuda de un tacómetro de rayo láser. Se realizaron pruebas de campo en el área de Manufactura donde el estudio se limitó a cuatro categorías de pintura de características distintas entre ellas, se realizaron tres repeticiones por cada categoría para efectuar el estudio.

Se calcularon el número de Reynolds y Froude. Utilizando la correlación apropiada se obtuvo el número de Potencia. Con estos datos se analizó el modelo que se adapta al estudio, se calculó el número de Potencia para cada categoría de productos y se establecieron los ámbitos reales para la planta Industrial. Se calculó el factor de escalamiento entre el tanque de mayor volumen de la planta Industrial y el volumen normal de trabajo por parte del Laboratorio de Investigación y Desarrollo. A partir del factor de escalamiento se calcularon las dimensiones del tanque y agitador, potencia y velocidad del equipo que se requiere en volumen bajo (escala de laboratorio) para obtener similitudes en el proceso.

Se revisó el procedimiento actual de escalamiento de los procesos y se identificaron oportunidades de mejora para los departamentos del Laboratorio de Investigación y Desarrollo y Manufactura.

Se concluye, a partir de la potencia actual de los equipos y la potencia requerida según el estudio de escalamiento, que el fluido desarrollado en pequeña escala presenta mayor esfuerzo de inercia, éste se encuentra relacionado al flujo de cantidad de movimiento asociado con el movimiento del seno del fluido, es por ello que las partículas se absorben rápidamente en el seno de la masa, caso que no sucede a gran escala.

Se recomienda la compra de un agitador para el departamento de Investigación y Desarrollo, que cumpla con todos los requerimientos encontrados en el procedimiento de escalamiento para obtener mejores resultados en la similaridad geométrica que se desea y del equipo con la potencia y velocidad requerida para obtener la similaridad cinemática y dinámica para el desarrollo de productos en escala de laboratorio.

## Índice General

Agradecimiento.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Resumen .....	4
Capítulo 1 . Fundamentos Teóricos .....	15
Mecánica de fluidos .....	15
Reología de la sustancias.....	15
Fluidos No Newtonianos.....	17
Industria de la Pintura .....	19
Composición de la Pintura en General .....	19
Componentes de las pinturas en base acuosa .....	19
Ligantes para base acuosa.....	21
Propiedades generales de una película de pintura .....	23
Proceso de la producción de pintura.....	26
Control de calidad para evaluación de pintura .....	41
Procesos de agitación y mezclado.....	48
Criterios de agitación.....	49
Equipo para Agitación y Mezclado .....	51
Tipos de agitadores.....	53
Consumo de Potencia en Tanques Agitados .....	57
Efectos del diámetro el agitador .....	59
Importancia del flujo volumétrico en agitación .....	60
Legislación .....	60
Compuestos Orgánicos Volátiles .....	61
Proceso de regulación .....	61
Manejo de Desechos en la fabricación de pinturas .....	62

Escalamiento .....	65
Plantas Piloto .....	66
Proceso de escalamiento.....	68
Principios de similaridad.....	68
Criterios de cambios de escala .....	74
Teoría del escalamiento .....	75
Capítulo 2 . Procedimiento Experimental.....	77
Capítulo 3 . Equipos de mezclado, dispersión y agitación en la fabricación de pinturas. ....	79
Levantamiento de Equipos de Dispersión.....	80
Levantamiento de Equipo de los Tanques .....	84
Capítulo 4 . Análisis del actual procedimiento de Escalamiento .....	87
Mejoramiento de los procesos (MPE).....	87
Objetivo del MPE .....	88
Fases del MPE .....	89
Metodología para detectar oportunidades de mejora al proceso de escalamiento.....	89
Resultados del cuestionario aplicado al laboratorio Investigación y Desarrollo. ....	90
Identificación de Oportunidades de Mejora por parte del Laboratorio. ....	97
Resultados del cuestionario aplicado al departamento de Manufactura.....	98
Identificación de Oportunidades de Mejora para Manufactura. ....	106
Capítulo 5 . Escalamiento para un proceso Dispersión y Agitación.....	108
Dificultad del proceso .....	108
Pruebas de Campo .....	110
Calculo de Reynolds para las Categorías de Producto en estudio .....	113
Cálculo del número de Froude para las categorías de producto en estudio .....	114
Propuesta del Procedimiento de Escalamiento .....	118
Costos del Proyecto.....	122



Capítulo 6 . Herramienta para el escalamiento de productos nuevos en la planta Industrial. . .	123
Capítulo 7 . Conclusiones y Recomendaciones.....	128
Capítulo 8 Bibliografía.....	130
Capítulo 9 .Nomenclatura.....	133
Capítulo 10 Apéndices .....	135
Apéndice A. Datos Intermedios .....	135
Apéndice B. Muestra de cálculos .....	135
Capítulo 11 Anexos .....	139
Anexo 1. Cuestionario aplicado al personal del Laboratorio de Investigación y Desarrollo. .	139
Anexo 2. Cuestionario aplicado al personal de Calidad e Ingeniería de Procesos de la Planta de Producción.....	142
Anexo 3. Ficha Técnica de Dispensor de escala de laboratorio.....	145
Anexo 4. Diagrama del Agitador a necesitar para la puesta en marcha del procedimiento del diseño de escalamiento. ....	146
Anexo 5. Cotización de la fabricación del agitador para el área de Investigación y Desarrollo. ....	147

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Fluidos newtonianos y no newtonianos. ....	16
Figura 1.2 Esquema general de la composición de una pintura. ....	19
Figura 1.3 Tacómetro de laser digital Model DT-209X. ....	29
Figura 1.4 Dispensor de alta velocidad marca Hockmeyer. ....	29
Figura 1.5 Equipo de molienda vertical. ....	40
Figura 1.6 Viscosímetro de Brookfield y Stormer. ....	46
Figura 1.7 Grindómetro de Hegman. ....	47
Figura 1.8 Formación de vórtice y patrón de flujo en tanque sin deflectores. ....	50
Figura 1.9. Distintas ubicaciones de los agitadores para prevenir vórtices. ....	51
Figura 1.10 Tanque típico de agitación. ....	52
Figura 1.11 Tanque agitado estándar. ....	53
Figura 1.12 Tipos de agitadores. ....	57
Figura 1.13 Número de Potencia en función del Número de Reynolds para distintos agitadores. ....	58
Figura 1.14 Fechas históricas en la lucha contra la contaminación. ....	62
Figura 1.15 Clasificación de los líquidos peligrosos. ....	62
Figura 1.16 Clasificación de los residuos líquidos peligrosos ....	63
Figura 1.17 Clasificación de aceites y otros líquidos peligrosos. ....	63
Figura 1.18 Clasificación de los residuos sólido industrial. ....	64
Figura 1.19 Clasificación de los residuos líquidos de aguas residuales. ....	65
Figura 1.20 Comportamientos a experimentar en plantas piloto. ....	67
Figura 1.21. Similaridad Geométrica. ....	70
Figura 3.1 Dispensores disponibles en el mercado por Vórtex. ....	80

Figura 3.2 Aplicaciones Industriales de los dispersores y agitadores.....	80
Figura 4.1 Patrones de Pensamientos. ....	87
Figura 4.2 Resultados de la frecuencia con la que se escala un desarrollo nuevo en alto volumen. ....	90
Figura 4.3 Resultados de la frecuencia con la que se escala un desarrollo nuevo en bajo volumen. ....	91
Figura 4.4 Resultados de la frecuencia con la que se conoce las variables mecánicas del equipo usado en el desarrollo de un producto.....	92
Figura 4.5 Resultados de la frecuencia con la que se verifican las propiedades de diseño tanto en su desarrollo como en planta. ....	92
Figura 4.6 Resultados de la frecuencia de la manera de realizar el reporte y observaciones por parte del técnico al formulador. ....	93
Figura 4.7 Resultados de la frecuencia para ubicar fácilmente la información de un desarrollo anterior. ....	94
Figura 4.8 Resultados de la frecuencia de la manera de realizar los cambios ingredientes para encontrar la fórmula adecuada. ....	94
Figura 4.9 Resultados de la frecuencia con que se realiza un intercambio de información entre el técnico y formulador para optimizar la fórmula.....	95
Figura 4.10 Resultados de la frecuencia con que se realiza se escala el desarrollo optimizado a un volumen mayor a $9,46E-04 \text{ m}^3$ . ....	96
Figura 4.11 Resultados de la frecuencia con que se realiza pruebas de campo al producto antes del escalamiento en planta.....	96
Figura 4.12 Resultados de la frecuencia con que se realiza la verificación de propiedades a lotes posteriores al escalamiento.....	97
Figura 4.13 Resultados de la frecuencia con que se cumple el envío de la fórmula y muestra líquida del producto a la planta por parte del laboratorio.....	99
Figura 4.14 Resultados de la frecuencia con que se cumple la supervisión por parte del técnico del laboratorio en el escalamiento del producto. ....	99

Figura 4.15 Resultados de la frecuencia con que se asegura el lavado previo del tanque antes de la fabricación.....	100
Figura 4.16 Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir tiempos de proceso.....	101
Figura 4.17 Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir la temperatura del proceso.....	101
Figura 4.18 Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir la velocidad periférica del proceso.....	102
Figura 4.19 Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir los flujos de materia prima del proceso.....	103
Figura 4.20 Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de la información sobre los tanques de producción.....	103
Figura 4.21 Resultados de la frecuencia del modo en que se realizan los cambios en materia prima en la fabricación de productos.....	104
Figura 4.22 Resultados de la frecuencia sobre el conocimiento de los operarios en las materias primas de uso en la producción diaria.....	105
Figura 4.23 Resultados de la frecuencia con que se realizan cambios o adaptaciones a los equipos para los escalamientos.....	106
Figura 5.1 Correlación de viscosidad en Krebs a Poise.....	112
Figura 5.2 Correlación del número de potencia para turbina de 6 aspas.....	116
Figura 6.1 Propuesta de plantilla para los escalamientos por parte del departamento de Investigación y Desarrollo.....	124
Figura 6.2 Propuesta de plantilla para los escalamientos por parte del departamento de manufactura.....	126

## Índice de Cuadros

Cuadro 1.1 Pruebas ASTM para la medición de consistencia en las pinturas midiendo la viscosidad.....	42
Cuadro 1.2 Pruebas ASTM para la medición del grado de molienda. ....	43
Cuadro 1.3 Pruebas ASTM para la medición de densidad.....	43
Cuadro 1.4 Pruebas ASTM para la medición de características de aplicación. ....	43
Cuadro 1.5 Pruebas ASTM para la medición de características de película. ....	43
Cuadro 1.6 Pruebas ASTM para la medición de apariencia en el contenedor. ....	44
Cuadro 1.7 Pruebas ASTM para la medición de composición .....	44
Cuadro 1.8 Pruebas ASTM para la medición de características de aplicación. ....	44
Cuadro 1.9 Pruebas ASTM para la medición de resistencia (desenvolvimiento).....	45
Cuadro 2.1 Características del equipo usado en el estudio de escalamiento.....	78
Cuadro 3.1 Dimensiones codificadas de los agitadores del equipo de laboratorio. ....	81
Cuadro 3.2 Velocidades codificadas de los equipos dispersores de laboratorio sin producto....	81
Cuadro 3.3 Datos eléctricos codificados de los equipos dispersores del laboratorio.....	82
Cuadro 3.4 Diámetros codificados de los dispersores de la Planta Industrial. ....	82
Cuadro 3.5 Datos eléctricos codificados de los equipos dispersores de la Planta Industrial.....	83
Cuadro 3.6 Dimensiones codificadas de los tanques del laboratorio. ....	84
Cuadro 3.7 Dimensiones codificadas de los tanques industriales de estudio.....	85
Cuadro 4.1 Resultados de la frecuencia con la que se escala un desarrollo nuevo en alto volumen. ....	90
Cuadro 4.2 Resultados de la frecuencia con la que se escala un desarrollo nuevo en bajo volumen. ....	91
Cuadro 4.3 Resultados de la frecuencia con la que se conoce las variables mecánicas del equipo usado en el desarrollo de un producto.....	91

Cuadro 4.4 Resultados de la frecuencia con la que se verifican las propiedades de diseño tanto en su desarrollo como en planta. ....	92
Cuadro 4.5 Resultados de la frecuencia de la manera de realizar el reporte y observaciones por parte del técnico al formulador. ....	93
Cuadro 4.6 Resultados de la frecuencia para ubicar fácilmente la información de un desarrollo anterior. ....	93
Cuadro 4.7 Resultados de la frecuencia de la manera de realizar los cambios ingredientes para encontrar la fórmula adecuada .....	94
Cuadro 4.8 Resultados de la frecuencia con que se realiza un intercambio de información entre el técnico y formulador para optimizar la formula.....	95
Cuadro 4.9 Resultados de la frecuencia con que se realiza se escala el desarrollo optimizado a un volumen mayor a $9,46E-04 \text{ m}^3$ . ....	95
Cuadro 4.10 Resultados de la frecuencia con que se realiza pruebas de campo al producto antes del escalamiento en planta.....	96
Cuadro 4.11 Resultados de la frecuencia con que se realiza la verificación de propiedades a lotes posteriores al escalamiento.....	97
Cuadro 4.12 Resultados de la frecuencia con que se cumple el envío de la fórmula y muestra líquida del producto a la planta por parte del laboratorio. ....	98
Cuadro 4.13 Resultados de la frecuencia con que se cumple la supervisión por parte del técnico del laboratorio en el escalamiento del producto. ....	99
Cuadro 4.14 Resultados de la frecuencia con que se asegura el lavado previo del tanque antes de la fabricación.....	100
Cuadro 4.15 Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir tiempos de proceso.....	100
Cuadro 4.16 Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir la temperatura del proceso. ....	101
Cuadro 4.17 Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir la velocidad periférica del proceso.....	102

Cuadro 4.18 Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir los flujos de materia prima del proceso.....	102
Cuadro 4.19 Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de la información sobre los tanques de producción. ....	103
Cuadro 4.20 Resultados de la frecuencia del modo en que se realizan los cambios en materia prima en la fabricación de productos. ....	104
Cuadro 4.21 Resultados de la frecuencia sobre el conocimiento de los operarios en las materias primas de uso en la producción diaria.....	104
Cuadro 4.22 Resultados de la frecuencia con que se realizan cambios o adaptaciones a los equipos para los escalamientos.....	105
Cuadro 5.1 Resultados de la velocidad de giro de los discos de la planta industrial durante la fabricación de productos. ....	111
Cuadro 5.2 Valor de Reynolds para la Categoría B. ....	113
Cuadro 5.3 Valor de Reynolds para la Categoría D. ....	113
Cuadro 5.4 Valor de Reynolds para la Categoría I. ....	113
Cuadro 5.5 Valor de Reynolds para Categoría L. ....	114
Cuadro 5.6 Valor de Froude para la Categoría B. ....	115
Cuadro 5.7 Valor de Froude para la Categoría D. ....	115
Cuadro 5.8 Valor de Froude para la Categoría I. ....	115
Cuadro 5.9 Valor de Froude para Categoría L. ....	115
Cuadro 5.10 Valor del Número de Potencia para la Categoría B ....	117
Cuadro 5.11 Valor de Número de Potencia para la Categoría D. ....	117
Cuadro 5.12 Valor de Número de Potencia para la Categoría I.....	117
Cuadro 5.13 Valor Número de Potencia para Categoría L.....	117
Cuadro 5.14 Ámbito de número de potencia que describe las categorías en estudio en la producción de la Planta Industrial .....	118

Cuadro 5.15 Costos del proyecto por la compra de equipos a escala de laboratorio. ....	122
Cuadro A.1 Datos de Viscosidad y Densidades de las categorías de productos en estudio.....	136



## Capítulo 1 . Fundamentos Teóricos

### Introducción

Cuando abrimos los ojos lo primero que vemos, estemos donde estemos, es pintura. Desde la cama, el techo, los muebles y otros objetos están pintados. En la cocina, el frigorífico, el lavavajillas, la lavadora. En la escalera, las barandillas, la puerta del ascensor, otra vez las paredes... Salimos a la calle y ¿qué vemos?, coches, autobuses, farolas, escaparates, rótulos, todo con pintura. Si salimos de la ciudad, las líneas de las carreteras, las señales de tráfico, naves industriales, torres eléctricas, siempre hay pintura.

Se quiere, con esto, poner de manifiesto que es una industria que aporta un efecto estético y de protección de gran importancia tanto cuantitativa como cualitativamente.

### Mecánica de fluidos

El comportamiento de los fluidos es importante para los procesos de ingeniería en general y constituye uno de los fundamentos para el estudio de las operaciones unitarias. El conocimiento de los fluidos es esencial, no sólo para tratar con precisión los problemas de movimiento de éstos a través de tuberías, bombas y otro tipo de equipos de proceso, sino también para el estudio del flujo de calor y de muchas operaciones de separación que dependen de la difusión y transferencia de masa. La rama de la ingeniería que estudia el comportamiento recibe el nombre de mecánica de fluidos. La mecánica de fluidos tiene dos ramas importantes para el estudio de las operaciones unitarias: *la estática de fluidos*, que trata de los fluidos en el estado de equilibrio sin esfuerzo cortante, y *la dinámica de fluidos*, que trata los fluidos cuando partes de ellos se mueven en relación a otras. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

### Reología de la sustancias

El estudio de las características de deformación y de flujo se conoce como reología, que es el campo del cual se aprende acerca de la viscosidad de los fluidos. Una diferencia importante que se debe entender es la de los fluidos newtonianos y los fluidos no newtonianos. Cualquier fluido que se comporte de acuerdo con la ecuación 1.1 se conoce como newtoniano. La

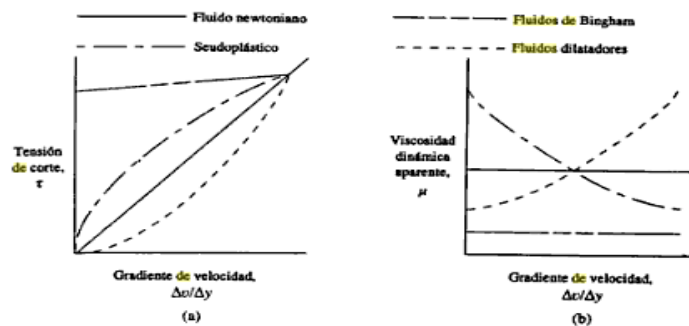
viscosidad  $\mu$  es función exclusivamente de la condición del fluido, en particular de su temperatura. La magnitud del gradiente de velocidad no tiene efecto sobre la magnitud de  $\mu$ . Los fluidos más comunes, como el aceite, agua, gasolina, alcohol, benceno y glicerina están clasificados como fluidos newtonianos. (Mott, 1998).

$$\tau = \mu \left( \frac{\Delta v}{\Delta y} \right) \quad (1.1)$$

Por el contrario, un fluido que no se comporta de acuerdo a la ecuación 1.1 se conoce como fluido no newtoniano. La diferencia entre los dos tipos se muestran en la Figura 1.1. La viscosidad del fluido no newtoniano depende del gradiente de velocidad, además de la condición del fluido.

Observe que en la Figura 1.1 (a), la pendiente de la curva de la tensión de corte contra el gradiente de velocidad es una medida de la viscosidad aparente del fluido. Cuanto mayor sea la pendiente, más grande será la viscosidad aparente.

Debido a que los fluidos newtonianos tienen una relación lineal entre la tensión de corte y el gradiente de velocidad, la pendiente es constante y, por consiguiente, también la viscosidad es constante. La pendiente de las curvas de los fluidos no newtonianos es variable. En la Figura 1.1 (b) se muestra cómo cambia la viscosidad con el gradiente de velocidad. (Mott, 1998).



**Figura 1.1** Fluidos newtonianos y no newtonianos. (Mott, 1998).

Las pinturas, las grasas, las emulsiones, los polímeros, los pegantes, los geles, las pastas de diente, las salsas, para no citar sino algunos, son también sustancias fluidas puesto que fluyen bajo la aplicación de un esfuerzo. Sin embargo, la palabra fluido o líquido ya no es suficiente para describir la variedad de comportamientos y la viscosidad no es más la única función material capaz de diferenciarlas. Sus características particulares se deben a estructuras poliatómicas variadas que otorgan un número impresionante de respuestas mecánicas a unas sollicitaciones dadas. Además, estas respuestas pueden depender de la escala de tiempo considerada así como del tipo y de la intensidad de las sollicitaciones. Con el fin de diferenciar estas categorías de sustancias fluidas de la categoría anterior, conviene catalogar a estos fluidos como “fluidos reológicamente complejos”. (Rojas, Briceño, & Avendaño, 2012).

### **Fluidos No Newtonianos**

Fluidos dependientes e independientes del tiempo.

Se tienen dos principales clasificaciones de los fluidos no newtonianos: independientes del tiempo y dependientes del tiempo. Como su nombre lo indica, los fluidos independientes del tiempo tienen una viscosidad a cualquier tensión de corte que no varía con el tiempo. La viscosidad de los fluidos dependientes del tiempo sin embargo cambiará con él. (Mott, 1998).

Se pueden definir tres tipos de fluidos independientes del tiempo:

**Seudoplásticos:** La gráfica de la tensión de corte contra el gradiente de velocidad se encuentra por encima de la línea recta de los fluidos newtonianos, ejemplos de ellos son el plasma sanguíneo, el polietileno fundido, suspensiones de arcilla, mayonesa, pinturas.

**Dilatantes:** La gráfica de la tensión de corte contra el gradiente de velocidad se encuentra por debajo de la línea recta correspondientes los fluidos newtonianos, ejemplos arena húmeda.

**Fluidos de Bingham:** Estos requieren el desarrollo de un nivel significativo de tensión de corte antes de que empiece el flujo. Cuando empieza el flujo, se tiene una pendiente de la curva esencialmente lineal, algunos ejemplos son el chocolate, pulpa de madera, grasas, jabones, pasta dental, lodos de desecho y asfalto. (Mott, 1998).

Fluidos dependientes de la velocidad de cizalla.

El cizallamiento ejercido sobre el material es relacionado con la velocidad relativa de movimiento y la distancia entre platos. A una velocidad  $v$  dada, mayor esfuerzo se requiere en una unidad de material cuando los platos están más cercanos. La medida específica de este trabajo por unidad de material es llamada velocidad o tasa de deformación o corte, y se define como la velocidad relativa dividida por la distancia entre platos:

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{h} \quad (1.2)$$

El valor de velocidad de cizalla característica para el proceso de Incorporación de Pigmentos que ocurre en la Industria de la Pintura es de  $10^3$ - $10^5 \text{ s}^{-1}$ .

Otra clasificación para fluidos No Newtonianos es dependiendo de cómo varía la viscosidad aparente con la tasa de deformación el comportamiento se puede caracterizar por:

Fluido reofluidizante: la viscosidad aparente disminuye con la velocidad de corte o deformación. Ejemplos: Pinturas, champú, dispersiones, concentrados de jugos de frutos y cátsup.

Fluido reoespesante: la viscosidad aparente aumenta con la velocidad de corte o deformación. Ejemplo: Arena Mojada y suspensiones concentradas de almidón.

Fluido plástico (viscoplástico): exhibe el llamado esfuerzo umbral o esfuerzo de cedencia, i.e., se debe aplicar cierto esfuerzo para que ocurra el flujo.

En resumen las pinturas se clasifican como un fluido reofluidizante y fluido de Bingham, aunque por la falta de estudios detallados de modelos que describen el comportamiento de este fluido y valorando que la investigación se limita a productos base agua; se sabe que los sistemas polifásicos como las dispersiones líquido-líquido o sólido-líquido, pueden también pertenecer a la categoría de fluidos Newtonianos con la condición de que su comportamiento pueda representarse por el de un fluido homogéneo de propiedades equivalentes.

## Industria de la Pintura

### Composición de la Pintura en General

La pintura es una sustancia líquida que extendida sobre una superficie, seca y endurece sobre ella para protegerla y embellecerla. La pintura es una mezcla de tres componentes básicos: ligante, pigmento y disolvente; a ellos se suman otros productos como cargas y aditivos destinados a modificar o mejorar diversas propiedades de ella. (Flores, 2005).



**Figura 1.2** Esquema general de la composición de una pintura.

Como el estudio se limitara a productos base agua se detalla la composición de estos a continuación.

### Componentes de las pinturas en base acuosa

Básicamente, una pintura consta de una suspensión o disolución de una resina en un disolvente adecuado. En realidad, las pinturas en general son suspensiones en las cuales suele haber un gran número de componentes aparte de estos dos principales. De hecho, la fórmula de una pintura se caracteriza por la gran cantidad de compuestos que la constituyen. Cada uno de ellos tiene una función concreta, y su naturaleza determinará las propiedades físicas y químicas tanto de la pintura fluida como de la pintura seca. (Garriga, 2002). Entre los componentes presentes en la formulación de una pintura en base acuosa, se destacan los siguientes:

1. Resinas: Se definen como la parte no volátil de la pintura que forma la película y liga el pigmento al producirse uniones físicas o químicas entre las diferentes partículas de resina a medida que la evaporación del disolvente hace que se acerquen unas a otras,

permitiendo su interacción. Con el nombre de “resina” se hace referencia a la sustancia añadida a la pintura con el fin de que actúe como “formador de película”. Puede considerarse el componente principal de un recubrimiento, si se tiene en cuenta que generará la capa sólida que quedará depositada en forma de película sobre la superficie a recubrir. Así pues, su elección es la más importante dentro del proceso de formulación, ya que afectará a propiedades como el tiempo de secado, adherencia a diferentes sustratos, resistencia a la abrasión, lavabilidad, flexibilidad, resistencia al agua, resistencia a la luz ultravioleta, etc. Siendo así, parece adecuado clasificar los distintos tipos de pinturas en función de la resina que contienen.

2. Pigmentos: Los pigmentos son sustancias sólidas, coloreadas, insolubles en la pintura, que están dispersos en la misma y cuya función principal es dar opacidad y color a la capa depositada, pero que también actúan dando protección, resistencia, brillo, etc. La mayoría de pigmentos utilizados en pinturas convencionales en base orgánica son también válidos en los sistemas al agua, aunque hay excepciones, como los que tienen resistencia limitada a los álcalis o los que tienen electrolitos que pueden producir coagulación de la resina. Las dos cualidades principales de los pigmentos son el color que proporcionarán a la capa sólida y su poder cubriente, es decir, su capacidad para “tapar” el sustrato. El tamaño de partícula y el índice de refracción del pigmento influirán en ambas propiedades. El grado de pigmentación se mide mediante la concentración volumétrica de pigmento, que se define como el volumen de pigmentos respecto al volumen total de componentes no volátiles. La variedad de pigmentos utilizados es muy extensa, y algunos de ellos pueden ser componentes caros. Muchas veces, tiene un poder cubriente lo suficientemente elevado como para poder ser parcialmente sustituidos por cargas o extendedores. Los pigmentos pueden no estar presentes, cuando la pintura carece de color.
3. Aceites secantes y semisecantes: Son aceites como los de linaza, soja...que se utilizan en proporciones pequeñas como catalizadores de la oxipolimerización de resinas alquídicas y en algunas pinturas e imprimaciones de secado lento, así como en la fabricación de barnices para madera.

4. Cargas o extendedores: Son materias sólidos inertes, de bajo precio, como barita, carbonato cálcico, dolomita o caolín. Se emplean para variar algunas propiedades de las pinturas, mejorar el poder cubriente y, sobretodo, reducir su costo.
5. Aditivos: Los aditivos son aquellos componentes de las pinturas que se añaden en cantidades relativamente pequeñas (normalmente, entre el 0,05% y el 2%) con el objetivo de conferir propiedades especiales o mejorar algunas otras. Se suelen clasificar según su función específica. Los tipos más frecuentes son: aditivos de aplicación (humectantes, niveladores y agentes anticraterización), tensioactivos y dispersantes, antiespumantes, antiposos, bactericida y fungicidas, coalescentes, modificadores reológicos, etc. Los compuestos escogidos para llevar a cabo estas funciones pueden ser de diversa naturaleza, según el tipo de pintura. Los tipos de aditivos más frecuentes en las pinturas en base acuosa son los espesantes, los dispersantes de pigmentos, los tensioactivos, los antiespumantes, los biocidas y los reguladores de pH. La selección de los aditivos idóneos y su contenido óptimo en una pintura requiere no sólo consideraciones teóricas, sino también confirmación experimental. (Garriga, 2002).

### **Ligantes para base acuosa**

Como se describe en el apartado anterior el componente principal en una pintura base agua es la resina, porque es el formador de la película, a continuación se detalla las principales resinas de uso en el mercado en productos base agua: (Giudice & Pereyra, 2015).

- Resinas acrílicas: Basadas en materiales sintéticos llamados genéricamente poliacrilatos, caracterizados por su posibilidad de emulsión en agua. Formadas por estireno principalmente. Esta resina se caracteriza por su excelente resistencia a la intemperie y buena resistencia a la abrasión. Además, es de secado rápido, buena dureza, buena resistencia al agua y buena adhesión al hierro y al acero. Esta resina presenta una gran variedad de aplicaciones. Se elaboran por reacciones de adición de diferentes monómeros, tales como ésteres de los ácidos acrílico y metacrílico con alcoholes diversos, los cuales pueden presentar o no grupos funcionales reactivos remanentes: reactivas o termoestables y no reactivas o termoplásticas, respectivamente. Las resinas

acrílicas termoplásticas se emplean para el repintado de automotores, para la protección de mamposterías y pisos y también para mantenimiento industrial. Por su parte, las resinas acrílicas termoestables generan películas con retención de color elevada, muy buena resistencia a la intemperie y agentes químicos y excelentes propiedades mecánicas; las aplicaciones son múltiples (así, por ejemplo, sobre metales desnudos debido a su excelente adhesión).

- Resinas vinílicas: Éstas pueden ser homopolímeros o bien heteropolímeros; las películas son algo duras y necesitan un plastificante externo. Requieren además una preparación de superficie adecuada. La forma de secado es por evaporación de la mezcla solvente. Se especifican para la protección de sustratos expuestos a atmósferas con ácidos inorgánicos, álcalis, cloro y sus derivados, etc.; para contenedores con soluciones salinas, de ácidos inorgánicos, cloradas, etc.; para estructuras sumergidas en agua de mar y agua dulce (plataformas offshore, carena de embarcaciones, etc.). Las resinas vinílicas modificadas (vinil alquídicas, epoxi-vinílicas, etc.) tienen muchas aplicaciones en sistemas multicapa para la industria. Los acrilatos son una familia de polímeros que pertenece a un tipo de polímeros vinílicos. Los poliacrilatos derivan obviamente de monómeros acrilatos. Los monómeros acrilato son ésteres que contienen grupos vinílicos, es decir, dos átomos de carbono unidos por una doble ligadura, directamente enlazados al carbono del carbonilo.
- Estireno acrílico: Emulsión del copolímero acrílico estireno, aniónico, libre de plastificantes y forma una capa dura. Este polímero se usa como vehículo para texturas. Esta película provee dureza, resistencia a la abrasión alta y buena adhesión para diferentes tipos de sustratos. Proporciona buena estabilidad mecánica, buena adhesión a los sustratos, buena compatibilidad al agua y buena estabilidad de almacenamiento.
- Acrílico 100%: Emulsión de un polímero acrílico de peso molecular elevado diseñado especialmente para formulación de pinturas para exteriores de alta durabilidad. Se utiliza en la fabricación de pinturas para exteriores con excelente resistencia al álcali, al agua, resistencia UV y excelente durabilidad a exteriores. En interiores brinda alto desempeño debido a la buena adherencia en húmedo y en seco, además brinda buena



resistencia a la abrasión y retención del color Puede usarse como modificador de morteros debido a su excelente compatibilidad con cemento. Los morteros modificados con el producto tienen excelente durabilidad, ya que son más resistentes a la abrasión, son más impermeables y presenta resistencia química a agentes químicos ligeros. Se usa como adherente de concreto nuevo a viejo.

- VEOVA: Libre de plastificantes, dispersión acuosa basada en vinil acetato y VEOVA (vinil éster de ácido versático). Usada en exteriores e interiores, de brillo medio y cubrimiento profundo. (Giudice & Pereyra, 2015).

### **Propiedades generales de una película de pintura**

Las pinturas protectoras deben presentar tolerancia a los defectos de preparación de superficies, facilidad de aplicación por métodos diversos, aptitud para un secado / curado adecuado y rápido en diferentes medios ambientales, cumplir las exigencias del servicio y reparación fácil de las zonas dañadas. Los aspectos económicos y ecológicos también resultan fundamentales. (Garriga, 2002).

- Buena resistencia al agua y baja absorción: Esta propiedad se relaciona con la cantidad de agua que resulta absorbida por la película, en condiciones de equilibrio, en los espacios intermoleculares del polímero pero muy particularmente en todas las interfaces presentes en el sistema (sustrato/ película de pintura, partículas de pigmento / ligante o agente tensioactivo, etc.), poros, discontinuidades, etc. Dado que resulta altamente probable que la película en servicio se encuentre en contacto continuo o al menos en forma alternada (ciclos de humectación / secado) con agua, en esas condiciones, no deberá manifestar pérdida de adhesión (ampollamiento, escamación, delaminación, etc.), ablandamiento (disminución de la dureza, resistencia a la abrasión, excesiva flexibilidad, etc.) ni retención elevada (hinchamiento).

- Resistencia a la transferencia al vapor de agua: Este fenómeno es particularmente importante en los casos que el sustrato es de naturaleza metálica. Se refiere al pasaje de agua en forma molecular a través de la película seca que se comporta como una membrana permeable. Esta

característica depende fundamentalmente de la naturaleza del material formador de película; resulta importante relacionar la menor transferencia al vapor de agua con una mayor capacidad anticorrosiva.

- Resistencia al pasaje de iones: La membrana debe actuar como barrera para controlar los procesos difusionales conducentes a la penetración de iones cloruro, sulfato, carbonato, etc. que inician o aceleran la cinética de los procesos corrosivos.

- Resistencia a los fenómenos osmóticos: Este fenómeno involucra el pasaje de agua a través de una membrana semipermeable, de una disolución más diluida a otra más concentrada, hasta alcanzar la condición de equilibrio (igual energía libre). Todas las membranas orgánicas se comportan como semipermeables y la ósmosis tiene lugar principalmente cuando se aplica la cubierta protectora sobre superficies contaminadas con sales; esto último resulta frecuente en ambiente marino. Los pigmentos anticorrosivos solubles también promueven este fenómeno. Los fenómenos osmóticos pueden conducir a presiones elevadas (algunas decenas de atmósferas) en la interfase sustrato / película de pintura y también entre capas que promueven respectivamente la pérdida de adhesión propiamente dicha y la delaminación.

- Resistencia a la intemperie: Esta propiedad se manifiesta, luego de la exposición prolongada al medio ambiente, por una buena retención de propiedades decorativas y protectoras.

Las propiedades consideradas frecuentemente son la retención de brillo adecuado (fenómeno superficial) y de color (propiedad inherente a todos los componentes del sistema).

Otras características deseables son las siguientes: tizado nulo o reducido (degradación del material polimérico por la acción de la fracción UV de la luz solar) y dureza adecuada compatibilizada con la flexibilidad requerida de la película (eficiencia del plastificante satisfactoria durante el envejecimiento). Igualmente deseables resultan la ausencia de cuarteado y agrietado (selección correcta del ligante según el medio de exposición, empleo de pigmentos no reactivos, etc.) y la pérdida mínima de adhesión de la película (óptima limpieza y perfil de rugosidad de la superficie, etc.).

- Resistencia a los agentes químicos: Las estructuras pintadas, particularmente las industriales, están expuestas a salpicaduras eventuales de álcalis, ácidos, solventes, etc. Las películas deben presentar un comportamiento adecuado tanto durante contactos circunstanciales como prolongados (retención de brillo y color, ausencia de corrosión, etc.).

- Adhesión elevada: La adhesión de la película es una propiedad esencial; esta resulta sensiblemente menor en condiciones húmedas ya que el agua o vapor de agua en la interfase, por su característica fuertemente polar y tamaño reducido compite con el material polimérico. El deterioro por desprendimiento producido por rozaduras, impactos, choques, etc. debe ser mínimo o nulo. (Giudice & Pereyra, 2015).

- Resistencia a la abrasión: Las películas de pinturas en general, pero muy particularmente las industriales, se aplican sobre áreas expuestas a procesos abrasivos generados por desplazamiento de equipos, herramientas, transportes, etc. Estos procesos pueden desarrollarse inclusive en condiciones húmedas, lo que conspira fuertemente para generar una reducción de la resistencia a la abrasión.

- Elasticidad o capacidad de elongación: Los sustratos en general y muy particularmente los metálicos presentan coeficientes elevados de expansión lineal y volumétrica. La película de pintura, aún envejecida, debe acompañar los movimientos de contracción y expansión del material de base; para ello debe presentar un comportamiento elástico (sin deformación permanente) luego de una elongación. La naturaleza del polímero (las ramificaciones largas de las estructuras poliméricas) le confieren elasticidad; en caso de ausencia de estas últimas, se incorporan plastificantes en nivel adecuado para presentar un Índice de Young satisfactorio (relación entre la tensión y la deformación específica) sin disminuir excesivamente la dureza.

- Resistencia a las bacterias y hongos: Los microorganismos (bacterias y hongos) particularmente actúan en pinturas y recubrimientos de base acuosa (tipo “emulsión”, diluibles con agua, etc.). La actividad biológica no es significativa en pinturas líquidas de base solvente orgánica ni tampoco en la película seca de estos materiales. Las bacterias desarrollan su ciclo biológico esencialmente en el envase, tomando como nutrientes algunos componentes

orgánicos (aditivos reológicos, etc.). Generalmente, en primera instancia se observa una disminución de la viscosidad, luego un descenso del pH y finalmente un fuerte olor característico. Los bactericidas deben ser solubles en agua e incorporados en niveles adecuados.

Los hongos, por su parte, se desarrollan fundamentalmente en películas con índices de absorción de agua elevados. Los fungicidas deben ser oleosolubles para evitar ser lixiviados por la lluvia, por el agua de condensación en superficies frías, etc.

- Otras propiedades adicionales: Resulta posible mencionar la resistencia a temperaturas extremas (hornos, etc.), a la radiación (plantas nucleares, etc.), a los esfuerzos mecánicos del medio (corte, tracción, compresión, etc. en estructuras enterradas), a la pérdida de adhesión en estructuras con protección catódica (desprendimiento de gas hidrógeno), etc. (Garriga, 2002).

### **Proceso de la producción de pintura**

La fabricación de pinturas es un proceso físico y no químico, basado principalmente en conseguir la mezcla íntima de sus componentes líquidos y sólidos. A este proceso de mezcla hay que añadir algunas veces el proceso físico de disolución de ciertos componentes sólidos en los líquidos apropiados (disoluciones de resinas) y también es importante, y mucho, el proceso de separación física de las partículas sólidas que se reciben en forma de agregados o aglomerados.

Todo ello se consigue con un aporte de energía, que inicialmente es eléctrica y se transforma en mecánica mediante motores de potencia adecuada a las cantidades de masa a mover y al objetivo deseado, que unas veces será lograr un movimiento turbulento general adecuado para lograr la mezcla íntima y homogénea en el menor tiempo posible, y otras concentrar la mayor cantidad de energía en pequeñas zonas para que se rompan o desagreguen los aglomerados de pigmento. (Mundial, 2014).

## **Etapas de fabricación**

El proceso de fabricación de las pinturas es totalmente físico y se efectúa en cuatro fases perfectamente diferenciadas:

- **Dispersión:** en esta fase se homogeneizan disolventes, resinas y los aditivos que ayuden a dispersar y estabilizar la pintura, posteriormente se añaden en agitación los pigmentos y cargas y se efectúa una dispersión a velocidad alta con el fin de romper los agregados de pigmentos y cargas.
- **Molido:** el producto obtenido en la fase anterior no siempre tiene un tamaño de partícula homogéneo o suficientemente pequeño para obtener las características que se desean. En este caso se procede a una molturación en molinos, generalmente de perlas.
- **Dilución (let-down):** la pasta molida se completa, siempre en agitación, con el resto de los componentes de la fórmula. Los productos se deben añadir uno a uno para evitar posibles reacciones entre ellos.
- **Ajuste de viscosidad:** es el último paso en la elaboración de una pintura, consiste en proporcionar a la pintura fabricada un aspecto de fluidez homogéneo en todas las fabricaciones y que se ajuste a las necesidades de aplicación de la misma.

## **Operaciones y equipo en el proceso productivo de las pinturas**

### **Dispersión y molienda**

Por lo general, los términos de molienda y dispersión se utilizan para un mismo fin, sin embargo en la industria de los recubrimientos cuando se habla de molienda y dispersión se está hablando de dos procesos diferentes. En el proceso de dispersión se busca la incorporación de pigmento en el vehículo de la pintura, esto se consigue rompiendo las partes que forman un aglomerado. En este proceso no se da la reducción de tamaño de partícula, lo que se intenta es remover la capa de aire que rodea la partícula e incorporarlo con el líquido utilizado como vehículo. (Mundial, 2014).

El principio de operación de un dispersor, es el de un disco rotatorio con hojas en forma de sierra en un tanque, por lo general abierto. Como no existe un medio de molienda, el pigmento se dispersa al ser acelerado en el rotor y en las corrientes a velocidad alta que se descargan en el vórtice de velocidad baja generado por el rotor. (Lambourne & Strivens, 1999).

Para realizar la operación de dispersión comúnmente se utiliza un dispersor de velocidad alta. Sin embargo, utilizar únicamente un dispersor de velocidad alta a veces no es suficiente. En ciertos casos en los que la calidad del producto es muy elevada, es necesario introducir además un equipo de molienda. Este proceso de dispersión hará que el número de veces que el producto deba pasar por el molino sea menor, aumentando así la productividad. (Lambourne & Strivens, 1999).

Los equipos de dispersión de velocidad alta son equipos que operan por lotes, por esta razón las materias primas se alimentan de manera manual. Generalmente, el tanque deberá estar equipado con una chaqueta de enfriamiento, la cual deberá proporcionar una temperatura de trabajo menor a 45 Celsius. Esto debido a que la temperatura aumenta rápidamente durante los procesos de dispersión. El problema de que esto suceda es que la mayoría de los solventes son muy volátiles y el tener temperaturas relativamente elevadas ocasionaría la pérdida de estos. También afecta la viscosidad del producto y disminuye la eficiencia de dispersión. (Lambourne & Strivens, 1999).

La velocidad de estos equipos debe ser variable para así poder alimentar las materias primas de una manera más sencilla, pero se recomienda mantener una velocidad periférica de 18-25 m/s en la etapa de dispersión, para ello se debe medir las revoluciones por minuto (rpm) del equipo con ayuda de un tacómetro.

Un tacómetro es un dispositivo que mide la velocidad de giro de un eje, normalmente la velocidad de giro de un motor. Actualmente se utilizan con mayor frecuencia los tacómetros digitales, por su mayor precisión. El tacómetro Láser Digital ofrece una mayor exactitud y cabe cómodamente en la mano. Mide el ventilador y eje RPM más rápido, fácil y preciso de hasta 15 centímetros de distancia. En la Figura 1.3 se muestra este dispositivo,



**Figura 1.3** Tacómetro de laser digital Model DT-209X.  
(The human solution, 2003).

Por último, es de suma importancia controlar el tiempo de dispersión, por esta razón este proceso debe ser supervisado. El tiempo promedio de dispersión es de 30 minutos. Una imagen de un dispersor de velocidad alta se puede observar en la Figura 1.4. (Hockmeyer, 2012).

También se recomienda contar con equipos medidores de flujo para así controlar el ingreso de las diferentes materias primas al lote de producción. Un flujo adecuado permite las reacciones e incorporación correcta de la mezcla, en cambio un ingreso alto de agua puede dejar gotas sin incorporarse que luego se reflejara en un mal desempeño en la aplicación de la pintura.



**Figura 1.4** Dispersor de alta velocidad marca Hockmeyer.  
(Hockmeyer, 2012)

Las mezcladoras de revoluciones altas, dotadas con un disco plano horizontal y dentado, situado al final del eje, que al girar éste a velocidades altas producen una velocidad tangencial muy alta en el borde del disco; se utilizan para obtener pastas espesas pero no tanto como en las anteriores. Suelen llamarse por lo general "dispersadoras" o "dispersores" de alta velocidad. En la literatura inglesa y americana se les denomina por las siglas HSD (High Speed Disperser)

Como en el caso de las mezcladoras lentas anteriores, la acción dispersadora en un "dispermix" puede haber sido suficiente para alcanzar las características deseadas del producto por lo que se habrá realizado en la misma máquina la acción de mezcla, humectación, predispersión y dispersión.

Si no fuese así, se hace pasar la pasta por otra máquina adecuada, normalmente un molino de perlas, para conseguir ese mayor grado de dispersión deseado. La energía que produce el motor eléctrico se emplea en gran parte para que la máquina que va a efectuar la mezcla se mueva y realice su función, pero otra parte se necesita además para que pueda llevarse a cabo la acción de humectar los pigmentos en polvo, es decir para desplazar el aire y la humedad que los rodea cuando se añaden al tanque o cuba de mezcla, más otra porción de energía para conseguir que las partículas que componen los aglomerados de pigmento se separen, se desagreguen, e inmediatamente se dispersen y se repartan uniformemente-en toda la masa de la pasta.

Esta energía necesaria se origina en un motor eléctrico y se transmite mecánicamente a través de los componentes (correa de transmisión, eje, disco) del "dispermix", a las pastas formadas por aglomerados y partículas de pigmento embebidas en un líquido adecuado, compuesto por resinas, disolventes y a veces aditivos.

En las páginas siguientes se analizan los factores mecánicos y físico-químicos que intervienen en estas fases del proceso. El proceso de dispersión consiste de tres etapas: (Mondragón Natarén, 2006).

- Humectación del pigmento
- Desagregación y desaglomeración
- Estabilización
- Humectación, desagregación y dispersión

Antes de pasar de la pre-dispersión a la molienda propiamente dicha, se debe entender que es lo que pasa dentro de una pasta de molienda, es decir cuáles son los mecanismos o procesos



físico-químicos que concurren en esa pasta desde el primer momento de iniciar la mezcla para llegar a la dispersión y luego a la dispersión final, ya sea en la propia instalación de pre-dispersión, ya sea haciendo pasar la pasta por otra máquina que la completa hasta la finura deseada, o mejor dicho hasta el grado de dispersión deseado, medido no por un bloque de finura sino por el desarrollo del brillo, del poder cubriente o de la fuerza colorante.

Las pinturas se diferencian de los barnices y lacas transparentes por su contenido en pigmentos y cargas. Este polvo de pigmento o carga, más o menos fino, está formado por una mezcla de partículas individuales, agregados de partículas o aglomerados de partículas y agregados

Para conseguir que el pigmento o la carga rindan con la contribución que se espera obtener de ellos en las propiedades de la pintura (color, poder cubriente, brillo, cuerpo, porosidad, etc.) deben estar presentes en la pintura con el mayor número posible de partículas individuales separadas entre sí, repartidas de forma estable en el seno de la pintura líquida, no perder este estado por reagrupamiento de las partículas a corto o largo plazo. (Mundial, 2014).

A esta parte del proceso de fabricación que tiene el objetivo de conseguir esta separación individualizada y estable de las partículas, se le llama fase de dispersión, también conocida por molienda, aunque nos parece impropio este último término pues moler es sinónimo de romper un sólido (una roca, un grano de cereal, etc.) en trocitos pequeños hasta llegar a un polvo fino, y ésta es la función de los fabricantes de pigmentos y cargas, no de los fabricantes de pinturas, los cuales sólo deben desagregar o separar los granitos ya producidos en su tamaño definitivo por el productor del pigmento, sin tratar de disminuir aún más su tamaño individual. (Mundial, 2014).

La gran mayoría de pigmentos se fabrican en fase húmeda y al secar este líquido madre se obtienen las partículas individuales de pigmento que se han formado en ella, que se lavan, se secan y se muelen, y en este último proceso, se pegan o reagrupan en parte ya sea debido a una acción de cementación durante el secado, producida por los residuos de sales en las aguas últimas de lavado, ya sea por un almacenaje prolongado bajo mucho peso o en condiciones de

humedad. (Sinterización de las partículas). La dispersión de estos pigmentos se ha tratado siempre en términos de tres procesos físicos que se solapan

**Humectación:** Desplazamiento de los gases (aire) y otros contaminantes (p.ej. agua) adheridos a las partículas, mediante un vehículo líquido humectante

**Desaglomeración:** Destrucción mecánica de los aglomerados y separación de las partículas.

**Dispersión:** Movimiento de las partículas en el interior del vehículo para lograr una distancia y una separación permanente (fase de estabilización) Si esta última fase del proceso no se lleva a cabo de forma eficaz, las partículas pueden volverse a reagrupar (floculación).

A continuación se detalla cómo se producen y qué influencias reciben estas tres acciones.

### **Humectación**

La humectación del polvo por un líquido supone en primer lugar el desplazamiento de la capa de aire que rodea la superficie de la partícula reemplazándola por el líquido que la moja o humecta. Ello supone una cierta cantidad de trabajo y de tiempo, mayor o menor según las características de la superficie del polvo y del líquido (tensión superficial y ángulo de contacto con el sólido), para que el líquido penetre por los capilares que existe en los grumos de pigmento seco que se forman simplemente al añadir el polvo al líquido. Cuanto menos viscoso sea el líquido, mejor penetrará. (Mundial, 2014).

La presencia de agentes tensoactivos (humectantes) hará que la humectación sea más rápida. Un líquido muy viscoso o una pasta espesa dificultará la humectación, por ello las últimas porciones de pigmento añadidas tardarán en mojarse y humectarse mucho más que al principio de la mezcla. Se recomienda por ello, si hay una mezcla de pigmentos y cargas, añadir primero las más difíciles de humectar y al final las más fáciles.

## **Desaglomeración**

Una vez alcanzado este estado de pasta humectada, o incluso mientras se está alcanzando, se empieza a destruir o separar los agregados (grupos de aglomerados de pigmento), pues las fuerzas que los unen suelen ser relativamente débiles y a medida que les llega una energía suficiente se separan en los aglomerados o racimos de pigmentos unidos por fuerzas mucho más fuertes, que han de ser vencidas por un aporte mayor de energía que llegue hasta ellos. (Mundial, 2014).

La energía necesaria puede llegar a ellos por tres caminos diferentes y, en general, contrapuestos, por una acción de impacto (como en el martillo), por una acción de cizalla (como en las tijeras) y por una acción de frotamiento (como en el almirez).

Hace años se utilizaba con mucha frecuencia el procedimiento del golpeteo o impacto mediante los molinos de bolas, especialmente los de bolas de acero, para machacar pigmentos duros de moler, como los óxidos de hierro naturales, o como en el caso específico de los negros de humo en los que el molino de bolas de acero desarrollaba el máximo brillo 'Y' negrura para esmaltes negros.

En las últimas décadas, los fabricantes de pigmentos vieron la necesidad de producir toda clase de pigmentos en forma micronizada, en los que las partículas ya eran de tamaño individual muy pequeño y los aglomerados eran relativamente blandos por lo que se les podía aplicar a todos el procedimiento de frotamiento o el de cizallamiento, para conseguir la figura deseada, substituyéndose la mayoría de los molinos de bolas por molinos de perlitas a velocidad alta.

Quedan pues ahora los molinos de bolas para casos específicos en los que a veces pueden desarrollar mejor las propiedades del pigmento (profundidad de negrura en los negros de humo mediante bolas de acero, transparencia sin contaminación en los óxidos de hierro transparentes mediante bolas de porcelana).

El procedimiento del impacto o golpeteo requiere un medio líquido fluido, con una viscosidad mínima para que no frene el golpe (véase el caso extremo de la molienda de negros de humo

en el que se inicia el proceso dispersando el pigmento sólo en disolvente), mientras que en el caso del frote o cizalla la viscosidad ha de ser la máxima posible.

Se deduce de inmediato que ambas condiciones son opuestas y por tanto una pasta apropiada para uno de estos dos procesos no lo será en absoluto para el otro. Sin embargo hay molinos en los que se conjugan ambos procesos y por ello la viscosidad óptima será intermedia y habrá que formular la pasta con cuidado.

### **Fuerzas de cizalla**

Se producen cuando el objeto, es decir el aglomerado de pigmento se encuentra entre dos superficies muy próximas que se desplazan a distinta velocidad en la misma dirección o en dirección contraria. No es necesario que las superficies sean rígidas (como en las tijeras) pues si hay una pasta pegajosa y con suficiente viscosidad esa acción de cizalla se transmite a las capas adyacentes.

Estas fuerzas se generan junto a un disco a alta velocidad girando en el seno de una pasta, o en el hueco existente entre los rodillos de una tricilíndrica, por ejemplo. Es en los molinos de rodillos cilíndricos donde se muestra fácilmente esta acción de cizalla, pues no es sólo la presión de contacto entre rodillos lo que machaca y deshace el racimo de aglomerado (la separación entre ellos es mucho mayor que la dimensión de un aglomerado) sino la acción de estiramiento o desgarre que ejercen las dos capas de pasta pegajosa, viscosa, movidas en sentido contrario y a diferente velocidad, por su adherencia a la superficie de los rodillos.

La acción de un dispersador de disco de velocidad alta, tratado como el elemento más útil para lograr una buena pre-dispersión, se basa en la acción de cizalla ejercida sobre la pasta por el gradiente de velocidad que se crea en las cercanías del disco. Esta acción de cizalla no será en él tan enérgica como en el caso de un molino de rodillos o de una amasadora de palas en forma de sigma, pero resulta muy útil enfocarlo así para formular las pastas de pre-dispersión. (Mundial, 2014).

## **Fuerzas de frotamiento**

Los aglomerados pueden deshacerse también por efecto del frote entre dos bolas o perlitas que se deslizan o ruedan a distinta velocidad una sobre otra, o que se deslizan a lo largo de las paredes de un recipiente o cámara de dispersión. Este tipo de acción es importante cuando los molinos están suficientemente llenos de bolas o perlitas y no tienen espacio para colisionar sino que simplemente se mueven frotándose unas con otras. Una viscosidad baja ayuda a lograr un mayor efecto en este tipo de mecanismo.

Los aglomerados deben tener ya un tamaño relativamente reducido para que el efecto de frotamiento pueda actuar eficazmente sobre ellos.

## **Estabilización de la dispersión**

Una vez dispersadas, las partículas individuales del pigmento están rodeadas de una capa de ligante diluido adsorbida en su superficie y este conjunto flota en el seno de más ligante. Aunque esa masa dispersa tiene una cierta viscosidad, que hace que sus movimientos sean más lentos y compensa la fuerza de la gravedad sobre los pigmentos, especialmente los inorgánicos, hay otras fuerzas de atracción entre ellos que tiende a reaglomerarlos o flocularlos de nuevo, aunque sea de forma más débil que como lo estaban antes de dispersarlos. Esto es más probable en las pastas de molienda altamente cargadas de pigmento.

Por ello las partículas dispersas deben ser protegidas contra esta tendencia hacia la floculación, no sólo durante el proceso de molienda y completado, sino también durante el almacenamiento prolongado de la pintura líquida terminada y durante la aplicación y secado de la misma, para evitar problemas de poso, descompensación del color, etc.

Una de las características de una dispersión coloidal, y las pinturas molidas finamente están próximas a ese estado, es el movimiento "browniano" de las partículas en suspensión coloidal y ello puede resultar en múltiples choques entre ellas, dando ocasión a su reunión, si no están suficientemente protegidas. Una de las funciones de los agentes dispersantes es mantener el

sistema en estado de floculado cuando se acercan entre sí dos partículas dispersadas, se ponen en acción dos fuerzas contrapuestas, una de atracción y otra de repulsión. (Mundial, 2014).

Las fuerzas atractivas son fuerzas de van der Waals, que alcanzan hasta el límite de distancia del diámetro de unas pocas moléculas; son fuerzas electromagnéticas que se producen por la interacción de los dipolos moleculares en las partículas. Son más débiles que las fuerzas de enlace iónico o de enlace covalente, pero son efectivas cuando la distancia entre partículas es menor de un micrómetro, aumentando rápidamente a medida que disminuye la distancia entre ellas.

En la fase de dispersión también se presentan otras fuerzas de atracción, como los puentes de atracción entre cadenas de polímero, los enlaces de hidrógeno, cuya fuerza de atracción es mayor que las de van der Waals pero cuyo radio de acción es menor, las fuerzas electrostáticas, asociadas a la presencia en la superficie de los pigmento de cargas eléctricas opuestas y la fuerza gravitatoria, que tiene una cierta influencia cuando el tamaño de las partículas es mayor de un micrómetro.

### **Dispersadores de disco a alta velocidad**

Aunque en realidad el dispersador de disco a velocidad alta está diseñado para desaglomerar agregados de partículas de pigmentos, la formación de un vórtice con esta máquina es una ventaja para usarlo como mezclador, pues el pigmento puede verterse poco a poco en el vórtice y ser rápidamente absorbido en el seno de la masa. Como también sirve para disolver resinas, diluir resinas espesas, homogeneizar pinturas, mezclas de pastas coloreadas, etc., e incluso en algunos casos para conseguir una dispersión suficiente en muchas pinturas (plásticas), es la máquina más versátil utilizada en una fábrica de pinturas.

Un "dispermix" consiste simplemente en un eje vertical que gira a velocidad alta, un disco dentado ajustado firmemente en un extremo y un recipiente o tanque que contendrá la pasta.

El eje giratorio debe ser robusto para no torcerse ni doblarse por efecto de las grandes tensiones a las que puede estar sometido y está impulsado por un motor de potencia suficiente

para mantener las velocidades altas que se solicitan, en condiciones de pastas de mucha viscosidad y alto contenido de producto en el tanque. Normalmente suele estar dotado de un variador de velocidad progresivo, aunque también hay modelos con dos únicas velocidades una baja para la premezcla y otra alta para lograr la predispersión o incluso la dispersión de las partículas de pigmentos. También está dotado de un sistema de elevación y descenso, y otro de desplazamiento en ángulo para poder situarlo en el punto óptimo deseado para cada caso dentro del volumen del tanque.

El disco cumple dos funciones diferentes, la de impulsar y mover la pasta para que todas sus partes vayan pasando por el disco y se deslicen por ambas caras del disco para ser lanzada a gran velocidad por la fuerza centrífuga que genera su giro, que es la segunda función del disco, la de transmitir una gran cantidad de energía mecánica a las partículas que salen despedidas en su periferia. (Mundial, 2014).

### **Preparación de una pasta óptima para dispermix**

La simulación a pequeña escala de las condiciones del proceso de producción con el "disolver" es difícil, sin embargo la calidad del producto que se obtiene es bastante similar. Se recomienda parar cuando se alcance aproximadamente la misma temperatura final en el proceso de laboratorio que en el proceso a escala industrial, esto significa que se ha utilizado más o menos la misma cantidad de energía por kilogramo. El objetivo en el proceso a pequeña escala debería ser una velocidad periférica del borde del disco más baja que en producción.

### **Variables geométricas**

El fondo del tanque puede ser plano o en forma de casquete esférico. En el primer caso puede ser totalmente horizontal o bien ligeramente inclinado, para ayudar a escurrir la pasta y los líquidos de limpieza en ambos casos el orificio de salida estará situado en el punto más bajo posible; esto se aplica en los tanques portátiles de 500 ó 1 000 litros. En los tanques fijos de 2 000 litros o mayores, el fondo suele ser de forma esférica y el orificio de salida en el centro del

mismo; en este caso la distancia de referencia para respetar la recomendación anterior, suele tornarse desde la línea que marca la mitad de la curvatura del casquete esférico.

Debe entenderse claramente que la dispersión se produce en las zonas muy próximas a la superficie del disco y especialmente en la periferia del mismo, por lo que un disco sin dientes también podría llegar a producir un efecto de cizallamiento en sus proximidades pero sin conseguir mover la pasta. Los dientes del disco son imprescindibles para conseguir moler la pasta más allá de la zona de fricción y que al chocar con las paredes del tanque se produzca un movimiento de circulación que consiga hacer volver a pasar por la zona de fricción cada grumo o zona de pasta.

La fricción que se produce en el disco y sobre todo en los dientes que impulsan la pasta es muy fuerte y los desgasta rápidamente, dependiendo de la naturaleza abrasiva de los aglomerados, especialmente de algunas cargas, y por supuesto de la resistencia de la aleación utilizada en su fabricación. Se debe vigilar con frecuencia la altura de los dientes del disco para substituirlo por uno nuevo cuando el desgaste haya reducido a una altura en un 50 %. Un indicio del desgaste excesivo, es que se nota que la pasta se mueve más lentamente de lo normal.

En el primer caso, es decir en la pre-dispersión de una pasta al disolvente, suele buscarse una finura alta, o lo que es lo mismo la desaparición del mayor número de agregados, y para ello se busca conseguir un equilibrio entre un movimiento general de la pasta para que todas sus partes pasen bastantes veces por el disco y la creación de una pasta espesa capaz de crear fuerzas de cizallamiento suficientemente fuertes para lograr la desaglomeración de las partículas, La experiencia ha demostrado que en este punto óptimo la apariencia visual de la pasta es la de un roscón o "dona" girando alrededor del eje, apoyado sobre la periferia del disco, dejando ver aproximadamente una tercera parte de la superficie plana del mismo.

### **Variables del eje**

Una vez obtenido el punto óptimo de la pasta, se pone la máquina a toda potencia y se aumenta la velocidad, teniendo en cuenta el diámetro del disco, para alcanzar en el borde del



disco una velocidad periférica de 18 a 25 m/s, (1 000 a 1 500 m/min o bien 3 300 a 4 500 ft/min), que se considera la óptima para conseguir la mejor dispersión posible. (Mundial, 2014).

### **Tiempo de acción dispersadora**

El tiempo de una dispersión óptima es de 15 o 20 minutos, pasado éste no se consigue ninguna mejora en la dispersión, pues el calentamiento progresivo de la pasta rebaja su viscosidad demasiado para mantener la posibilidad de seguir produciendo un cizallamiento adecuado. (Mundial, 2014).

### **Efecto del aumento de la temperatura durante el proceso de dispersión**

El aumento de temperatura de la pasta durante la acción del "dispermix" ejerce un efecto claramente negativo en la dispersión y cualquier medida que se tome para contrarrestarlo será beneficioso; por ejemplo enfriando con una camisa de agua fría, aunque esto raramente se hace en la práctica, excepto en el caso de productos muy sensibles a las temperaturas altas.

El aumento de temperatura se deriva de la gran cantidad de energía que se dedica a crear turbulencias (se estima que sólo del 5% al 10% de la energía va al proceso útil de dispersión) y toda esa energía cinética se disipa en forma de calor y produce un aumento de la temperatura de la masa.

Un valor típico de la elevación de la temperatura es de 1-2 °C/minuto. Al cabo de 20 - 30 minutos, la temperatura ha subido de tal manera que la viscosidad ha descendido substancialmente; la eficacia de dispersión ha caído rápidamente:

De ahí se deduce que todo el material sólido debe añadirse a unas revolución por minuto bajas, para que la temperatura se mantenga todavía baja y la viscosidad alta cuando el "dispermix" se ajuste al máximo de sus revoluciones por minuto.

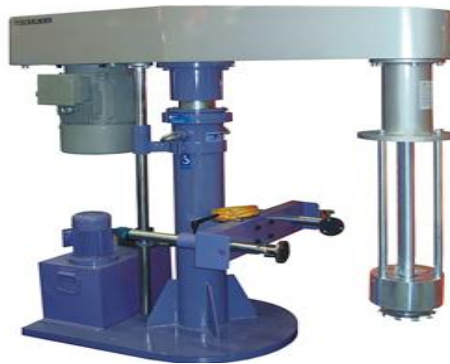
Los conocimientos hasta la fecha no permiten detectar este punto crítico de calentamiento de la pasta para cada caso, por lo que es posible que este hecho práctico haya pasado desapercibido para muchos técnicos en pinturas.

Entre las variables dependientes, la potencia del motor y la temperatura son unos buenos indicadores de la marcha del proceso. La temperatura suele llegar al menos hasta los 50 - 60 °C antes que se pueda decir que se ha utilizado eficazmente el "dispermix".

### **Molienda**

El proceso de molienda si se refiere a la reducción del tamaño de la partícula, es un proceso mediante el cual se da la fractura del cristal. Existen dos formas de realizar este proceso, en seco o en húmedo. En el caso de la industria de las pinturas, después del proceso de dispersión solo se puede realizar la molienda en húmedo. (Mondragón Natarén, 2006).

El principio de operación de estos equipos es el de bombear la mezcla predispersada a través de un cilindro que contiene un volumen específico de arena el cual es agitado por un rotor. Esta mezcla es separada de la arena por medio de una malla apropiada (Lambourne & Strivens, 1999). En la Figura 1.5 se observa una imagen típica de un equipo de molienda vertical. (Sower Group, 2012)



**Figura 1.5** Equipo de molienda vertical.  
(Mondragón, 2006)

### **Mezclado**

La operación de mezclado se utiliza para realizar la combinación de los diferentes componentes que hacen la pintura o el recubrimiento. Esta se realiza, por lo general, en tanques que pueden

ser fijos o transportables y que están equipados con agitadores de paletas o turboagitadores. (Baley, 1983).

Los mezcladores se diseñan para manejar viscosidades altas y se utilizan principalmente, para la manufactura de selladores. El tanque utilizado debe ser cilíndrico y debe de estar asegurado en una posición. El rotor puede ser de diseño variable pero debe estar montado en una base que tenga ajuste vertical. (Lambourne & Strivens, 1999).

El proceso de producción de pinturas involucra la utilización de una cantidad extensiva de mezcladores para la mezcla de las resinas, los solventes, los aditivos y los pigmentos para completar la formulación de la pintura. El agitador utilizado puede ser de paleta, hélice, turbina o de disco, con el fin de cubrir una variedad de aplicaciones y esta puede ser fija o portátil. (Lambourne & Strivens, 1999).

Los factores principales que afectan la eficiencia del mezclado son la viscosidad, densidad relativa y contenido de sólidos. Antes de envasar el producto es necesario pasarlo por un filtro con vibración para de esta manera separar aglomeraciones que no se pudieron disgregar y eliminar impurezas que pudieran haber contaminado el producto durante su fabricación. Cuando se producen esmaltes de alta calidad, a estos se les debe realizar una clarificación por centrifugado. (Baley, 1983).

### **Control de calidad para evaluación de pintura**

El uso internacional de las normas del comité D01 de ASTM: las pinturas y los revestimientos le ponen color al mundo y su calidad, como también la de barnices, lacas, tintas de impresión y materiales de los artistas, está garantizada por las normas que desarrolla un antiguo comité de ASTM International. La globalización ha cambiado el mundo de los negocios de varias maneras, y uno de los resultados es que las normas del Comité D01 de ASTM se usan en todo el mundo, especificando los pigmentos y la preparación de la superficie, y que se usan para probar los componentes de los revestimientos y las propiedades de las pinturas. (Kramper, 2002).

## Pruebas Típicas

La existencia de una gran diversidad de productores de pinturas suministrando una gama de productos, obliga a tener un control sobre la pintura que se adquiere. Para poder tener una certificación de la calidad de una pintura, es necesario conocer el desenvolvimiento de la misma en aplicación y servicio además de la calidad de los componentes, del proceso de fabricación y del criterio del diseño de esta.

Así pues, se necesitara una serie de pruebas que se referirán a todas las distintas facetas que intervendrán en la calidad de una pintura. Estas pruebas comprenden propiedades físicas, químicas y mecánicas, así como aspectos estéticos, y la clasificación de dichas pruebas será dependiendo de qué tipo de propiedad se desea evaluar.

Estas pruebas se encuentran especificadas y estandarizadas por diferentes instituciones regidoras. Como referencia se usa el listado de "Pruebas Típicas de Calidad de Pintura" preparado por Bernard M. Kramper que toma en consideración las pruebas establecidas por organismos como la ASTM que se muestra en las distintas tablas a continuación: (Kramper, 2002).

**Cuadro 1.1** Pruebas ASTM para la medición de consistencia en las pinturas midiendo la viscosidad.

Prueba	Descripción
D2196	Viscosidad Brookfield
D562	Viscosidad Stormer
D1200	Copa Ford #4
D1084	Copas Zahn
D1545	Tubos de Gardner-Hold

**Cuadro 1.2** Pruebas ASTM para la medición del grado de molienda.

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>
D1210	Medidor de Hegman
D1210	Medidor de mils

**Cuadro 1.3** Pruebas ASTM para la medición de densidad.

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>
D1475	Copa peso por galón
D819	Pynómetro
D819	Balanza de Westphal
D819	Hidrómetro

**Cuadro 1.4** Pruebas ASTM para la medición de características de aplicación.

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>
D2801	Uniformidad, lisura
D823	Propiedad de humedecer
D1296	Olor

**Cuadro 1.5** Pruebas ASTM para la medición de características de película.

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>
D1640	Tiempo de secado
D523	Brillo
D31346	Color

**Cuadro 1.6** Pruebas ASTM para la medición de apariencia en el contenedor.

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>
D2090	Condición general
D185	Partículas gruesas y odres
D154	Formación de odres
D1849	Estabilidad en almacenaje

**Cuadro 1.7** Pruebas ASTM para la medición de composición

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>
D2369	Contenido de volátiles y no volátiles
D2698	Contenido de pigmentos

**Cuadro 1.8** Pruebas ASTM para la medición de características de aplicación.

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>
D1737	Flexibilidad-Mandril
D522	Mandril cónico
D3363	Dureza-lápiz
D2134	Sward Rocker
D1474	Idéntica
D2240	Durómetro
D968	Caída de arena
D1044	Tambor abrasivo
D2197	Adherencia

**Cuadro 1.9** Pruebas ASTM para la medición de resistencia (desenvolvimiento).

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>
D2247	Humedad
B117	Niebla Salina
D822	Corrosión acelerada
G53	Q.U.V

A esta ya extensa lista se suma otra aún más extensa de pruebas que tienen que ver con el análisis específico de los tipos de componentes de la pintura y de características mecánicas, además de pruebas de exposición de probetas, las cuales conllevan una gran inversión de tiempo.

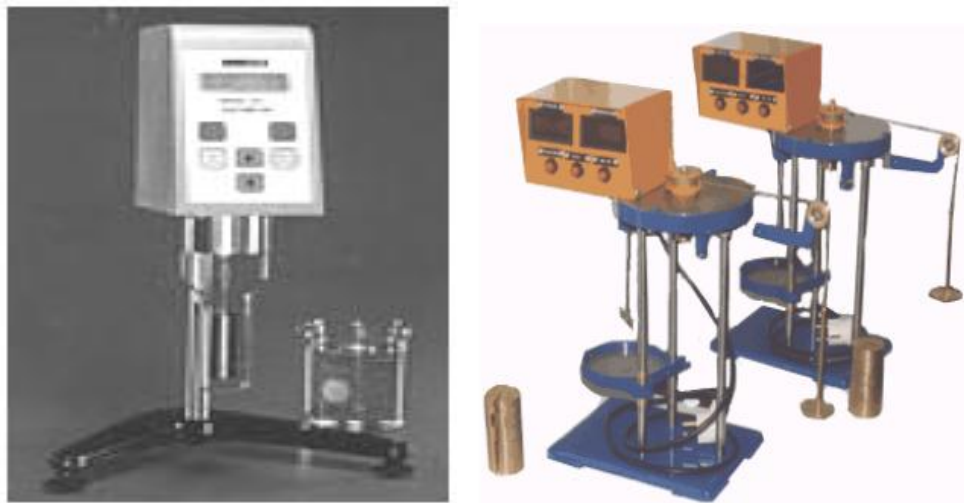
Todas estas pruebas requieren de equipos de mucha tecnología y de operarios de los mismos con conocimientos suficientes para conducir e interpretar los resultados de las mismas, pues debido a la cantidad de variables que afectan en los procedimientos es necesario tener consideraciones de humedad ambiental y temperatura, que solo pueden obtenerse en laboratorio y que al variar darán resultados fuera de los márgenes establecidos por la estandarización y completamente irreales. (Kramper, 2002).

Una vez que la pintura se fabrica, es necesario realizarle una serie de pruebas con el fin de asegurar y confirmar las propiedades determinadas del producto y con esto la calidad de pintura. Por la complejidad de las pinturas no se van a mencionar todas las pruebas que se realizan sino únicamente las más importantes.

Viscosidad: La viscosidad es una de las propiedades más importantes de las pinturas. Esta usualmente se determina midiendo el tiempo requerido para que una determinada cantidad de pintura fluya a través de un hueco en el fondo de una copa de metal. Existe una gran variedad de tamaños de copa y de huecos de drenaje para utilizar según la viscosidad de la pintura. La copa más utilizada son la Fischer, Ford y el viscosímetro Zahn.

En el viscosímetro de Brookfield la medición obtenida está en unidades Krebs, con las cuales depende del peso y las revoluciones por minuto utilizados se obtiene la viscosidad. Este viscosímetro permite una medición rápida para determinar la consistencia (viscosidad) de la pintura, éste tiene un ámbito de medición de 27 a 5 274 cP, es un viscosímetro de uso fácil, con un ámbito de error de  $\pm 1$  cP.

El viscosímetro de Stormer es utilizado en la industria para medición de pinturas y fluidos viscosos. Este viscosímetro se utiliza para mediciones de viscosidad mayores a 100 cP, y el ámbito de error en sus mediciones es de  $\pm 1$  KU.



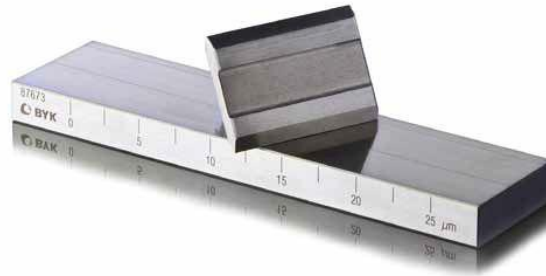
**Figura 1.6** Viscosímetro de Brookfield y Stormer.  
(Talbert, 2008).

Estirado: Esta prueba se basa en comparar visualmente dos aplicaciones de pintura en un papel o vidrio. Una de las aplicaciones es una muestra estándar y la otra es la muestra que se desea analizar. En esta prueba se utiliza una cuchilla para prueba de estirado o arrastre como la que se observa en los métodos de trabajo. Esta prueba tiene como objetivo observar el acabado de la pintura y si existe presencia de grumos o no. (Talbert, 2008).

Fineza Hegman: Los pigmentos deben ser molidos en finas partículas durante la dispersión. La finura no depende solamente del tamaño de la partícula individual, sino, que también del grado al que se ha dispersado. Para determinar la finura de la molienda se utiliza un grindómetro. Esta



no determinada el tamaño ni la distribución de las partículas. El grindómetro es un bloque plano de acero con dos ranuras en forma de cuña en las cuales varia la profundidad uniformemente. La profundidad de la cuña puede leerse en una escala grabada en el lado del bloque. (BYK, 2012).



**Figura 1.7** Grindómetro de Hegman.  
(BYK, 2012).

Grosor de la película: El espesor de la película es importante para el desempeño de las pinturas. Películas muy delgadas aparentan ser del color incorrecto o podrían no proveer el mismo nivel de desempeño. El agua puede penetrar más fácilmente el sustrato si la película es muy delgada. Sin embargo las películas muy gruesas también pueden generar problemas, estas tienden a quebrarse. (Talbert, 2008).

El espesor de la película mojada se mide para el control del proceso. Este puede medirse con un medidor de inmersión que tiene una serie de dientes de diferentes largos en la orilla. Este medidor se coloca en la pintura fresca, el borde del medidor es soportado por dos dientes de la misma altura para control de la medición. El espesor se determina por el último diente que deja una marca en la película de pintura. (Talbert, 2008).

Brillo: La cantidad de luz que se refleja hacia el ojo del observador determina el brillo que la película de pintura va a poseer. Entre más luz se refleje más brillo va a tener la película. La uniformidad de la película afecta el reflejo de la luz. Entre más uniforme sea esta, mejor se reflejará la luz incidente hacia el observador sin dispersarse.

Por lo general el brillo se mide con un equipo fotoeléctrico. La luz refleja se convierte en una señal eléctrica por un fototubo. La intensidad de la señal es proporcional a la cantidad de luz reflejada. Esta luz reflejada al compararla con la luz original que cae sobre la superficie, es una medición de brillo. (Talbert, 2008).

Color: La comprobación de color es una prueba muy importante en el proceso de manufactura de las pinturas. Los colores deben ser idénticos entre lotes. Esta prueba suele ser complicada ya que la percepción del color puede variar entre persona y persona. Además, el color puede cambiar si este se observa bajo diferentes tipos de luz. Por esta razón es que es usual que la comparación de colores se haga bajo condiciones constantes de iluminación y fondo. (Talbert, 2008).

Existe equipo muy elaborado para la medición del color, este analiza la composición del color de una superficie pintada. Estos equipos se utilizan en los laboratorios de formulación en las industrias manufactureras de pinturas. (Talbert, 2008).

### **Procesos de agitación y mezclado**

En la industria muchas operaciones dependen de una agitación eficaz y mezcla de fluidos. La agitación tiene como objetivo forzar a un fluido a adquirir movimiento, mientras que el mezclado se refiere a una distribución al azar de dos o más fases inicialmente separadas que se ponen en contacto, de tal forma que al final de la operación se obtenga un sistema homogéneo a cierta escala (desde molecular hasta macroscópica). Por lo que un material puede agitarse, pero no se mezclará si no se le agrega otro material.

La agitación de líquidos tiene un gran número de propósitos dependiendo del objetivo del proceso, entre los cuales se encuentran: (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

- Suspensión de partículas sólidas.
- Mezclado de líquidos miscibles.
- Dispersión de un gas en forma de pequeñas burbujas.

- Dispersión de un segundo líquido, inmiscible con el primero, para formar una emulsión o suspensión de gotas diminutas.
- Promoción de la transformación de calor entre el líquido y un serpentín o chaqueta.

Cada una de las combinaciones de fases mencionadas requiere de equipos distintos así como principios específicos que modelen cada sistema; una tarea fundamental en ingeniería química (con gran peso en la parte de agitación y mezclado) es el escalamiento.

Cuando se estudia una matriz para agitarla o realizar una mezcla, se trabaja primero con un prototipo en el laboratorio, del cual se obtienen los datos necesarios para poder diseñar un sistema de mayor tamaño; esto es muy útil cuando se carece de datos para una sustancia con la que se va a trabajar. El diseño y la experimentación van de la mano para generar información útil que complemente las ideas existentes y que forje nuevos caminos y métodos para mejorar el proceso. (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

### **Criterios de agitación**

Para agitar un fluido se deben considerarse, antes que todo, tres factores muy importantes:

1. El tipo de agitador.
2. Las características del fluido.
3. El tamaño y proporciones del contenedor, considerando la presencia o no de los deflectores.

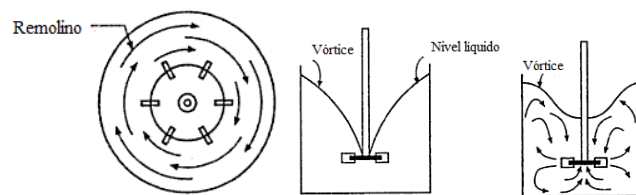
La velocidad de un fluido en cualquier punto de un tanque agitado posee tres componentes llamadas radial, axial y tangencial. El patrón de flujo total depende de las variaciones de los componentes de la velocidad entre punto y punto. La velocidad radial actúa de manera perpendicular al agitador. La velocidad axial actúa de manera paralela al eje de giro y la velocidad tangencial o rotacional se manifiesta en dirección tangente a la trayectoria circular alrededor del eje. (Gavne, 2009).

Los componentes radiales y axiales son útiles para proveer el flujo necesario para mezclado; cuando el eje es vertical y se localiza en el centro del tanque, la componente tangencial es

desventajosa, pues el componente tangencial crea un vórtice en la superficie del líquido y tiende a perpetuarse, por flujo laminar, en varios niveles del tanque.

En flujo circular, el líquido fluye con la dirección del movimiento de los agitadores; la velocidad relativa entre la hoja del agitador y el líquido se reduce y la potencia absorbida por el líquido es poca. En el caso de tanques sin deflectores, el flujo circular con vórtice es causado por todo tipo de agitadores (Gavne, 2009). Cuando remolino es fuerte, el patrón de flujo no respeta el tipo de agitador; a velocidades altas el vórtice puede llegar a la base del agitador y el gas circundante rodea al agitador. Esto es indeseable en todos los casos, pues desperdicia potencia y podría dañar el equipo.

Si se agita un fluido de viscosidad baja en un tanque sin deflectores, por medio de un agitador central, existe la tendencia de que se desarrolle un patrón arremolinado; para el fluido más liviano (usualmente aire) se da el efecto de ser “succionado” para formar un vórtice en la superficie del líquido agitado, lo que reduce el efecto de agitado y mezclado.



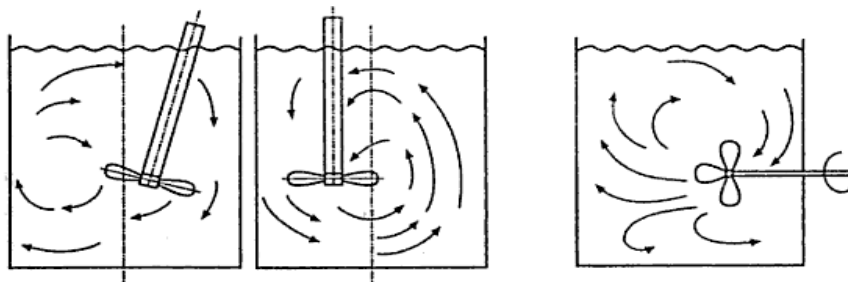
**Figura 1.8** Formación de vórtice y patrón de flujo en tanque sin deflectores.  
(Gavne, 2009).

El fenómeno citado actualmente se da en los tanques sin mamparas, sin importar el tipo de agitador que se utilice. Un patrón de flujo en un tanque sin mamparas para flujo axial o radial se muestra en la Figura 1.8. En el líquido de viscosidad baja donde se forma el vórtice las velocidades verticales son bajas en comparación con las velocidades circunferenciales en el contenedor (Gavne, 2009). En la parte superior del vórtice el líquido toma una forma de “V” esto impide un mezclado eficiente. El vórtice se produce por la fuerza centrípeta que actúa en el líquido que rota.

Para prevenir la aparición de remolinos y vórtices existen tres métodos comunes:

- Descentrar el agitador
- Uso de deflectores
- Uso de un anillo difusor con turbinas

En tanques pequeños, el agitador puede ubicarse a un lado (no precisamente en el centro) o inclinado; en tanques más grandes, los agitadores pueden colocarse de manera horizontal como se observa en la Figura 1.9. En contenedores con agitadores verticales el método más común para reducir los remolinos es instalar deflectores, los cuales impiden flujo rotacional sin afectar los flujos radiales y axiales. (Gavne, 2009).



**Figura 1.9.** Distintas ubicaciones de los agitadores para prevenir vórtices.  
(Gavne, 2009)

En un tanque sin mamparas existen flujos tangenciales fuertes y formación de vórtices a velocidades intermedias. Cuando los deflectores se posicionan, los flujos verticales se incrementan y promueve un mejor mezclado de la materia prima.

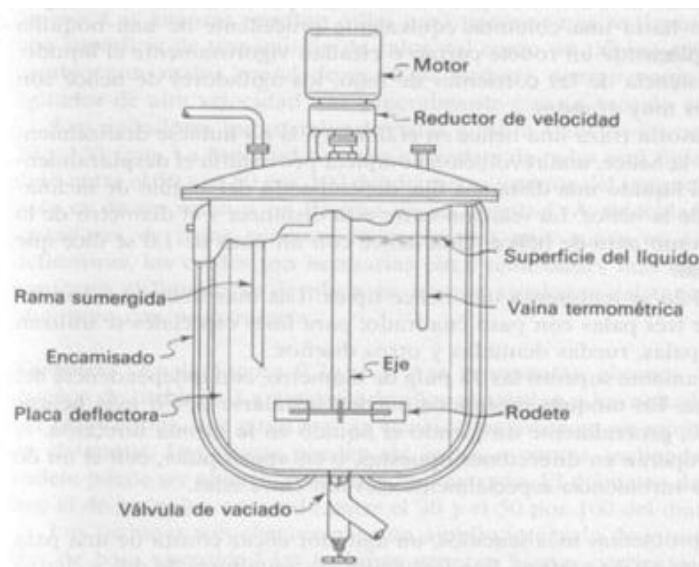
En el caso de tanques con agitadores inclinados u horizontales, las mamparas son prescindibles. En el caso de agitación por medio de turbinas, las corrientes principales son de tipo tangencial y radial, por ende se forman muchos torbellinos; en este caso los deflectores son necesarios.

### **Equipo para Agitación y Mezclado**

Los líquidos generalmente se agitan en recipientes de forma cilíndrica cuyo fondo debe ser redondeado para evitar regiones en las cuales las corrientes de fluido no penetran. Dicho recipiente está provisto de un eje vertical, el cual debe cumplir con ciertas dimensiones establecidas dependiendo del patrón de agitación. Generalmente se utiliza un diseño

estandarizado. La altura del líquido debe ser aproximadamente igual al diámetro del tanque, y el agitador debe colocarse a un tercio del diámetro interno del recipiente. El agitador se instala generalmente sobre un eje, que se encuentra unido a un motor por medio de una caja reductora de velocidad. (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Otros sistemas empleados como parte para la agitación y el mezclado son los agitadores mecánicos, bombeo y mezcladores en línea. En la Figura 1.10 se muestra un tanque típico de agitación con las partes: motor, reductor de velocidad, rama sumergida, vaina termométrica, encamisado, placas deflectoras, válvula de vaciado y los agitadores. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).



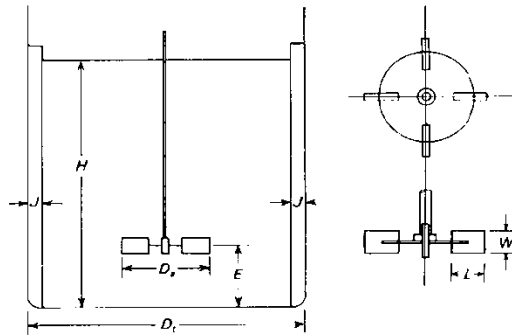
**Figura 1.10** Tanque típico de agitación.  
(McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

El diseño de un tanque de agitación cuenta con variables fijas de diseño que afectan la velocidad de movimiento de las partículas, los modelos de velocidad y el consumo de potencia, las proporciones para un tanque estándar que se siguen en el diseño es este tipo de tanques, que se muestran en la Figura 1.10 es la siguiente: (McCabe, Smith, & Harriot, 2007)

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \qquad \frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{2} \qquad \frac{E}{D_a} = 1 \qquad (1.3)$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \qquad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$



**Figura 1.11** Tanque agitado estándar.  
(McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

### Tipos de agitadores

El tipo de impulsor o agitador crea un modelo de flujo en el sistema, dando lugar a que el líquido circule a través del tanque y eventualmente retorne al impulsor. Se dividen en los que generan corrientes paralelas al eje del impulsor y aquellos que generan corrientes en dirección radial. Los primeros reciben el nombre de impulsores de flujo axial y los segundos impulsores de flujo radial.

Los principales tipos de impulsores son: los de hélice, paletas y turbinas. Los agitadores o impulsores se dividen en dos clases: los que generan patrones de flujo paralelos al eje del agitador (llamados de flujo axial), y los que generan patrones de flujo en dirección radial (denominados impulsores de flujo radial).

Impulsores de hélice: se utilizan para líquidos de viscosidad baja, las corrientes de flujo que deja el agitador continúan a través del líquido en una dirección hasta que colisionan con las

paredes del tanque. El material a mezclar se succiona desde arriba hacia abajo y se presentan localmente fuerzas de cizallamiento que generan una corriente axial en el recipiente. Se aplican para velocidades medias y altas. Estos agitadores son efectivos en recipientes muy grandes.

Una hélice rotatoria al girar traza una hélice en el fluido. Si no existiera un deslizamiento entre el líquido y la hélice luego de una vuelta completa, el líquido se movería una distancia longitudinal que depende del ángulo de inclinación de las aspas de la hélice. La razón de la distancia longitudinal y el diámetro de la hélice se conoce como declive de la hélice. Un declive de uno se denomina paso cuadrado. (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

El diámetro de los agitadores de hélice, raramente es mayor de 45 cm, independientemente del tamaño del tanque. En tanques de gran altura, pueden disponerse dos o más hélices sobre el mismo eje, moviendo el líquido generalmente en la misma dirección. A veces dos agitadores operan en sentido opuesto creando una zona de elevada turbulencia en el espacio comprendido entre ellos. (Anónimo, 2005).

Impulsores de paletas: generan una corriente radial; estas corrientes desplazan el material hacia la pared del tanque y se succiona hacia arriba o hacia abajo, estos impulsores giran a velocidades entre 20 y 150 rpm. A velocidades bajas se da una agitación suave, mientras que a velocidades más altas es necesario uso de mamparas, para evitar que el líquido gire alrededor del recipiente a velocidades altas y no se dé el mezclado.

Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm. La longitud del impulsor de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del diámetro interior del tanque. La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud. A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).



Impulsores de turbina: se utilizan para ámbitos grandes de viscosidad, se parecen a los impulsores de paletas con muchas aspas que giran a velocidades altas. Las corrientes principales que se forman son radiales o axiales dependiendo de la agitación, la componente tangencial induce remolidos y rotaciones por lo que se utilizan mamparas para obtener resultados más efectivos.

Según Couper (2005) existen doce tipos básicos de agitadores, cada uno con su área de especificidad, ventajas y desventajas, entre ellos podemos encontrar los siguientes:

La hélice marina de tres hojas: fue el primer agitador axial usado en tanques agitados, usualmente se encuentran fijas en agitadores de 5 hp y poseen un diámetro de 15 centímetros. Generalmente se usan a velocidades grandes (1 750 rpm) en tanques de gran capacidad. El fluido no debe tener una viscosidad de más de 5 000 cP. Mínimo número de Reynolds = 200.

La hidroala Chemineer HE-3: la cual es un agitador de eficiencia alta. Las hidroalas se usan para caudales altos, aplicaciones con fricción baja como transferencia de calor, suspensión de sólidos, entre otros. Mínimo número de Reynolds = 200.

El disco de seis hojas: es un poco antiguo, sin embargo no pierde su toque para muchas aplicaciones; se usa ampliamente para dispersiones líquido-líquido y es el más atinado para realizar reacciones químicas en tanques agitados. Menor número de Reynolds = 5.

La hélice 4BP: (4 blade 45° pitched blade) por sus siglas en inglés, es la preferida cuando se busca un flujo axial y se necesita un balance entre fricción y flujo. Se usa para dispersión de gases en líquidos y dispersión líquido-líquido. Menor Reynolds= 20.

La hélice plana de 4 hojas: se usa universalmente para proveer agitación cuando se vacía un tanque; generalmente se instala en conjunto con estabilizadores. Menor número de Reynolds = 5.

La hélice de disco con aspas cóncavas: se utilizan para dispersión de gases en grandes tanques, con altos flujos de gas.

La hélice de diente de sierra: es una de las mejores para traducir poder en fricción, se usa ampliamente para producir emulsiones estables y dispersiones gas-líquido densas (espumas).

Los agitadores de lazo y el Paravisc: son la mejor opción cuando turbinas y anclas no pueden proveer el movimiento necesario para prevenir la estratificación dentro del tanque.

Los agitadores de ancla: se usan para mover todo el volumen del tanque. Son menos costosos que los agitadores de lazo.

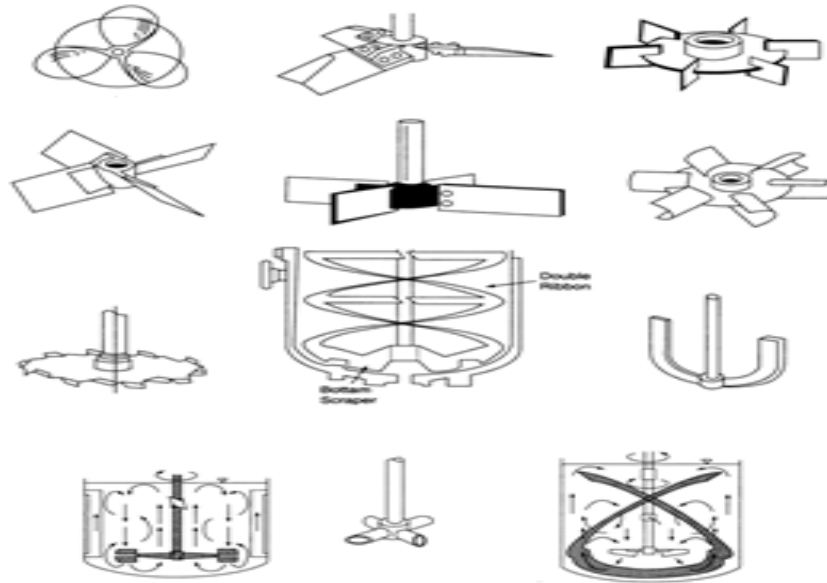
El agitador EKATO: tiene la facultad de promover un flujo axial más uniforme que las hélices de turbina; se recomiendan para obtener una suspensión de sólidos muy efectiva.

La hélice hueca autogasificadora: puede ejercer la función de agitador y compresor en aquellos procesos que requieran gasificación cada cierto tiempo, como operaciones de hidrogenación por tandas.

El Paravisc: se usa para fluidos no newtonianos; generalmente para dilatantes. Se puede acompañar con un agitador auxiliar situado en medio eje.

Las formas de los agitadores antes mencionados se presentan en la Figura 1.12 tomada de "Chemical Process and Equipment: Selection and Design", de James Couper, en dicha imagen se puede observar en el orden de mención y descripción antes mencionado. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

Otros tipos de mezcladores, tales como los de corriente importantes de mencionar son las mismas bombas centrífugas, las cuales en ocasiones se emplean sin recirculación para mezclar líquidos previamente medidos y a menudo resultan útiles cuando solo se desea obtener una mixtura. El tiempo de "retención" suele ser menor de un segundo, que solamente es suficiente para que se produzcan reacciones instantáneas entre materiales miscibles. (Mott, 1996).



**Figura 1.12** Tipos de agitadores.  
(McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

### Consumo de Potencia en Tanques Agitados

La potencia requerida para mover el impulsador es importante tomarla en cuenta para el diseño de un recipiente agitado. Una correlación empírica para la potencia (o número de potencia) con otras variables de un sistema permiten una estimación bastante buena, de cuánta potencia requiere un agitador dado para rotar con cierta velocidad. Dichas correlaciones pueden obtenerse por medio de análisis dimensional. La potencia requerida de un agitador es función de ciertos detalles geométricos del agitador y del tanque, la viscosidad y densidad del líquido y la velocidad de revolución del aparato.

La correlación empírica para un sistema con las variables anteriores es el siguiente:

$$\frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} = F \left( \frac{N \rho D_a^2}{\mu}, \frac{N^2 D_a}{g} \right) \quad (1.4)$$

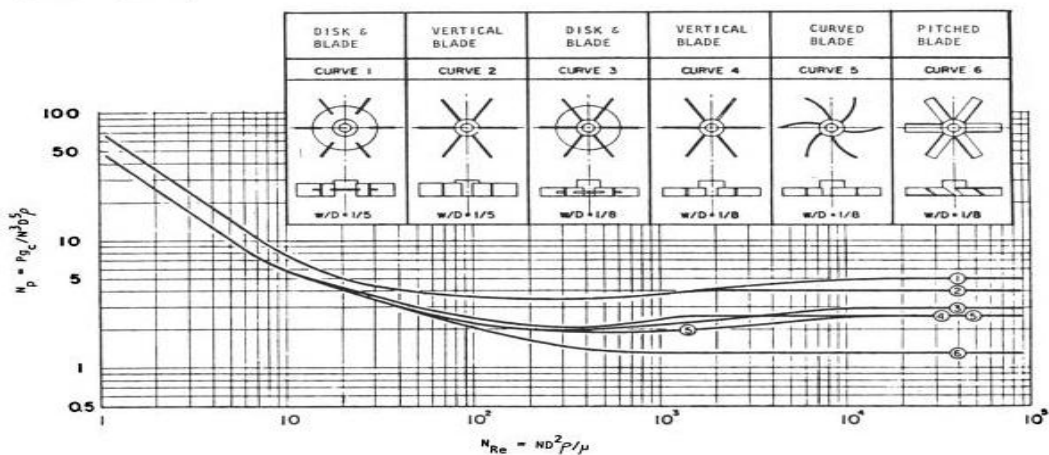
Donde el primer grupo funcional es el número de potencia, el segundo el número de Reynolds y el último el número de Froude.

Cuando el número de Reynolds es mayor a 10 000 el flujo en el contenedor es turbulento y cuando es menor que 10 el flujo es laminar. Entre ambos existe una región de transición, en la cual el flujo es turbulento en el agitador y laminar en algunas partes del tanque. (Gavne, 2009).

El número de Froude representa la influencia de la gravitación y afecta el consumo de potencia sólo cuando el vórtice está presente. Si la velocidad del agitador se incrementa, en sistemas sin mamparas, las fuerzas centrífugas que actúan en el líquido causan que la superficie del líquido asuma una forma de paraboloides alzando el nivel del líquido a lo largo de las paredes y reduciéndolo alrededor del eje.

El consumo de potencia está relacionado con la densidad y la viscosidad del líquido, la velocidad de revolución y el diámetro del agitador; al correlacionar ambas magnitudes se obtiene un gráfico de número de potencia en función del número de Reynolds; éstos se encuentran disponibles para varios tipos de agitadores. Un ejemplo se ilustra en la Figura 1.13.

La tendencia general es que a partir de cierto número de Reynolds, el número de potencia tiende a permanecer constante. Su importancia radica en una manera rápida y generalizada para despejar valores a partir de datos experimentales, ya sea para experimentación o diseño. (Couper, 2005).



**Figura 1.13** Número de Potencia en función del Número de Reynolds para distintos agitadores.

(McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

### **Efectos del diámetro el agitador**

En cuanto al diseño de agitadores, el torque es más importante que la potencia; la potencia requiere un tamaño determinado para el motor y otros aspectos electrónicos. El torque, que para estos casos se puede definir como la razón entre potencia y velocidad influye en el tamaño de casi todos los componentes mecánicos del agitador. Para incrementar el torque, un agitador debe reducir la velocidad del eje. Para lograr esto un engranaje reductor debiera incluirse. Cuanto más grande sea la reducción más largo deberá ser el reductor. Similarmente, un torque mayor requiere un eje más largo y un agitador con hojas gruesas, no obstante los dos caminos expuestos son muy costosos.

Una manera de lograr un buen torque es con ayuda de las dimensiones del agitador: cuanto más pequeño sea el ángulo entre las hojas y cuanto más largo sea el diámetro del agitador, mayor será el torque conforme la velocidad aumente.

El diámetro del tanque limita fuertemente el diámetro del agitador. Para que un flujo axial recircule a lo largo del tanque, el agitador no pueda tener más del 70% del diámetro del tanque, de lo contrario obstruiría el flujo. (Paul, Atiemo-Obeng, & Kresta, 2004).

Efecto de la posición del agitador respecto al fondo del tanque

La profundidad del agitador con respecto al fondo del tanque puede tener un impacto significativo en el número de potencia, además influye en el patrón de flujo y en el resultado del proceso. Si el agitador se localiza muy cerca del fondo del contenedor lo que se puede generar es mucha fricción y poco bombeo (flujo); no obstante para suspensión de sólidos esta condición puede ser superior al mantener el fondo del tanque libre de sólidos (Paul, Atiemo-Obeng, & Kresta, 2004).

Aunque se usen deflectores, un agitador muy cerca de la superficie puede generar un vórtice, si el vórtice generado es lo suficientemente profundo, se puede causar dispersión de aire en el líquido y esto puede ser poco deseable. En cambio si el agitador se encuentra muy profundo (si la distancia entre el agitador es menor que el diámetro del contenedor) se genera más fricción.

Es necesario un sumergimiento adecuado para evadir vórtices y entradas de gases y depende de cada tipo de agitador, por ejemplo, un sumergimiento de la medida de la mitad del diámetro es adecuado para flujo axial y deflectores convencionales, mientras que un mínimo de la medida del diámetro se requiere para mamparas más angostas. Cuando se origina un vórtice profundo con un agitador poco sumergido se dan vibraciones excesivas, así como burbujeo; ambas deterioran el tanque y empobrecen la calidad del mezclado. (Paul, Atiemo-Obeng, & Kresta, 2004)

### **Importancia del flujo volumétrico en agitación**

La acción de una turbina o un agitador en un fluido newtoniano de viscosidad baja pueden estar relacionados con un flujo volumétrico radial o axial respectivamente, es decir, se puede ver el mezclador como una bomba sin carcasa. El caudal y la cabeza se relacionan con la potencia aplicada a la bomba.

Para un tanque agitado, una potencia aplicada, al agitador puede crear un “caudal” o flujo volumétrico” lo cual se traduce en una circulación del líquido por el tanque y una “cabeza”, se sube y se disipa en el contenedor. (Nienow, Edwards, & Harnby, 1997).

La importancia radica en que un buen caudal puede agilizar la transformación que se quiera llevar a cabo por medio de una operación unitaria de mezclado o agitación, pues la materia prima tenderá a moverse constantemente a lo largo y ancho del contenedor, propiciando una transferencia de calor adecuada, un gradiente de concentraciones o una emulsión correcta de dos líquidos.

### **Legislación**

La legislación referida a temas medioambientales se ha movido en dos sentidos: por una parte tenemos la Química verde y por otra parte la eliminación de residuos una vez producidos. De este modo, el objetivo principal de la Química Verde es reducir los problemas medioambientales generados por la producción química no con soluciones de final de tubería, es decir no eliminando la contaminación una vez producida, sino atacando el problema de raíz: utilizando procesos químicos que no produzcan residuos.

## **Compuestos Orgánicos Volátiles**

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs), a veces llamados VOC (por sus siglas en inglés), son compuestos orgánicos constituidos fundamentalmente por carbono, que se convierten fácilmente en vapor o gas y que tienen a 20 C una presión de vapor igual o mayor a 0,01 kPa, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso. En general son compuestos con puntos de ebullición que oscilan entre 50 y 260 C. (Sánchez & Alcántara, 2007).

Los heteroátomos más habituales que forman parte de los COVs suelen ser oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. El término COV agrupa a una gran cantidad de tipos de compuestos químicos, entre los que se incluyen los hidrocarburos alifáticos y aromáticos (clorados o no), y otros compuestos como aldehídos, cetonas, éteres, ácidos y alcoholes.

## **Proceso de regulación**

En 1987 la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas elaboró el informe *Nuestro Futuro Común*, más conocido como el Informe Brundtland. Allí quedó definido el concepto de Desarrollo Sostenible: satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para desarrollarse. Siguiendo esta filosofía, y poco después de haberse aprobado la Ley de Prevención de la Contaminación de 1990, la Oficina de Prevención de la Contaminación y Sustancias Tóxicas de la EPA (Office of Pollution Prevention and Toxics, OPPT) empezó a explorar la idea de desarrollar productos y procesos químicos nuevos o mejorar los existentes para disminuir el peligro a la salud humana y al medio ambiente.

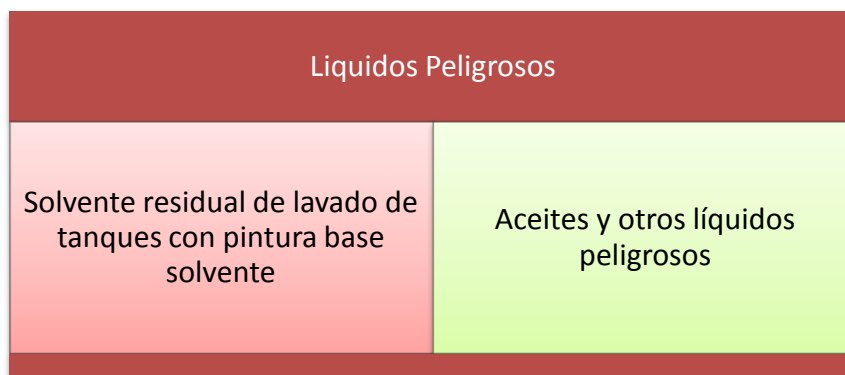
En cuanto a la eliminación de residuos una vez producidos en la Figura 1.14 se presentan algunas fechas históricas en la lucha contra la contaminación. (Sánchez & Alcántara, 2007).

<i>Sustancia</i>	<i>Efecto sobre el medio ambiente</i>	<i>Normativa</i>	<i>Año</i>
CFCs CCl <sub>4</sub> , CH <sub>3</sub> Cl, CHCl <sub>2</sub>	Destrucción del ozono estratosférico	Protocolo de Montreal	1987
Halones, HBFCs Combustibles fósiles	Efecto invernadero Calentamiento global	Protocolo de Kioto	1997
Sustancias tóxicas/ peligrosas	Contaminación acuíferos	Directiva marco 2000/60/CE	2000
Contaminantes orgánicos persistentes	Bioacumulación	Programa UNEP	1997
	Toxicidad	Convención de Estocolmo	
	Persistencia		
Disolventes	Emisión de COV	Directivas 99/13/CE, 2001/81/CE	1999
	Formación de ozono troposférico	Programa CAFÉ	
	Salud ocupacional	REACH	

**Figura 1.14** Fechas históricas en la lucha contra la contaminación.  
(Sánchez & Alcántara, 2007)

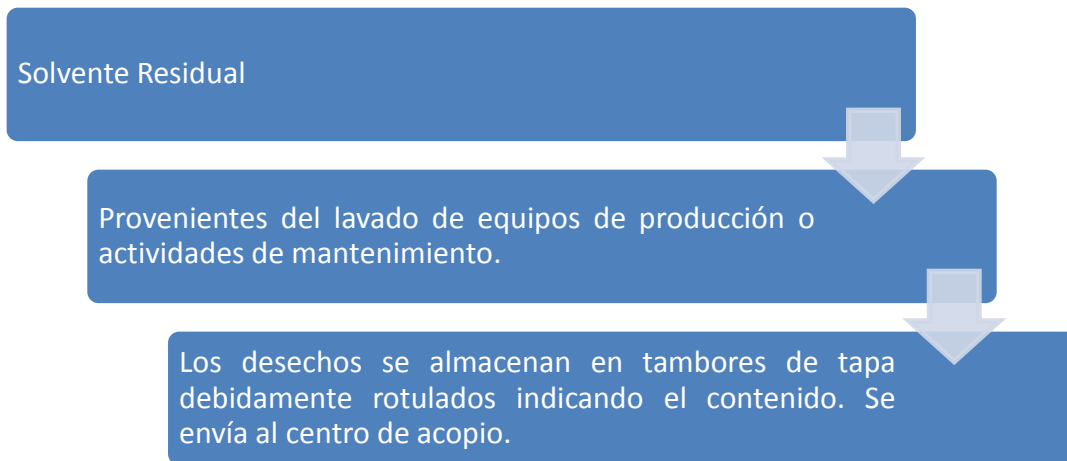
### Manejo de Desechos en la fabricación de pinturas

La acumulación y almacenamiento de residuos líquidos peligrosos debe llevarse a cabo lo más cerca posible del sitio de generación del residuo. Los residuos se almacenan en contenedores separados según su composición.



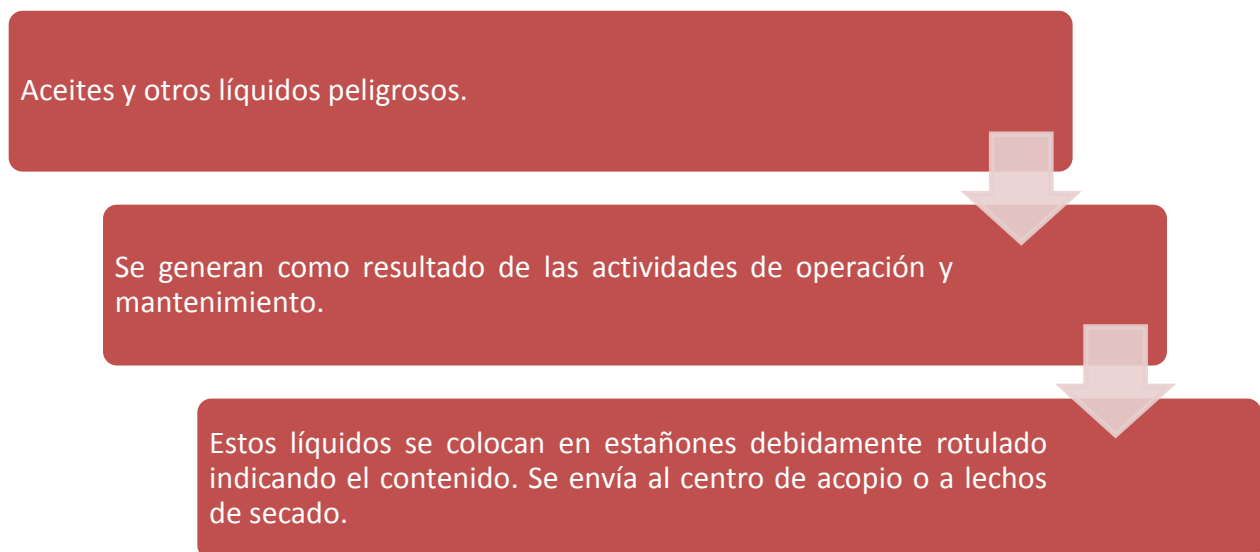
**Figura 1.15** Clasificación de los líquidos peligrosos.





**Figura 1.16** Clasificación de los residuos líquidos peligrosos

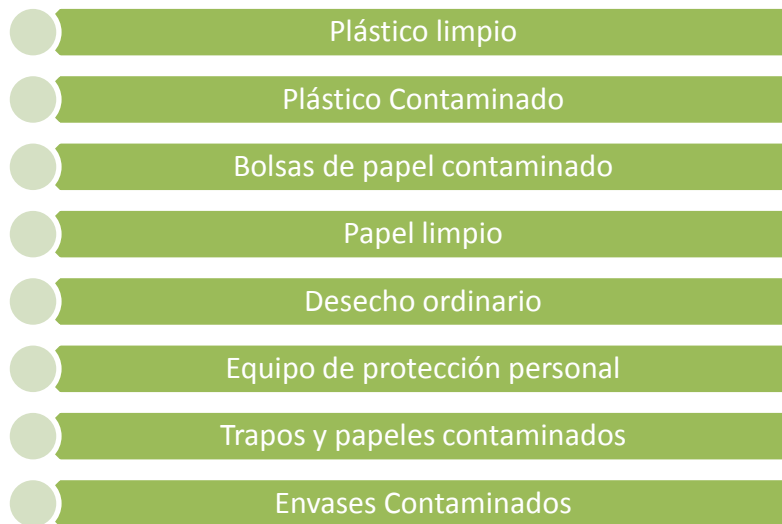
Tratamiento de solvente residual de lavado de tanques con pintura solvente: Cuando hay suficiente cantidad de estañones en el centro de Acopio (siempre y cuando no supere lo establecido por la legislación nacional) el encargado coordina con los proveedores el transporte de los mismos desde la planta hasta el sitio donde se destilará el solvente.



**Figura 1.17** Clasificación de aceites y otros líquidos peligrosos.

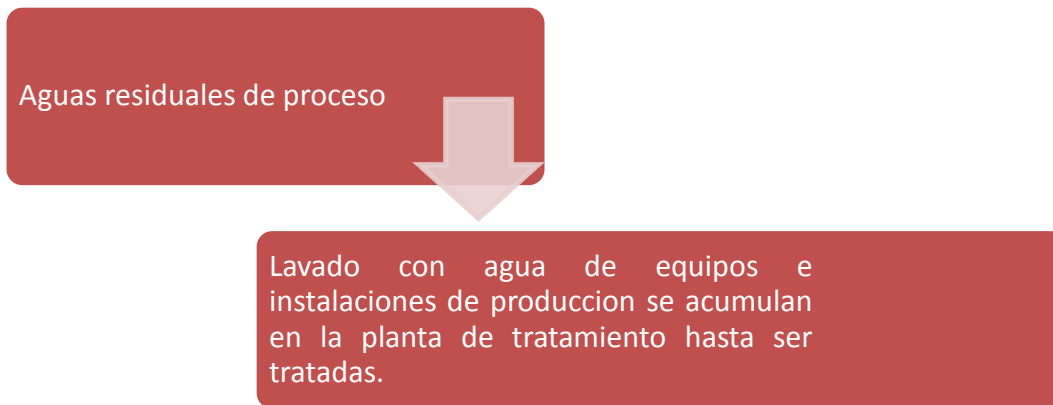
Tratamiento de aceites y otros líquidos peligrosos: Cuando hay suficiente cantidad de estañones en el centro de Acopio (siempre y cuando no supere lo establecido por la legislación nacional) el encargado coordina con los proveedores el transporte de los mismos desde la planta hasta el sitio donde serán incinerados.

Residuo Sólido Industrial: Resultado de actividades productivas y de mantenimiento. Se clasifican en la fuente por la persona que genere el desecho. Sistema con amplios puntos de recolección y clasificación de los residuos.



**Figura 1.18** Clasificación de los residuos sólido industrial.

Tratamiento de residuo sólido industrial: Cuando hay suficiente cantidad de estañones en el centro de Acopio (siempre y cuando no supere lo establecido por la legislación nacional) el encargado coordina con los proveedores el transporte de estos desde la planta hasta el sitio donde serán incinerados o reciclados según corresponda.



**Figura 1.19** Clasificación de los residuos líquidos de aguas residuales.

Tratamiento de aguas de proceso: Se analizan los residuos para determinar sus características en la planta de tratamiento y al cumplir con el Reglamento de Vertido y Aguas Residuales se puede desechar según corresponda.

### **Escalamiento**

El escalamiento es una herramienta vital para la ingeniería química, con ella se pueden reducir errores en diseños directos, debidos a correlaciones inexactas o a la falta de información. La finalidad de esta sección es presentar el concepto de escalamiento desde la perspectiva de la ingeniería química, haciendo un recorrido por las bases, principios y factores que intervienen cuando se requiere escalar un proceso o equipos por medio de las reglas de similar.

#### **Definición**

El concepto de escalamiento parte de la propia definición de medición: Medir es asignar números a las propiedades de los objetos u operaciones, de acuerdo con ciertos criterios y reglas. Pues bien, el escalamiento es el proceso mediante el cual se desarrollan los criterios las reglas de asignación numérica que determinan las unidades de medida significativas para llevar de un tamaño dado a otro tamaño mayor o menor una operación u objeto.

Escalar un proceso o equipo es convertirlo de su escala de investigación (laboratorio o piloto) a escala industrial (producción). En un principio, el escalamiento se entendía como el simple hecho de hacer más grandes las cosas.

Es entonces que la ingeniería química prueba que es necesario integrar a la física y a la química para el escalamiento de procesos y que es la única disciplina de la ingeniería que es capaz de hacerlo.

### **Plantas Piloto**

Se define como planta piloto al proceso que consiste en partes específicas ensambladas que operan como un todo armónico con el propósito de reproducir a escala procesos productivos. En estos procesos interviene fenómenos, simples o complejos, de interés para la ingeniería química, permitiendo el análisis de las interacciones presentes en operaciones tales como la termodinámica, el flujo de fluidos, la transferencia de masa y energía, las reacciones químicas, la biotecnología, el control de procesos, entre otras. (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

También facilita la operación posterior y la aplicación a nivel industrial o en algún área de trabajo determinada, sirve además para la confrontación de la teoría (modelos) con la práctica y la experimentación en las áreas del conocimiento antes mencionadas. El uso de plantas de proceso a escala piloto tiene como propósitos principales:

1. Predecir el comportamiento de una planta a nivel industrial, operando la planta piloto a condiciones similares esperadas. En este los datos obtenidos serán la base para el diseño de la planta industrial.
2. Estudiar el comportamiento de plantas industriales ya construidas, en donde la planta piloto es una réplica y estará sujeta a condiciones de operación previstas para la planta industrial. En este caso a la planta piloto se le llama modelo y tiene como función principal mostrar los efectos de los cambios en las condiciones de operación de manera más rápida y económica que si realizaran en la planta original.



**Figura 1.20** Comportamientos a experimentar en plantas piloto.

La planta piloto es una pieza fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías pues al realizar estudios en ella se generan conocimientos nuevos y criterios técnicos que permiten dar pasos hacia delante en la optimización, control, alcance, seguridad, rentabilidad, etc... de procesos, equipos y energía productivos. La planta piloto permite experimentar de forma económica y eficaz el comportamiento al escalar de:

Esto permite crear recursos humanos capacitados (con conocimiento y experiencia técnica) para prever errores antes del arranque o durante la puesta a punto y operación de la planta industrial.

En la actualidad, la complejidad de las necesidades humanas así como el avance tecnológico hacen cada vez más complicadas las operaciones de escalamiento, pues ya no solo se desea

escalar hacia las grandes naves industriales sino también hacia la microescala y la nanoproducción. Ya no son solo la química y la física (si bien fundamentales) las únicas disciplinas que intervienen en el escalamiento, ahora se tienen a la biología, la robótica, la medicina, etc.

### **Proceso de escalamiento**

El paso fundamental en el escalamiento consiste en pasar los datos obtenidos en la planta piloto a un modelo que puede ser:

- Fenomenológico: Fundamentado en algunos razonamientos teóricos pero de tipo microscópico. No involucra consideraciones moleculares y permite hacer predicción en ámbitos o intervalos de operación no estudiados experimentalmente.
- Empírico: El cual se postula sin bases teóricas y se espera solamente que ajuste la interacción entre los datos en el ámbito o intervalo de experimentación.
- De Similaridad: Obtenido a partir de un análisis de similaridad con respecto a analogías físicas de tipo térmico, mecánico, geométrico, químico, etc.

El tipo de modelo de escalamiento depende tanto del proceso en cuestión como de la geometría de los equipos involucrados.

### **Principios de similaridad**

El principio de similaridad hace referencia a la relación que existe entre sistemas físicos y el tamaño de los mismos, siendo básico en el escalamiento de procesos físicos y químicos. Los sistemas físicos se caracterizan en general por tres cualidades: tamaño, forma y composición.

El principio de similaridad está relacionado con el concepto de forma a partir del hecho que esta es independiente del tamaño y composición. En términos más precisos, este principio establece lo siguiente: “La configuración espacial y temporal de un sistema físico está determinada por las relaciones de las magnitudes dentro del propio sistema y no dependen del tamaño ni de la naturaleza de las unidades en las cuales se miden esas magnitudes”. El ingeniero químico está relacionado con sistemas complejos compuestos por cuerpos sólidos y

fluidos, en donde se llevan a cabo transferencias de materia y energía, al igual que transformaciones químicas. El concepto de forma aplicado en estos sistemas no comprende únicamente a las proporciones geométricas de sus miembros, sino también deben anexarse cuestiones como son: patrones de flujo en fluidos, gradientes de temperatura, perfiles de concentración con respecto al tiempo, etc. Dentro de la ingeniería química son de interés cuatro tipos de similaridad: Geométrica, Mecánica, Térmica y Química. Estrictamente hablando, cada tipo de similaridad es necesario para realizar el escalamiento de cualquier sistema. (Anaya & Pedroza, 2008).

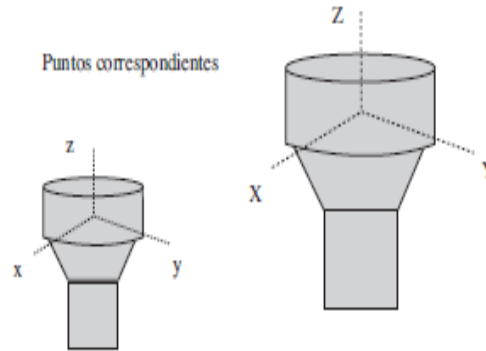
### **Similaridad geométrica**

La similaridad geométrica se define con mayor precisión en términos de correspondencia. Considerando dos cuerpos sólidos, cada uno provisto de tres ejes imaginarios en el espacio que los intersectan a fin de ser descritos de igual forma en todos los puntos en un mismo sistema de coordenadas. Un punto en el primer cuerpo está dado por las coordenadas  $x, y, z$ , mientras que en el segundo cuerpo un punto correspondiente está dado por las coordenadas  $X, Y, Z$ . Ambos grupos de coordenadas están relacionadas por la ecuación:

$$\frac{X}{x} = \frac{Y}{y} = \frac{Z}{z} = L \quad (1.5)$$

Donde la relación de escalamiento lineal  $L$  es constante. Estos dos puntos y todos los demás pares de coordenadas espaciales que están relacionados en términos de  $L$  son conocidos como puntos correspondientes. Con esto se define que: dos cuerpos son geoméricamente similares cuando para todo punto en el primer cuerpo existe un punto en el segundo. El concepto de similaridad geométrica se ilustra en la Figura 1.21.

**Figura 1.21** Fluidos newtonianos y no newtonianos.  
(Mott, 1998).



**Figura 1.22.** Similaridad Geométrica.  
(Anaya & Pedroza, 2008)

Esto es posible cuando cada punto en el primer cuerpo puede tener más de un punto correspondiente en el segundo. Esto ocurre cuando el segundo cuerpo está compuesto por elementos idénticos múltiples geoméricamente similares al primero. No es necesario que la relación de escalamiento sea la misma en cada uno de los ejes. Una definición más general acerca de los puntos acerca de los puntos correspondientes está dada por:

$$\frac{X}{x} = X'; \quad \frac{Y}{y} = Y'; \quad \frac{Z}{z} = Z' \quad (1.6)$$

Dónde:  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$  son relaciones de escalamiento constantes pero no necesariamente iguales. La relación entre dos cuerpos en los cuales las razones de escalamiento son diferentes en diferentes direcciones se denomina similaridad distorsionada. (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

### Similaridad mecánica

La similaridad mecánica comprende en su área a las similaridad estática, cinemática y dinámica. Cada una de estas puede considerarse como una extensión del concepto de similaridad geométrica en sistemas fijos o en movimiento sujetos a fuerzas externas o internas.

### Similaridad estática

La similaridad estática se presenta en los cuerpos sólidos sujetos a esfuerzos constantes y se define de la siguiente manera: Cuerpos geoméricamente similares, son también estáticamente



similares cuando al estar sujetos a esfuerzos constantes sus deformaciones relativas son tales que permanecen geoméricamente similares. La relación de los desplazamientos correspondientes será entonces igual a la relación de escala. En el caso de deformación elástica la condición para igualdad en las deformaciones en cada cuerpo es que los esfuerzos correspondientes estén en relación con los módulos elásticos. La relación de las fuerzas netas que actúan en puntos correspondientes en sistemas con similaridad elástica está dada por:

$$F = \frac{E^*}{L^2} \quad (1.7)$$

Dónde:  $E^* = E'/E$  es la relación de los módulos de elasticidad entre el modelo y el prototipo. Este modelo de similaridad es interesante en el campo de la ingeniería mecánica para medir deformaciones elásticas y plásticas en cuerpos con miembros y estructuras de forma compleja.

### **Similaridad Cinemática**

Esta concepción tiene aplicación para sólidos o fluidos en movimiento. Como en la similaridad geométrica, se implican las tres coordenadas espaciales pero, además, se introduce en este caso la dimensión tiempo. Los tiempos se miden desde un criterio arbitrario para cada sistema y los tiempos correspondientes se definen como a aquellos para los cuales  $T$  es constante y se define como la relación de escala del tiempo:  $T = t'/t$ .

Los sistemas en movimiento con similaridad geométrica están en similaridad cinemática cuando partículas correspondientes trazan trayectorias geométricas correspondientes. Para propósitos de ingeniería es más conveniente realizar escalamientos con base en la similaridad cinemática utilizando el concepto de correspondencia de velocidad pues a cada partícula corresponde una velocidad determinada en un tiempo determinado. La relación entre las velocidades correspondientes es:  $v'/v = V = L/T$  y, en el caso de similaridad geométrica distorsionada, la relación de velocidades correspondientes puede variar para direcciones diferentes. La similaridad cinemática es de especial interés en ingeniería química ya que si dos fluidos geoméricamente similares son también cinemáticamente similares entonces los patrones de

flujo son geoméricamente similares y las velocidades de transferencia de calor y masa entre dos sistemas se encuentra en una relación simple. (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

### **Similaridad dinámica**

La similaridad dinámica está relacionada con las fuerzas que aceleran o retardan el movimiento de las masas dentro de sistemas dinámicos. Las fuerzas del mismo tipo (por ejemplo gravitacionales) que actúan sobre determinadas partículas en tiempos determinados se llaman fuerzas correspondientes. Esta similaridad puede definirse de la siguiente manera: Sistemas en movimiento con similaridad geométrica son dinámicamente similares cuando las relaciones de todas las fuerzas correspondientes son iguales. Si las fuerzas que actúan en un punto dado son  $n$  tipos diferentes ( $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ ) y se requiere que de acuerdo con la ecuación  $F_1'/F_1 = F_2'/F_2 = \dots = F_n'/F_n = \text{cte}$ .

La similaridad dinámica es de gran importancia en sistemas de flujo de fluidos para predecir caídas de presión o consumos de potencia. En las transferencias de calor y masa, así como en las reacciones químicas es importante para establecer indirectamente relaciones de similaridad cinemática.

### **Similaridad térmica**

Esta similaridad involucra a los sistemas en los cuales se presenta flujo de calor por lo que se introduce la dimensión temperatura además de la longitud, fuerza y tiempo. El calor puede fluir por convección, conducción y radiación y la diferencia de temperaturas a tiempos correspondientes entre un par de puntos de un sistema y entre el par de puntos de otro se definen como temperaturas correspondientes. Los sistemas que presentan similaridad geométrica son térmicamente similares cuando la diferencia de temperatura conserva una relación constante entre ellos y cuando los sistemas, si están en movimiento, son cinemáticamente similares. (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

La similaridad térmica requiere que los flujos correspondientes de calor guarden una relación constante en cada sistema. Si  $H_r, H_c,$  y  $H_v$  representan cantidades de calor transferido por

segundo por radiación, conducción y convección, respectivamente, para tener similaridad térmica se requiere que  $Hr'/Hr = Hc'/Hc = Hv'/Hv = cte$ .

En general, no es posible mantener las tres relaciones simultáneamente en todos los puntos y la similaridad térmica puede solo establecerse si son despreciables la conducción y la convección o radiación. (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

### **Similaridad química**

Esta similaridad está relacionada con sistemas que presentan reacciones químicas donde la composición varia de un punto a otro, ya sea en procesos intermitentes o continuos, en diferentes instantes. No se introduce ninguna nueva dimensión, no es necesario que las composiciones químicas de ambos sistemas sean las mismas, sino solamente que exista la relación fija entre las concentraciones puntuales de algunos componentes de las cuales se realiza la comparación. (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

Cuando un sistema tiene un componente A y otro B y se desea establecer la similaridad entre A y B, estas sustancias serán constituyentes correspondientes.

Los sistemas con similaridad geométrica y térmica están en similaridad química cuando las diferencias correspondientes de concentración mantienen una relación constante entre uno y otro y cuando los sistemas, si están en movimiento, son cinéticamente similares.

### **Criterio de similaridad**

Como se ha indicado, la similaridad mecánica, térmica o química entre sistemas con similaridad geométrica puede especificarse en términos de criterios que son relaciones intrínsecas de medidas, fuerzas o velocidades de transferencia dentro de cada sistema. Dado que estos criterios son relaciones de cantidades similares éstas son adimensionales y existen dos métodos para obtenerlos cuando las ecuaciones diferenciales del modelo no se conocen, pero si se tienen identificadas todas las variables que intervienen en el fenómeno es posible obtener el criterio de similaridad por medio del análisis dimensional. En el caso de conocer las

ecuaciones diferenciales del sistema, pero no se tienen métodos para integrarlas, el criterio de similitud se obtiene de la misma forma diferencial. (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

### **Criterios de cambios de escala**

El escalamiento es una etapa importante en el desarrollo de un proceso ya que por medio de experimentación se pudieron haber determinado las características necesarias para agitar o mezclar una sustancia en particular o una mezcla de ellas.

Al estudiar los efectos de mezclado en un equipo a escala piloto, si se desea predecir los resultados a escala industrial, es necesario establecer un criterio de escalamiento. Para realizarlo, es posible establecer tres tipos de similitudes:

**Geométrica:** esta similitud establece que todas las dimensiones del equipo son equivalentes y mantienen una relación constante. El tipo de escalamiento más común es el de tipo geométrico, en donde las dimensiones del prototipo o piloto se ven amplificadas por un factor de proporción para que tengan el tamaño deseado. No obstante el escalamiento geométrico no siempre es suficiente, ya que un tanque de almacenamiento es diferente de un tanque con agitación: el primero sólo requiere cumplir con las dimensiones para guardar una materia prima, el segundo debe suministrar una respuesta dinámica proporcional, es decir, una potencia de agitación suficiente para lograr el mismo efecto que el prototipo y para estos casos la proyección geométrica, por sí sola, no es atinada; para hacerla efectiva se utilizan exponentes de proporcionalidad, según el cambio físico o químico que quiera llevarse a cabo.

**Dinámica:** plantea que todas las velocidades en las dos escalas mantengan una relación constante.

**Cinemática:** requiere que las relaciones de fuerza pertinentes (de inercia, de viscosidad, de gravedad y de superficie) tengan coeficientes constantes. Las tres similitudes no pueden cumplirse simultáneamente. (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

Para realizar el escalamiento geométrico, como se mencionó, es necesario un factor de proporcionalidad "R", que se obtiene de la siguiente manera:

$$R = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (1.8)$$

Es importante verificar la consistencia dimensional antes de calcular el factor  $R$ ; cuanto se conozca el factor de proporcionalidad, todas las dimensiones citadas anteriormente deben ser amplificadas por dicho factor. Así se consigue el escalamiento geométrico.

La respuesta dinámica depende también del factor  $R$ , pero se ajusta con un exponente según el uso que se le quiera dar al tanque agitado. La variable de respuesta dinámica que se escala es la velocidad de revolución  $N$  de la siguiente manera:

$$\frac{N_2}{N_1} = R^{-n} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{-\frac{n}{3}} \quad (1.9)$$

Si se conoce el factor de proporcionalidad o de escalamiento y la velocidad de revolución inicial, es posible calcular la nueva velocidad según la respuesta dinámica que se busque, por ejemplo, si lo que se quiere es que el tanque final tenga la misma transferencia de masa que el prototipo  $n = 2/3$ . Si lo que se busca es la misma tasa de agitación (movimiento del líquido)  $n = 1$ . Por otro lado si lo que se quiere es propiciar la misma suspensión de sólidos  $n = 3/4$ .

Estos son los criterios de escalamiento más comunes y sencillos. Para procesos más complejos hay más relaciones empíricas y proporcionalidades que deben tomarse en cuenta.

### **Teoría del escalamiento**

La preparación de emulsiones y dispersiones líquido-líquido es una de las operaciones unitarias más comunes en la industria. El análisis exhaustivo de este tipo de proceso es, casi sin excepción, de innegable complejidad. Por un lado, se tiene el fenómeno hidrodinámico, frecuentemente de tipo turbulento, donde intervienen la geometría del dispositivo de mezclado, la velocidad de flujo o del agitador, el flujo de energía y la viscosidad de las fases, por sólo mencionar algunas de las variables de mayor importancia. Por otro lado, la composición y naturaleza de las fases son también determinantes del proceso, especialmente si alguna o varias de las especies presentes poseen actividad interfacial. La situación se vuelve

particularmente complicada en emulsiones concentradas, las cuales no son sólo altamente viscosas sino también viscoplásticas y viscoelásticas. (Barnes, 1994).

Puede entenderse entonces por qué el estado del arte del mezclado de dispersiones líquido-líquido concentradas es aún muy empírico, sobre todo el saber hacer que se maneja a nivel industrial. Esto se refleja en las estadísticas mundiales para el año 1991: las pérdidas industriales por concepto de fallas en las operaciones de mezclado y dispersión eran del orden de 1 a 60 millardos de US\$ (Tatterson y col., 1991). Esta situación no ha cambiado mucho en estos últimos años y, sin embargo, es notorio que los enfoques en el estudio de este problema han sido más bien parciales; es decir, o completamente dirigidos a la hidrodinámica de formación de dispersiones líquido-líquido poco concentradas (< 40%) en régimen turbulento y en ausencia de surfactantes, u orientado casi exclusivamente al estudio del comportamiento de fase y su relación con las propiedades de la emulsión, sin otorgar mayor importancia a los aspectos hidrodinámicos. (Tatterson, 1991).

Los resultados obtenidos por ambos enfoques han mejorado notoriamente la comprensión del problema; sin embargo, los sistemas evaluados por los trabajos de orientación exclusivamente hidrodinámica no se corresponden con la realidad industrial (emulsiones concentradas y estabilizadas con uno o varios surfactantes, polímeros u otros). Por otro lado, los trabajos de orientación fisicoquímica son difícilmente escalables debido a la falta de datos sobre las propiedades del fluido y los aspectos geométricos e hidrodinámicos que permitan obtener, por lo menos, el régimen de flujo y la potencia suministrada. Los trabajos de enfoque exclusivamente fisicoquímico abarcan usualmente todo el abanico de concentraciones, pero rara vez se toman en cuenta los parámetros hidrodinámicos de mezclado. En contraste, la formulación es completamente ignorada en los trabajos de enfoque hidrodinámico; de hecho, rara vez se incluye el uso de surfactantes, por lo cual los sistemas obtenidos son usualmente dispersiones inestables con un gran tamaño de gota. Sin embargo, las tendencias encontradas son significativas; esto es, a medida que aumenta la velocidad de mezclado ( $N$ ), o disminuyen la concentración de la fase interna ( $\phi$ ) y su viscosidad ( $\mu$ ), se reduce el tamaño de gota. Esto es debido a que al aumentar  $N$ , se incrementan tanto el Reynolds como la potencia específica.

## Capítulo 2 . Procedimiento Experimental

El objetivo general del estudio es diseñar un procedimiento de escalamiento para los procesos de agitación, dispersión y mezclado para una industria de pintura.

Para encontrar el modelo de escalamiento que mejor se ajusta a la producción de pintura se deben conocer las variables geométricas, eléctricas y cinemáticas de los equipos para así calcular los diferentes números adimensionales que describen el comportamiento del fluido en estudio.

Para esto se procede a recopilar la información actual de las dimensiones de los equipos del laboratorio de Investigación y Desarrollo y del área de Manufactura, algunos datos los proporcionó el departamento de Mantenimiento y para las dimensiones restantes se tomaron los datos que no se conocían utilizando un vernier para los equipos más pequeños y cinta métrica para los equipos de mayor tamaño.

Enseguida se mide la velocidad de los equipos con la ayuda de un tacómetro de rayo láser, se coloca una cinta refractaria y se enciende el tacómetro procurando mantener la luz roja sobre la cinta y con la distancia adecuada a la misma. El tacómetro da el valor promedio, máximo y mínimo de las revoluciones por minuto con las que gira el agitador.

Luego para obtener las variables eléctricas se utiliza un multímetro para conocer los datos de amperaje y voltaje y con la información que proporcionan las placas de los motores sobre su funcionamiento se procede a encontrar la potencia de los mismos.

Se realiza un levantamiento de los equipos con las variables encontradas para utilizarlo como la base principal de datos.

Se realizan pruebas de campo en el área de Manufactura donde el estudio se limita a cuatro categorías de pintura de características distintas entre ellas, se proporciona la información de densidad y viscosidad de las familias por parte del laboratorio de Investigación y Desarrollo. Durante la fabricación de estos productos se toma nota del tanque, agitador, velocidad y

producto. Se realizan tres repeticiones del procedimiento anterior por cada familia para realizar el estudio.

Con la recopilación de los datos de los procedimientos anteriores se calculan el número de Reynolds y Froude, utilizando la correlación apropiada se obtiene el número de Potencia. Con estos datos se analiza el modelo que se adapta a nuestro estudio.

Se calcula el número de Potencia para cada categoría de productos y se establecen los ámbitos reales en la planta Industrial. Se calcula el factor de escalamiento entre el tanque de mayor volumen de la planta Industrial y el volumen normal de trabajo por parte del Laboratorio de Investigación y Desarrollo.

A partir del factor de escalamiento se calculan las dimensiones del tanque y agitador, potencia y velocidad que se requieren en volumen bajo para obtener similitudes en el proceso.

Las variables experimentales son las dimensiones de los equipos; la variable de respuesta es la velocidad periférica; variables no controlables son la temperatura ambiente, humedad y presión atmosférica; variable calculada es el número de Reynolds y Froude; y la variable de estudio es la relación de Potencia por Volumen.

**Cuadro 2.1** Características del equipo usado en el estudio de escalamiento.

<b>Instrumento</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Placa</b>
Vernier	Linghua	0538
Cinta Métrica	Stanley	Sin placa
Tacómetro de laser digital Model DT-209X	Shimpo Instruments. UCR	19417
Multímetro Modelo UT-202	UNI-T	0745



## Capítulo 3 . Equipos de mezclado, dispersión y agitación en la fabricación de pinturas.

### Introducción

El dióxido de titanio, entre muchas otras utilidades, es el producto base para dar brillo en la fabricación del recubrimiento de gran parte de los comprimidos farmacéuticos o el pigmento blanco utilizado para la fabricación de artículos como por ejemplo pinturas, barnices, plásticos, fibras sintéticas o papel de impresión. Se trata de un producto comercializado en polvo de tamaño de partícula nanométrica, para aumentar su eficiencia como dispersor de la luz. Sus partículas de tamaño reducido, tienen una gran tendencia a formar aglomerados, que deben eliminarse para una utilización del producto. La eliminación de estos aglomerados solo se consigue mediante el desgaste logrado por la erosión en velocidades de agitación altas.

La fabricación de pintura se realiza mediante tanques agitados con tres tipos diferentes de turbinas, que son las que impulsan el proceso de agitación. Estas turbinas son:

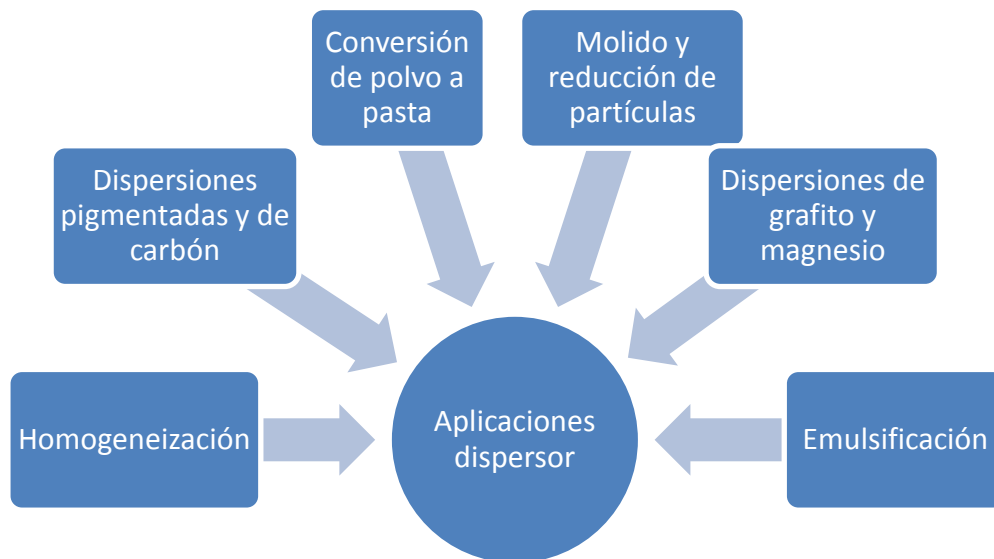
- Disco dispersor: Se utiliza para la dispersión de sólidos o polvos dentro de líquidos. Esta turbina se caracteriza por su corte elevado, turbulencia fuerte y gran eficiencia de mezcla.
- Hélice: Se utiliza para suspender, homogeneizar, mezclar y diluir. Este impulsor se caracteriza por su corte débil, turbulencia media y un muy buen caudal.
- Cabezales con rotor/estator: Se utiliza para la fabricación de emulsiones finas líquido-líquido, para la dispersión de productos hinchables (geles) y para el afinamiento y dispersión de pigmentos. Compuestas de un rotor que gira a alta velocidad en torno a un estator fijo.

Algunos de los Ejemplos de los Dispersores que se encuentran en el Mercado se muestran en la Figura 3.1. (Vortex, 2012).



**Figura 3.1** Dispersores disponibles en el mercado por Vórtex.  
(Vortex, 2012)

A continuación se enlistan las aplicaciones más comunes de los agitadores y dispersores:



**Figura 3.2** Aplicaciones Industriales de los dispersores y agitadores.  
(McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

### Levantamiento de Equipos de Dispersión

Por confidencialidad de la empresa no se pueden detallar los datos físicos de los equipos pero estos si quedan a disposición de la empresa mediante un documento detallado para consulta del personal. Todos los datos fueron codificados para realizar la debida publicación del proyecto sin perjudicar a la empresa.

Por parte del laboratorio se cuenta con variedad amplia de dispersores y agitadores para la fabricación de las diferentes especialidades y requerimientos similares a los que ofrece Vórtex.

**Cuadro 3.1** Dimensiones codificadas de los agitadores del equipo de laboratorio.

# Agitador	Altura del disco (m)	Diámetro del disco (m)
1	2,98E-03	1,52E-02
2	2,80E-03	1,77E-02
3	3,68E-03	4,92E-03
4	2,50E-03	8,78E-03
5	6,88E-03	8,40E-03
6	3,18E-03	1,73E-02
7	3,11E-03	4,80E-03
8	7,93E-03	5,33E-03
9	1,91E-04	5,70E-03
10	1,76E-02	8,75E-03
11	4,13E-03	1,77E-02
12	3,48E-03	1,70E-02

**Cuadro 3.2** Velocidades codificadas de los equipos dispersores de laboratorio sin producto.

Equipo Dispersor	Velocidad promedio codificada medición desde la base del motor (rpm)
A	183,85
B	501,06
C	327,18
D	550,33
E	468,90

Por seguridad no se podía realizar la medición de las velocidades durante la fabricación de producto ya que se debe descubrir el motor para obtener la medida y quedaría expuesta la persona.

**Cuadro 3.3** Datos eléctricos codificados de los equipos dispersores del laboratorio

<b>Equipos</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Potencia (W)</b>
A	1,70	115	6,25
B	0,75	230	14,00
C	1,95	115	9,25
D	1,55	115	6,25
E	3,20	115	14,00

**Cuadro 3.4** Diámetros codificados de los dispersores de la Planta Industrial.

<b>Número de Dispersor</b>	<b>Diámetro (m)</b>
1	0,088 9
2	0,088 9
3	0,088 9
4	0,088 9
5	0,088 9
6	0,088 9
7	0,108 0
8	0,076 2
9	0,088 9
10	0,088 9
11	0,180 0

**Continuación cuadro 3.4** Diámetros codificados de los dispersores de la Planta Industrial.

12	0,157 5
13	0,155 0
14	0,145 0
15	0,150 0
16	0,102 5
17	0,115 0
18	0,155 0

**Cuadro 3.5** Datos eléctricos codificados de los equipos dispersores de la Planta Industrial.

<b>Equipos Dispersores/Tanque</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Potencia (Hp)</b>
A	17,00	230	6 ,25
B	17,00	230	6 ,25
C	17,00	230	6 ,25
D	17,00	230	6 ,25
E	17,00	230	6 ,25
F	10 ,50	230	3 ,75
G	20,00	230	7 ,50
H	10 ,50	230	3 ,75
I	3 ,80	230	1 ,25
J	5 ,50	230	1 ,88
K	13 ,50	230	5,00
L	13 ,50	230	5,00
M	13 ,50	230	5,00

**Continuación cuadro 3.5** Datos eléctricos codificados de los equipos dispersores de la Planta Industrial.

N	48,00	230	18,75
O	48,00	230	18,75
P	10,50	230	3,75
Q	32,50	230	12,50
R	32,50	230	12,50
S	62,00	230	25,00
T	62,00	230	25,00
U	48,00	230	18,75
V	45,00	460	37,50
W	45,00	460	37,50
X	48,00	230	18,75

**Levantamiento de Equipo de los Tanques**

Con la ayuda del Departamento de Mantenimiento se registran los datos de los equipos de la planta Base Agua y de los equipos del Departamento de Investigación y Desarrollo que se muestra a continuación. Durante las mediciones se toman las medidas de seguridad y las precauciones respectivas para asegurar la integridad del personal.

**Cuadro 3.6** Dimensiones codificadas de los tanques del laboratorio.

Numero	Altura del envase (m)	Diámetro del envase (m)
1	0,027 4	0,025 7

Los tanques del Departamento de Investigación y Desarrollo presentan todas las mismas dimensiones por lo que se registra solo una medida.

**Cuadro 3.7** Dimensiones codificadas de los tanques industriales de estudio.

<b>Numero</b>	<b>Altura total del tanque (m)</b>	<b>Diámetro del tanque (m)</b>
A	0,60	0,45
B	0,60	0,45
C	0,59	0,57
D	0,61	0,32
E	0,59	0,48
F	0,41	0,32
G	0,45	0,37
H	0,61	0,32
I	0,39	0,24
J	0,15	0,24
K	0,44	0,22
L	0,27	0,23
M	0,25	0,24
N	0,39	0,24
O	0,46	0,23
P	0,38	0,23
Q	0,20	0,24
R	0,25	0,24
S	0,39	0,24
T	0,25	0,24

Con los datos recopilados de los equipos del Laboratorio de Investigación y Desarrollo y el área de manufactura, se analiza la posibilidad de encontrar similitud geométrica entre equipos como parte del proceso de escalamiento.

Se entregan al laboratorio de Investigación y Desarrollo los datos reales del levantamiento de los equipos.



## Capítulo 4 . Análisis del actual procedimiento de Escalamiento

### Mejoramiento de los procesos (MPE)

El Mejoramiento de los Procesos de la Empresa es el desarrollo de un método sistemático con la finalidad de ayudar a una organización a realizar avances significativos en la manera de dirigir sus procesos.

El método propuesto, tal cual está expuesto y desarrollado, es válido y aplicable a grandes empresas. No obstante, los principios en los que se fundamenta y las etapas y pasos a seguir, son válidos para cualquier empresa, ya sea que comercialice productos o servicios.

Para que el desarrollo del método tenga éxito, es necesario que la empresa tenga una orientación de proceso, es decir, un determinado patrón de pensamiento, como el que se muestra en la Figura 4.1. (Vazquez, 2006).

<u>Patrón de pensamiento</u>	
<u>Centrado en la organización</u>	<u>Centrado en el proceso</u>
Los empleados son el problema	El proceso es el problema
Empleados	Personas
Hacer mi trabajo	Ayudar a que se hagan las cosas
Comprender mi trabajo	Saber que lugar ocupa mi trabajo dentro de todo el proceso.
Evaluar a los individuos	Evaluar el proceso
Cambiar a la persona	Cambiar el proceso
Siempre se puede encontrar un mejor empleado.	Siempre se puede mejorar el proceso
Controlar a los empleados	Desarrollo de las personas
Quién cometió el error	Qué permitió que el error se cometiera
Corregir errores	Reducir la variación

**Figura 4.1** Patrones de Pensamientos.  
(Vazquez, 2006)

Tener un patrón de pensamiento identificado con una organización orientada a los procesos implica –para muchas empresas- un cambio cultural muy difícil y requiere un replanteo en el manejo de la organización.

Hay diez normas que pueden tomarse como guía en un proceso de cambio.

1. La organización debe creer que el cambio es importante y valioso para su futuro.

2. Debe existir una visión que describa el cuadro del estado futuro deseado. Que ese cuadro sea conocido y comprendido por todas las personas.
3. Toda la organización debe estar tras la estrategia de convertir en realidad la visión.
4. Los líderes de la organización necesitan modelar el proceso.
5. Deben identificarse y eliminarse las barreras reales y potenciales.
6. Debe suministrarse capacitación para las técnicas nuevas.
7. Debe suministrarse entrenamiento para corregir el comportamiento no deseado.
8. Deben establecerse sistemas de evaluación, de manera que puedan cuantificarse los resultados.
9. Debe suministrarse una retroalimentación continua.
10. Deben establecerse sistemas de reconocimiento y recompensa para reforzar efectivamente el comportamiento deseado. (Vazquez, 2006).

### **Objetivo del MPE**

Las tareas a realizar tienen por finalidad garantizar que la organización tenga procesos que:

- a) Eliminen los errores.
- b) Minimicen las demoras
- c) Promuevan el entendimiento
- d) Sean fáciles de emplear
- e) Sean amistosos con el cliente
- f) Proporcionen a la organización una ventaja competitiva

g) Reduzcan el exceso de personal. Aunque no sea un objetivo buscado, suele ser una consecuencia del mejoramiento.

h) Sean efectivos

i) Apliquen eficientemente los recursos.

### **Fases del MPE**

El plan de trabajo para implementar la metodología enunciada consta de cinco fases:

1. Organización para el mejoramiento.

2. Comprensión del proceso

3. Modernización

4. Medidas y controles.

5. Mejoramiento continuo. (Vazquez, 2006).

### **Metodología para detectar oportunidades de mejora al proceso de escalamiento.**

Teniendo claro los conceptos de mejoramiento de procesos se decidió realizar un cuestionario donde las partes involucradas, el Laboratorio de Investigación y Desarrollo con la Planta de Producción detectaran oportunidades de mejora para el procedimiento actual empleado en el escalamiento de productos nuevos. Ambos cuestionario se encuentran en los anexos.

### **Análisis Estadístico**

En lo que respecta a los cuestionarios se ha aplicado procesamiento estadístico elemental, calculando frecuencias de respuesta y porcentajes que representan estas, se han leído las preguntas abiertas para reducirlas a las categorías que aparecen en los cuadros y calcular las frecuencias. Se entiende que la intención de estos cuestionarios tiene un carácter exploratorio de los fenómenos resaltantes de esta investigación, se presentan los datos agrupados en las categorías de análisis fundamentales de cada instrumento y se presenta un análisis breve de las

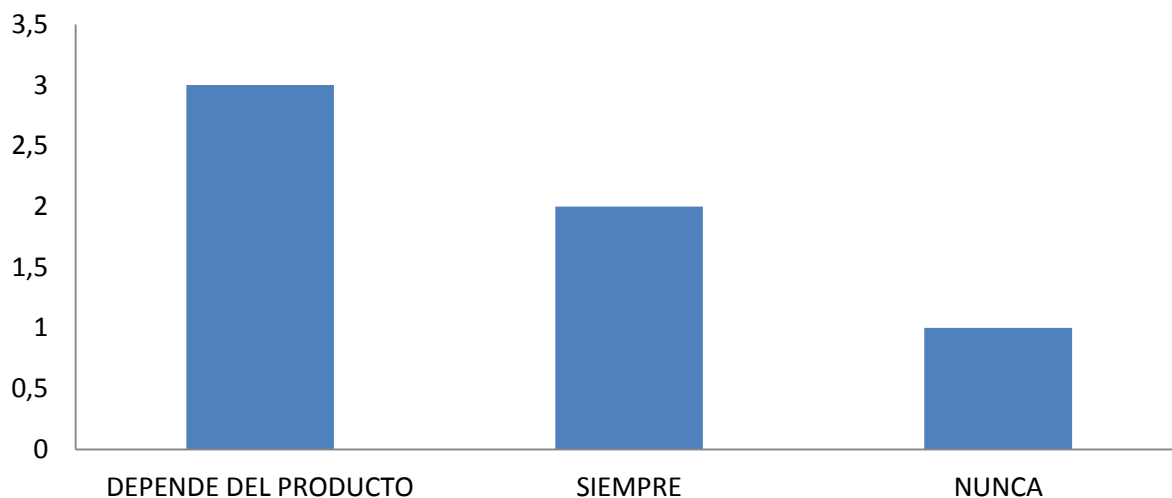
ideas más relevantes que sugieren las mismas. Más que emitir juicios de valor sobre el resultado de estos cuestionarios, se quieren presentar las oportunidades de mejora al procedimiento de escalamiento actual. Donde esta visión servirá de referencia para enfrentar el estudio de caso planteado y poder analizar con mayor acierto los procesos y fenómenos que se presentan.

**Resultados del cuestionario aplicado al laboratorio Investigación y Desarrollo.**

Se evalúa el siguiente cuestionario a seis técnicos de laboratorio del departamento, los resultados se muestran a continuación,

**Cuadro 4.1** Resultados de la frecuencia con la que se escala un desarrollo nuevo en alto volumen.

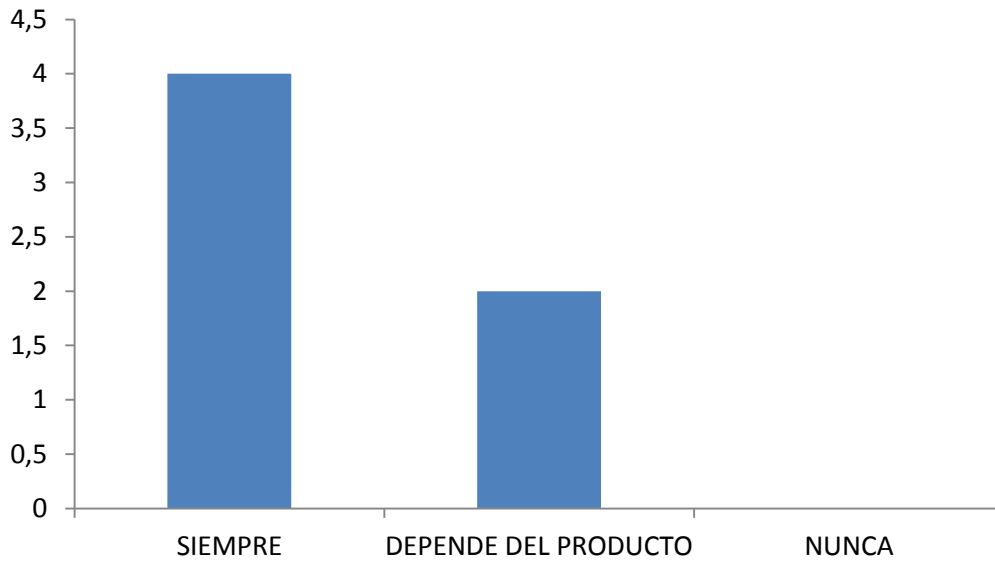
Escalar en alto volumen	Frecuencia	Porcentaje
Siempre	2	33,33%
Depende del producto	3	50,00%
Nunca	1	16,67%



**Figura 4.2** Resultados de la frecuencia con la que se escala un desarrollo nuevo en alto volumen.

**Cuadro 4.2** Resultados de la frecuencia con la que se escala un desarrollo nuevo en bajo volumen.

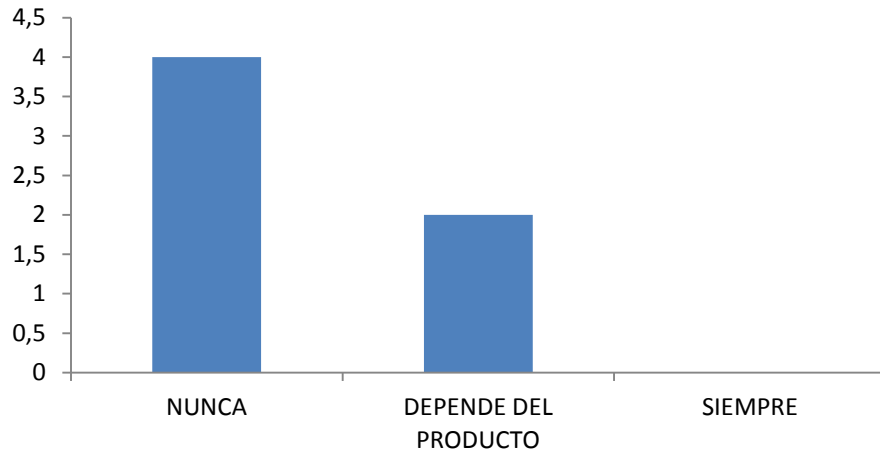
Esalar en bajo volumen	Frecuencia	Porcentaje
Siempre	4	66,67%
Depende del producto	2	33,33%
Nunca	0	0,00%



**Figura 4.3** Resultados de la frecuencia con la que se escala un desarrollo nuevo en bajo volumen.

**Cuadro 4.3** Resultados de la frecuencia con la que se conoce las variables mecánicas del equipo usado en el desarrollo de un producto.

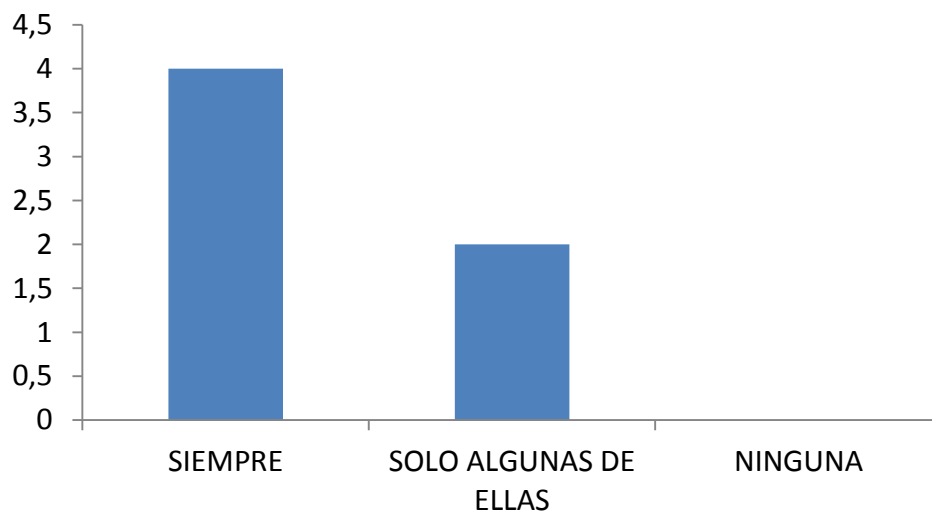
Información de las variables mecánicas del equipo	Frecuencia	Porcentaje
Siempre	0	0,00%
Depende del producto	2	33,33%
Nunca	4	66,67%



**Figura 4.4** Resultados de la frecuencia con la que se conoce las variables mecánicas del equipo usado en el desarrollo de un producto.

**Cuadro 4.4** Resultados de la frecuencia con la que se verifican las propiedades de diseño tanto en su desarrollo como en planta.

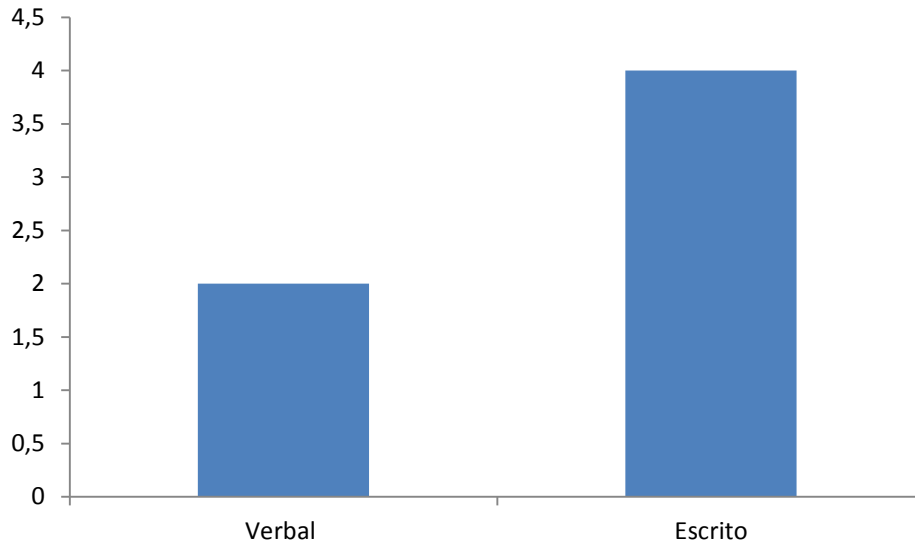
Verificación de propiedades	Frecuencia	Porcentaje
Siempre	4	66,67%
Solo algunas de ellas	2	33,33%
Ninguna	0	0,00%



**Figura 4.5** Resultados de la frecuencia con la que se verifican las propiedades de diseño tanto en su desarrollo como en planta.

**Cuadro 4.5** Resultados de la frecuencia de la manera de realizar el reporte y observaciones por parte del técnico al formulador.

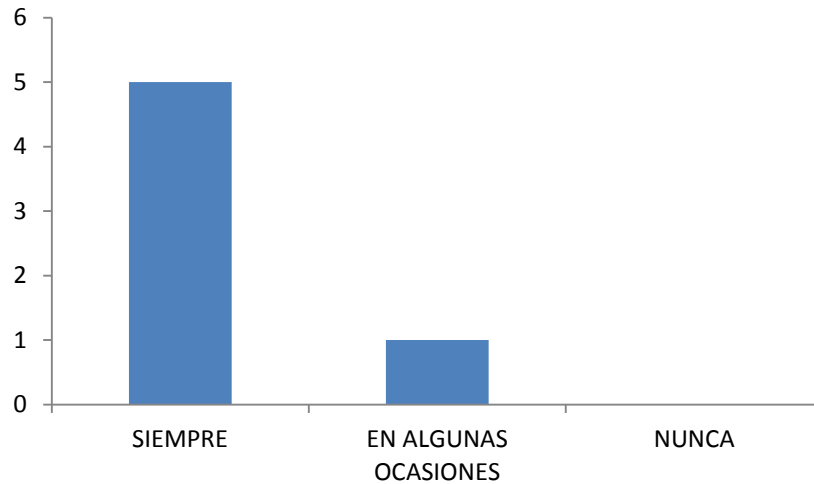
Reporte	Frecuencia	Porcentaje
Escrito	4	66,67%
Verbal	2	33,33%



**Figura 4.6** Resultados de la frecuencia de la manera de realizar el reporte y observaciones por parte del técnico al formulador.

**Cuadro 4.6** Resultados de la frecuencia para ubicar fácilmente la información de un desarrollo anterior.

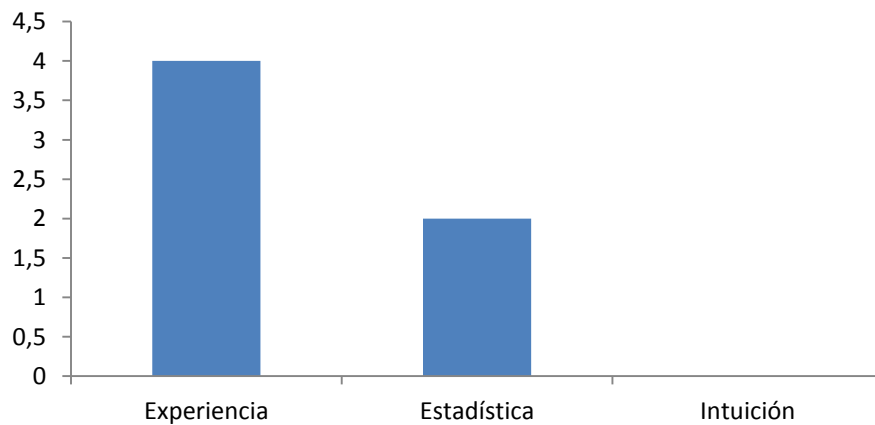
Ubicación de la información	Frecuencia	Porcentaje
Siempre	5	83,33%
En algunas ocasiones	1	16,67%
Nunca	0	0,00%



**Figura 4.7** Resultados de la frecuencia para ubicar fácilmente la información de un desarrollo anterior.

**Cuadro 4.7** Resultados de la frecuencia de la manera de realizar los cambios ingredientes para encontrar la fórmula adecuada

Cambios en fórmula	Frecuencia	Porcentaje (%)
Experiencia	4	66,67
Estadística	2	33,33
Intuición	0	0

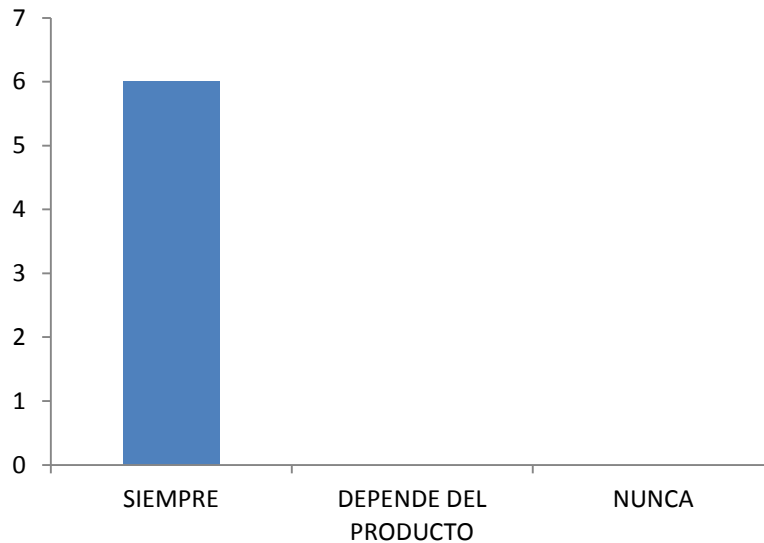


**Figura 4.8** Resultados de la frecuencia de la manera de realizar los cambios ingredientes para encontrar la fórmula adecuada.



**Cuadro 4.8** Resultados de la frecuencia con que se realiza un intercambio de información entre el técnico y formulador para optimizar la formula.

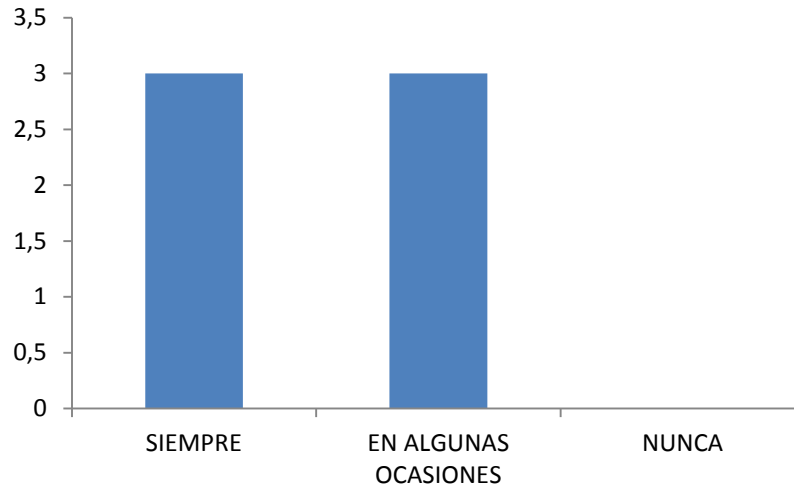
Retroalimentación	Frecuencia	Porcentaje (%)
Siempre	6	100,00%
Depende del producto	0	0,00%
Nunca	0	0,00%



**Figura 4.9** Resultados de la frecuencia con que se realiza un intercambio de información entre el técnico y formulador para optimizar la fórmula.

**Cuadro 4.9** Resultados de la frecuencia con que se realiza se escala el desarrollo optimizado a un volumen mayor a  $9,46E-04 \text{ m}^3$ .

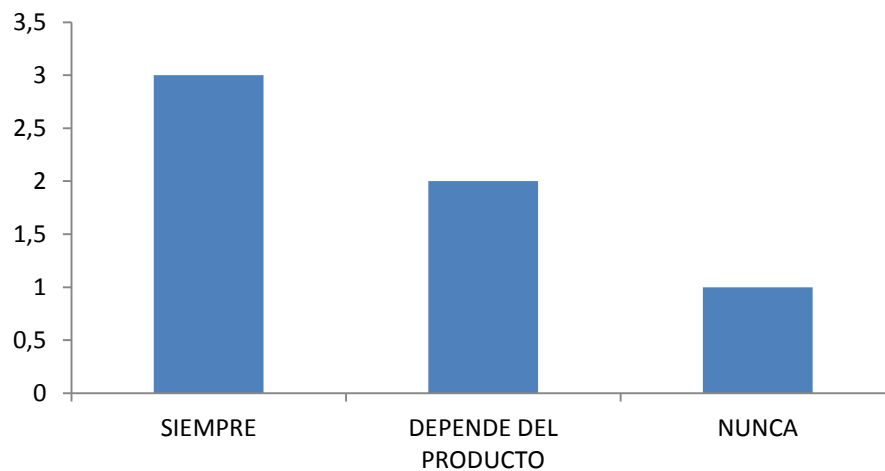
Escala a 1 galón	Frecuencia	Porcentaje (%)
Siempre	3	50,00%
En algunas ocasiones	3	50,00%
Nunca	0	0,00%



**Figura 4.10** Resultados de la frecuencia con que se realiza se escala el desarrollo optimizado a un volumen mayor a  $9,46E-04 \text{ m}^3$ .

**Cuadro 4.10** Resultados de la frecuencia con que se realiza pruebas de campo al producto antes del escalamiento en planta.

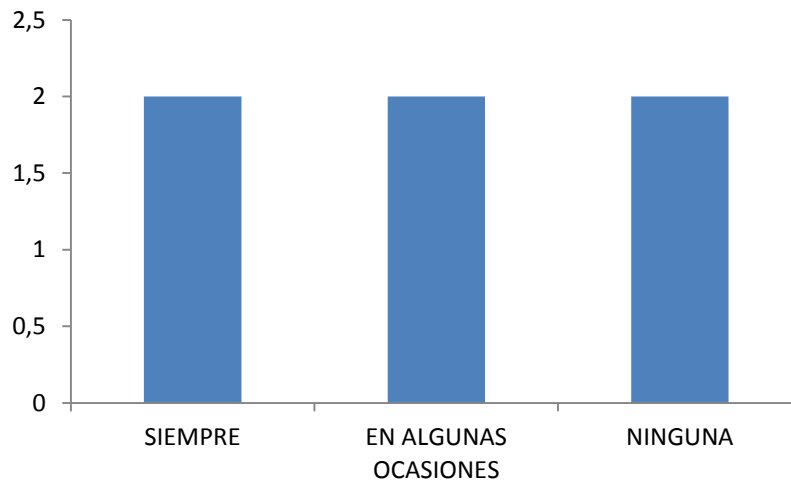
Pruebas de campo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Siempre	3	50,00%
Depende del producto	2	33,33%
Nunca	1	16,67%



**Figura 4.11** Resultados de la frecuencia con que se realiza pruebas de campo al producto antes del escalamiento en planta.

**Cuadro 4.11** Resultados de la frecuencia con que se realiza la verificación de propiedades a lotes posteriores al escalamiento

Verificación en lotes	Frecuencia	Porcentaje (%)
Siempre	2	33,33%
En algunas ocasiones	2	33,33%
Ninguna	2	33,33%



**Figura 4.12** Resultados de la frecuencia con que se realiza la verificación de propiedades a lotes posteriores al escalamiento.

#### **Identificación de Oportunidades de Mejora por parte del Laboratorio.**

Lo principal es atacar las cuatro condiciones en las cuales la gran parte coincidió que nunca se realiza durante el proceso de escalamiento y que con ellas se abarcan las demás opciones:

- Variables Mecánicas del equipo: Con la ayuda de un tacómetro y ayuda del Departamento de Mantenimiento se conocen ya la información mecánica y eléctrica de los equipos y se hará del alcance del personal.
- Verificación de lotes: Mediante el procedimiento a desarrollar se deberá dar seguimientos a tres lotes por parte del laboratorio y dejar documentada toda la información relevante antes de finalizar cada proyecto.

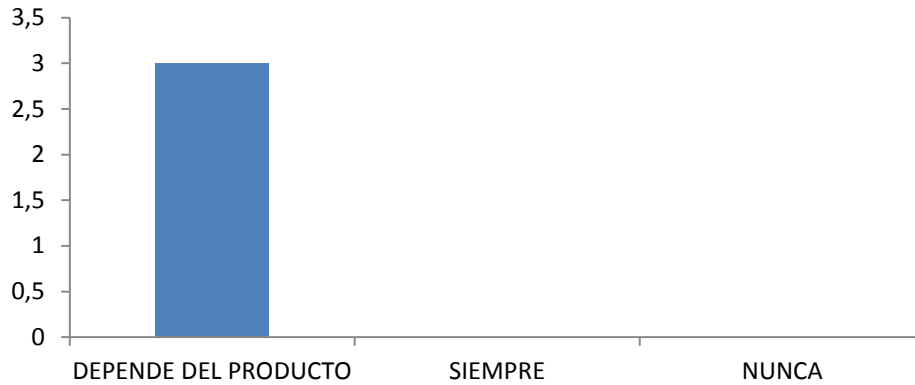
- Escalar en alto volumen: Es bueno analizar que el comportamiento del producto se dé igual al fabricar  $9,46E-04 \text{ m}^3$  que con  $3.78E-03 \text{ m}^3$ . Por lo que después de tener la fórmula optimizada, el analista deberá verificar la fabricación para este volumen y documentar con la información respectiva en el procedimiento propuesto.
- Pruebas de campo: Antes que el producto sea validado por servicio técnico, es necesario realizar pruebas pequeñas de campo sobre el desempeño del producto para las condiciones a las que se diseñó.
- Registro de los reportes: Es necesario que se encuentre documentado todo el proceso durante un desarrollo para consultas posteriores o mejoras al mismo. Con el procedimiento propuesto se pretende recopilar toda la información relevante y no se obvie ningún dato.
- Cambios de materia prima en la optimización de fórmulas: Se recomienda realizar métodos estadísticos como Diseños de Experimentos donde se evalúa la interacción y efectos de las distintas variables que influyen en el proceso.

#### **Resultados del cuestionario aplicado al departamento de Manufactura.**

A continuación se muestran los resultados del cuestionario aplicado a los tres Ingenieros de Procesos de las plantas de la empresa,

**Cuadro 4.12** Resultados de la frecuencia con que se cumple el envío de la fórmula y muestra líquida del producto a la planta por parte del laboratorio.

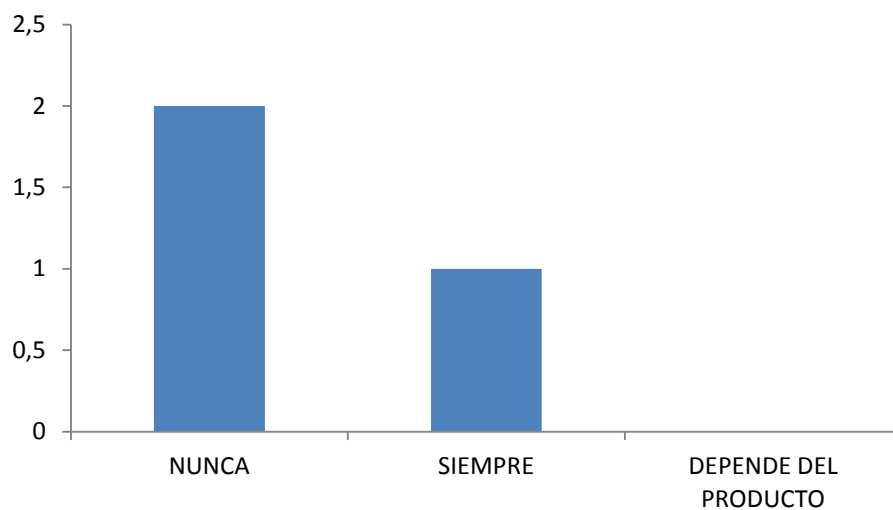
<b>Envío de fórmula y muestra líquida</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Depende del producto	3	100,00%
Siempre	0	0,00%
Nunca	0	0,00%



**Figura 4.13** Resultados de la frecuencia con que se cumple el envío de la fórmula y muestra líquida del producto a la planta por parte del laboratorio

**Cuadro 4.13** Resultados de la frecuencia con que se cumple la supervisión por parte del técnico del laboratorio en el escalamiento del producto.

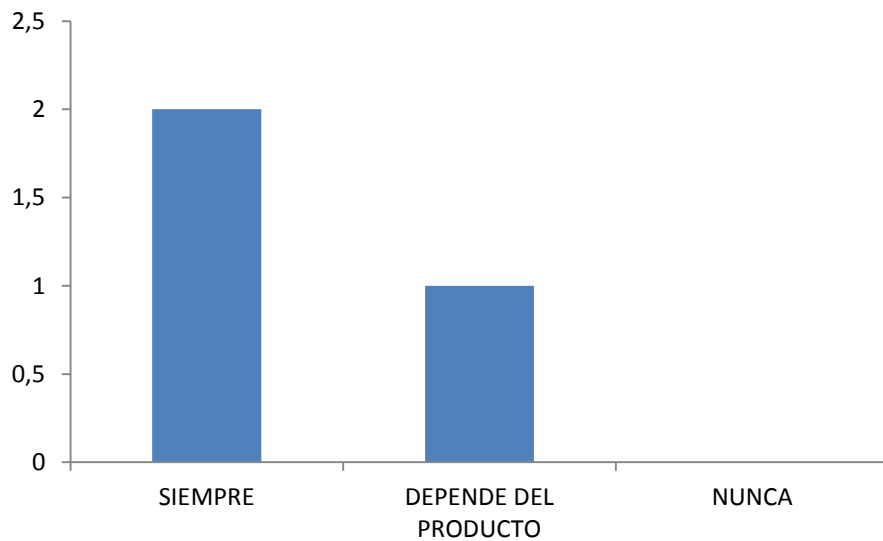
Supervisión del LID en planta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Siempre	1	33,33%
Depende del producto	0	0,00%
Nunca	2	66,67%



**Figura 4.14** Resultados de la frecuencia con que se cumple la supervisión por parte del técnico del laboratorio en el escalamiento del producto.

**Cuadro 4.14** Resultados de la frecuencia con que se asegura el lavado previo del tanque antes de la fabricación.

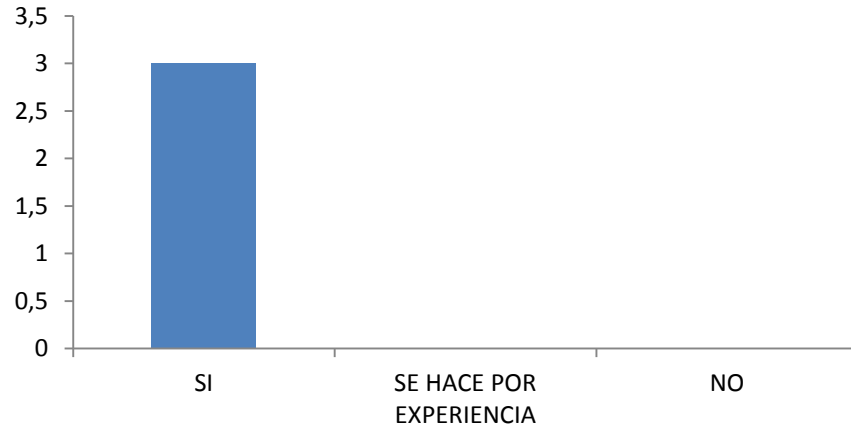
Condiciones del tanque	Frecuencia	Porcentaje (%)
Siempre	2	66,67%
Depende del producto	1	33,33%
Nunca	0	0,00%



**Figura 4.15** Resultados de la frecuencia con que se asegura el lavado previo del tanque antes de la fabricación.

**Cuadro 4.15** Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir tiempos de proceso.

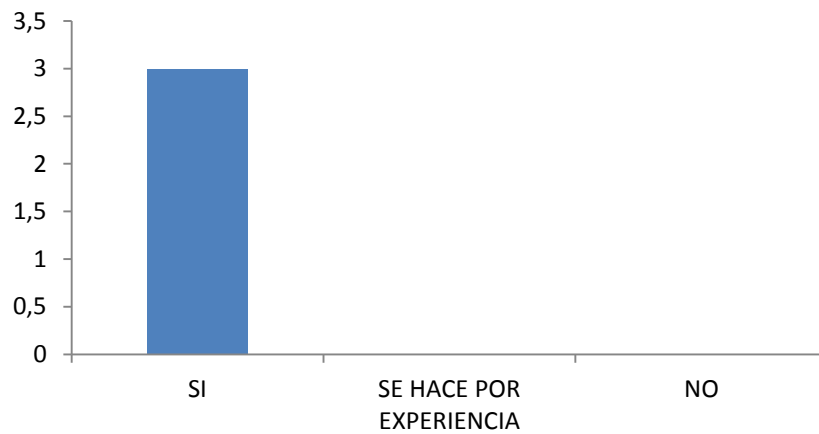
Medición de los tiempos de proceso	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	3	100,00%
Se hace por experiencia	0	0,00%
No	0	0,00%



**Figura 4.16** Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir tiempos de proceso.

**Cuadro 4.16** Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir la temperatura del proceso.

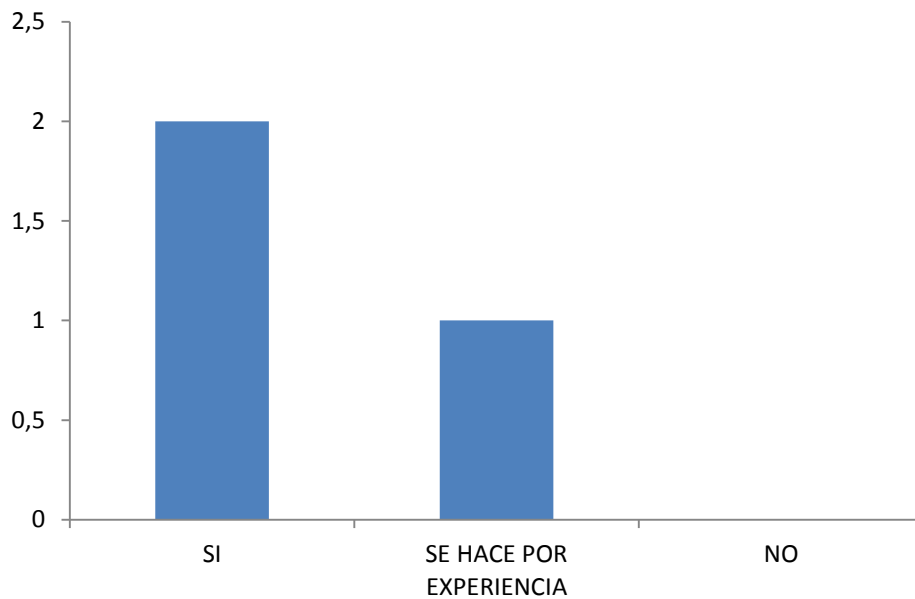
Medición de la temperatura de proceso	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	3	100,00%
Se hace por experiencia	0	0,00%
No	0	0,00%



**Figura 4.17** Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir la temperatura del proceso.

**Cuadro 4.17** Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir la velocidad periférica del proceso.

Medición de velocidad periférica	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	2	66,67%
Se hace por experiencia	1	33,33%
No	0	0,00%

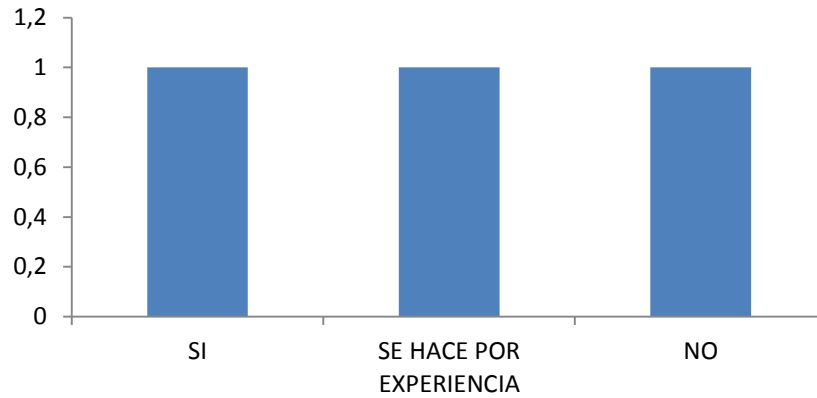


**Figura 4.18** Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir la velocidad periférica del proceso.

**Cuadro 4.18** Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir los flujos de materia prima del proceso

Medición de los flujos de materia prima	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	1	33,33%
Se hace por experiencia	1	33,33%
No	1	33,33%

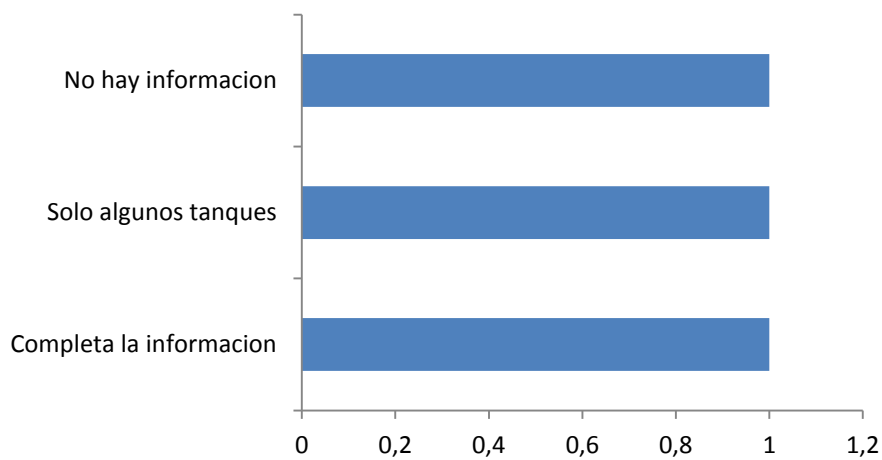




**Figura 4.19** Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de aparatos para medir los flujos de materia prima del proceso

**Cuadro 4.19** Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de la información sobre los tanques de producción.

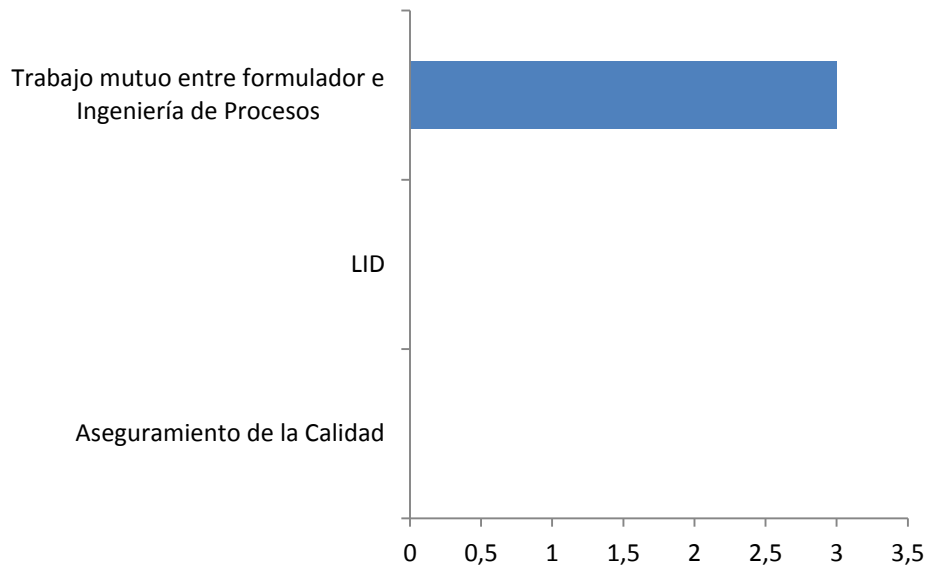
Información sobre los equipos	Frecuencia	Porcentaje (%)
Completa la información	1	33,33
Solo algunos tanques	1	33,33
No hay información	1	33,33



**Figura 4.20** Resultados de la frecuencia de la disponibilidad de la información sobre los tanques de producción.

**Cuadro 4.20** Resultados de la frecuencia del modo en que se realizan los cambios en materia prima en la fabricación de productos.

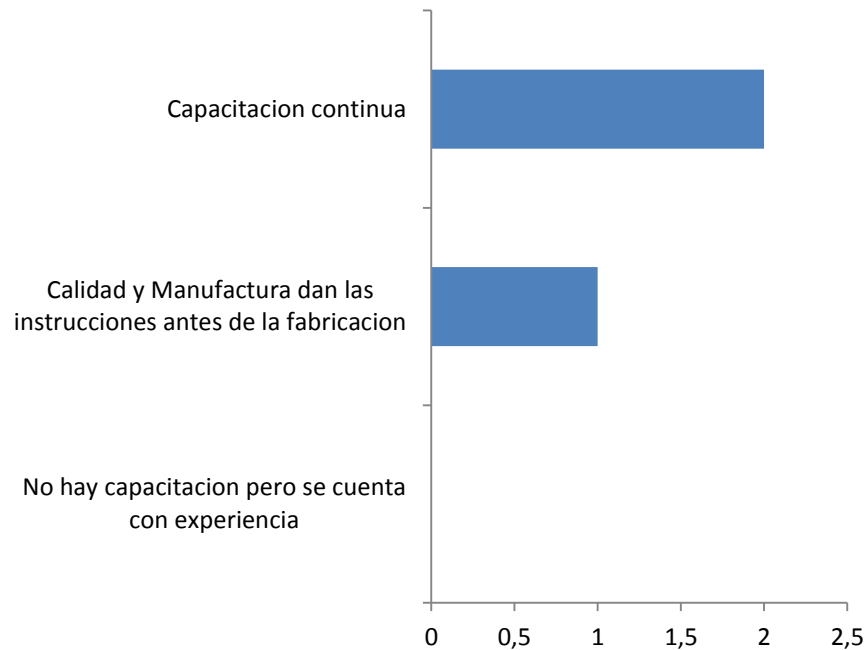
<b>Manera de realizar cambios</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Aseguramiento de la Calidad	0	0,00
Laboratorio Investigación y Desarrollo	0	0,00
Trabajo mutuo entre formulador e IP	3	100,00



**Figura 4.21** Resultados de la frecuencia del modo en que se realizan los cambios en materia prima en la fabricación de productos.

**Cuadro 4.21** Resultados de la frecuencia sobre el conocimiento de los operarios en las materias primas de uso en la producción diaria.

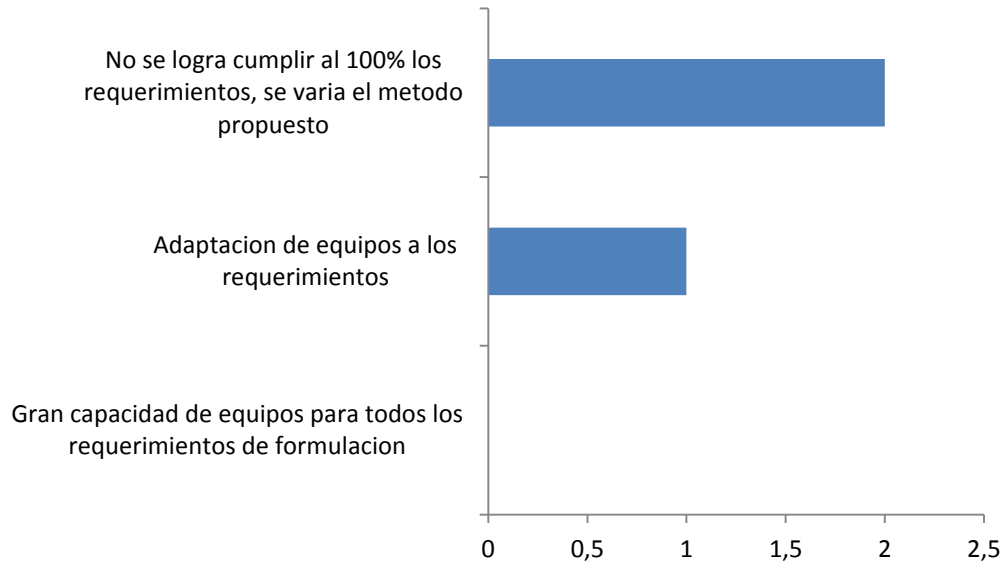
<b>Cuidados y conocimiento con respecto a las diferentes materias prima</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Capacitación continua	2	66,67
Calidad y Manufactura dan las instrucciones antes de la fabricación	1	33,33
No hay capacitación pero se cuenta con experiencia	0	0,00



**Figura 4.22** Resultados de la frecuencia sobre el conocimiento de los operarios en las materias primas de uso en la producción diaria.

**Cuadro 4.22** Resultados de la frecuencia con que se realizan cambios o adaptaciones a los equipos para los escalamientos.

Capacidad de los equipos para los requerimientos de escalamiento	Frecuencia	Porcentaje
Gran capacidad de equipos para todos los requerimientos de formulación	0	0,00
Adaptación de equipos a los requerimientos	1	33,33
No se logra cumplir al 100% los requerimientos, se varia el método propuesto	2	67,66



**Figura 4.23** Resultados de la frecuencia con que se realizan cambios o adaptaciones a los equipos para los escalamientos.

#### **Identificación de Oportunidades de Mejora para Manufactura.**

Lo principal es mejorar las condiciones en las cuales se refleja una acción que se puede maximizar para contribuir a un proceso de escalamiento más eficaz y eficiente:

- Supervisión del personal de Investigación y Desarrollo en la fabricación de productos nuevos se dificulta por la lejanía de las plantas, por lo que se recomienda en este caso siempre escalar el producto en la planta de Costa Rica y luego en conjunto con el Ingeniero de Procesos, pasar un informe de los resultados a las otras plantas.
- Revisión de las condiciones del tanque: Es muy importante revisar siempre la capacidad del tanque, la limpieza del mismo y conocer el producto anterior que se fabricó en él, ya que los residuos pueden interactuar con las materias primas nuevas causando un mal desempeño del producto.
- Aseguramiento de la calidad debe tener a disposición la fórmula y muestra líquida siempre antes de iniciar una fabricación de productos nuevos para su revisión y corroboración.

- Medición de condiciones: Se necesita que todas las plantas puedan cuantificar tiempos, temperaturas, flujos y velocidades en sus procesos, de lo contrario se vuelve empírica la reproducibilidad de procesos en una industria tan compleja como la pintura, se debe estudiar la factibilidad económica de estos dispositivos para su implementación en el proceso.
- Es necesario la información completa de los tanques y dispersores para la reproducibilidad de productos nuevos en una planta Industrial, por lo que se debe hacer el requerimiento a Mantenimiento e Ingeniería de Procesos para la recopilación de la información antes de realizar los escalamientos.
- Capacitación: En un mercado donde la competencia es la cúspide para el desarrollo de productos nuevos se cuenta por parte de los proveedores gran cantidad de materias primas, por lo que se vuelve necesario estar en continua actualización de la funcionalidad y cuidados a tener en cuenta durante la fabricación. Ingeniería de Procesos y Aseguramiento de la Calidad deben velar porque todos los operarios conozcan las materias primas que manipulan en su día a día y de esta manera evitar errores por desconocimiento.

## Capítulo 5 . Escalamiento para un proceso Dispersión y Agitación.

### Dificultad del proceso

Para hacer una investigación y desarrollo efectivo es necesario tener la capacidad de recrear el proceso productivo de la planta de manera fiel en los laboratorios de pruebas, proceso que en realidad no es muy complejo. Aun así, la mayoría de las fábricas no logran reproducir dichos escenarios cuando tratan de desarrollar productos nuevos o mejorar y modificar los existentes.

Muchos de los fabricantes de recubrimientos y tintas cuentan con laboratorios de pruebas, en los que tienen instrumentos de medición muy importantes para la investigación y desarrollo. Dichos instrumentos se usan, en su mayoría, para medir propiedades físicas o de apariencia, lo cual aunque es importante, solo permite verificar si los productos que se están probando pueden entrar dentro de los parámetros de calidad que se necesitan o, en otros casos, para verificar que los productos tengan los atributos físicos necesarios para ser utilizados.

El problema es que no tienen la instrumentación necesaria para reproducir todo el proceso industrial involucrado en la producción de un recubrimiento o tinta, y evaluar un nuevo componente en la formulación o modificación del proceso, actividades correspondientes a la investigación y desarrollo. En estas dos actividades se tiene que considerar la habilidad para imitar los procesos productivos.

El proceso de producción de un recubrimiento o una tinta está compuesto por varios sub-procesos, como el de dispersión, molienda, dosificación, envasados, etcétera. Dos de ellos son extremadamente importantes cuando hablamos de investigación y desarrollo: el de dispersión y el de molienda, pues en ellos radica la mayor parte del secreto de la producción.

Es en la incapacidad de poder simular estos dos procesos, donde se evidencia la razón por la cual para muchas fábricas de recubrimientos y tintas es imposible hacer una investigación y desarrollo adecuado.

La mayoría de los pigmentos, aditivos y materias primas, que se utilizan en la formulación de los recubrimientos y tintas, requieren para dispersarse de velocidades periféricas de entre 18 y 25 m/s. La velocidad periférica es la que se alcanza en la orilla de los discos de dispersión.

En los equipos de proceso es muy fácil llegar a dichas velocidades necesarias para la dispersión (18 a 25 m/s), pues el tamaño del disco combinado con la velocidad de giro facilitan las tareas, de tal forma que es muy sencillo llegar a crear el efecto de la dona, el cual es el signo de que la mayor potencia mecánica posible está siendo transferida a la base de molienda.

El patrón de flujo de fluido en un mezclador es complejo e influenciado en gran medida por la geometría del sistema. Las ecuaciones diferenciales del flujo pueden escribirse en papel, pero no pueden integrarse. Por esta razón, se ha hecho considerable el uso de modelos en el estudio de mezclado.

Estudios anteriores encontraron, que los coeficientes de masa y de transferencia de calor en los mezcladores geoméricamente similares fueron iguales cuando las velocidades periféricas de los agitadores eran iguales. Además que los mezcladores pequeños y grandes dieron coeficientes de transferencia de masa iguales y tiempos de mezcla, cuando se tiene en la entrada igual potencia por unidad de volumen. Los resultados de los estudios podrían ser correctos en condiciones apropiadas, pero ambos eran casos especiales de un conjunto más general de las relaciones de escala que involucran el parámetro del número de Reynolds. (Edgeworth & Wooldridge, 1957).

Por lo que, el presente trabajo consistirá en desarrollar un modelo de escalamiento a partir de mantener las mismas velocidades periféricas en los equipos.

La fórmula para calcular la velocidad periférica es la siguiente:

$$v = \frac{N \cdot D \cdot \pi}{60} \quad (5.1)$$

La condición de igualar velocidades periféricas es fácil de alcanzar en casi cualquier planta de recubrimientos o tintas en la parte de proceso, el problema radica en el laboratorio, pues la mayoría de laboratorios no cuentan con la tecnología adecuada, prototipos de planta piloto para producir estas condiciones.

Distintas son las razones por las cuales esto sucede, la más común es que, en laboratorio se trate de imitar el proceso con equipos con la misma cantidad de revoluciones por minuto (N); es decir, en proceso se tiene un dispersor que alcanza 3 500 rpm, en el laboratorio se tiene otro que alcance las mismas 3 500 rpm, sin tomar en cuenta que lo que se necesita imitar son las velocidades periféricas no las rpm.

Para poder imitar el proceso de dispersión en el laboratorio es preciso contar con un aparato que permita alcanzar velocidades periféricas mucho más altas (18 a 25 m/s), para calcular el tipo de aparato que se necesita es necesario ir a proceso y sacar el ámbito de velocidades periférica con las que se está trabajando, eso se logra utilizando la fórmula que se ha presentado anteriormente. (Mundial, 2014).

### **Pruebas de Campo**

Teniendo claro el concepto de velocidad periférica, se visita la planta industrial y con la ayuda de un tacómetro se hizo la medición de la velocidad de giro de los agitadores durante la fabricación de diferentes productos.

Como se explicó en los fundamentos teóricos, durante la fabricación de una pintura ocurren cuatro etapas principales, por lo que para este estudio se trató de realizar las mediciones en la misma etapa y que a la vez es la etapa más crítica, ya que es la primera interacción de las materias primas y se necesita una buena incorporación de estos. Los resultados se encuentran en el cuadro a continuación:

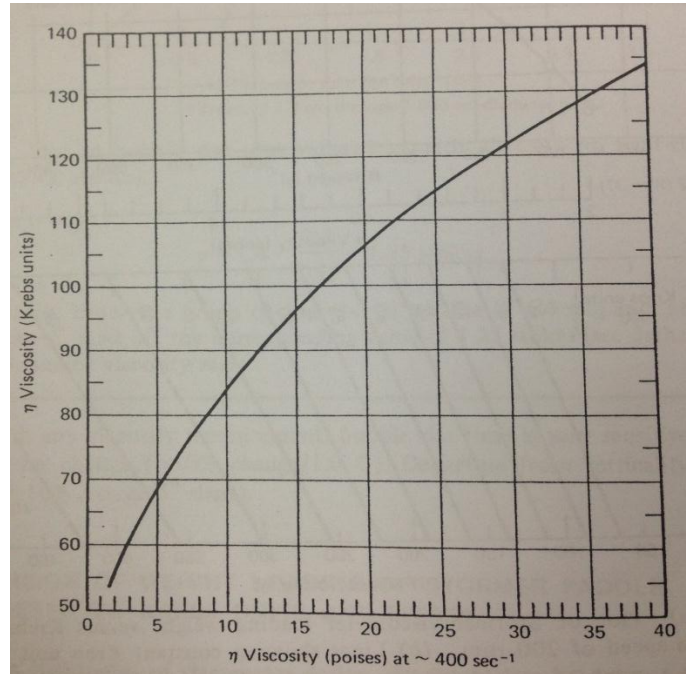


**Cuadro 5.1** Resultados de la velocidad de giro de los discos de la planta industrial durante la fabricación de productos.

# Prueba	Velocidad Periférica		Producto
	rpm	(m/s)	
1	779	25 ,70	B
2	416	7 ,75	B
3	959	17 ,86	B
4	489	9 ,10	B
5	719	23 ,72	D
6	670	12 ,47	D
7	848	15 ,79	D
8	1020	16 ,28	I
9	498	16 ,43	I
10	640	11,92	I
11	257	4,79	L
12	994	8,51	L
13	439	8,17	L

Dentro de la industria de pinturas se encuentra mucha diversidad de productos, para el estudio se tomaran solo los productos B, D, I y L; donde cada una de estas clasificaciones tiene diferente formulación y varía su uso; pero mantienen propiedades similares dentro de su grupo de clasificación.

Para encontrar el número de Reynolds, para describir el régimen del fluido se debe obtener la viscosidad en poise, por lo que con ayuda de la Figura 5.1 se relacionan estas unidades. (Temple, 1979). La viscosidad en Krebs se obtiene a partir de una medición directa del producto con un viscosímetro Stormer según la ASTM D562.



**Figura 5.1** Correlación de viscosidad en Krebs a Poise.  
(Temple, 1979)

### **Correlación de consumo de potencia en recipientes agitados**

Para estimar la potencia requerida para rotar un impulsor dado a una velocidad dada, se necesitan correlaciones de potencia con las otras variables del sistema. La forma de tales correlaciones pueden encontrarse por análisis dimensional, dadas las medidas importantes del tanque y el impulsor, la distancia del impulsor del fondo del tanque, la profundidad del líquido y las dimensiones de las pantallas si se usan. También, a menos que se tomen medidas para eliminar la rotación, en la superficie del líquido aparecerá un vórtice. Algo del líquido debe elevarse por encima del promedio, o sea la superficie del líquido sin agitar y por lo tanto esta elevación debe sobrepasar la fuerza de gravedad. Consecuentemente, la aceleración de la gravedad ( $g$ ), debe considerarse como un factor en el análisis.

Cuando los factores de forma se ignoran temporalmente y se supone que el líquido es newtoniano, la potencia es una función de las variables restantes. La cantidad  $\phi$  se llama función de potencia.

$$\frac{N_p}{Fr^m} = \varphi (Re) = \phi \quad (5.2)$$

### Calculo de Reynolds para las Categorías de Producto en estudio

**Cuadro 5.2** Valor de Reynolds para la Categoría B.

Prueba	Velocidad (m/s)	Reynolds (adimensional)
1	25,70	18 882,38
2	7,75	3 212,59
3	17,86	7 405,94
4	9,10	3 776,33

**Cuadro 5.3** Valor de Reynolds para la Categoría D.

Prueba	Velocidad (m/s)	Reynolds (adimensional)
5	23,73	18 146,68
6	12,47	4 202,90
7	15,79	5 256,41

**Cuadro 5.4** Valor de Reynolds para la Categoría I.

Prueba	Velocidad (m/s)	Reynolds (adimensional)
8	16,28	5 501,41
9	16,43	9 857,47
10	11,92	4 990,61

**Cuadro 5.5** Valor de Reynolds para Categoría L.

Prueba	Velocidad (m/s)	Reynolds (adimensional)
11	4,79	6 050,82
12	18,51	20 469,95
13	8,17	15 635,92

### **Cálculo del número de Froude para las categorías de producto en estudio**

El número de Froude, es una medida de la razón del esfuerzo o inercia y la fuerza gravitacional por unidad de área que actúa sobre el fluido. Aparece en situaciones de dinámica de fluidos donde hay movimiento significativo de ondas en la superficie del líquido. Un ejemplo de ello es el diseño de barcos, puesto que los esfuerzos individuales se definen arbitrariamente y varían fuertemente de punto a punto en el contenedor; esto mismo ocurre en la dispersión de pigmentos para la fabricación de pinturas, ya que la formación de los vórtices favorece en la desaglomeración de las partículas las cuales al llegar al disco en el seno del fluido se lanzan al resto de la mezcla en movimiento tangencial y radial, las corrientes circulatorias tienden a lanzar las partículas hacia fuera mediante fuerza centrífuga, para luego moverse hacia abajo y hacia el fondo del tanque.

En un tanque sin mamparas el flujo de circulación es inducido por todos los tipos de impulsores, ya sean de flujo axial o de flujo radial. De hecho, si la rotación es fuerte, el patrón de flujo en el tanque es virtualmente la misma sin importar el diseño del impulsor, y el vórtice puede ser tan profundo que llega al impulsor y se puede introducir gas que está sobre el líquido en la carga. Esto último no es deseable en la fabricación de pinturas, ya que implica la adición de aditivos como antiespumantes o variación en propiedades como la densidad del producto.

**Cuadro 5.6** Valor de Froude para la Categoría B.

<b>Prueba</b>	<b>Froude (adimensional)</b>
1	10,83
2	1,74
3	9,26
4	2,41

**Cuadro 5.7** Valor de Froude para la Categoría D.

<b>Prueba</b>	<b>Froude (adimensional)</b>
5	9,22
6	4,52
7	7,24

**Cuadro 5.8** Valor de Froude para la Categoría I.

<b>Prueba</b>	<b>Froude (adimensional)</b>
8	8,98
9	4,42
10	4,12

**Cuadro 5.9** Valor de Froude para Categoría L.

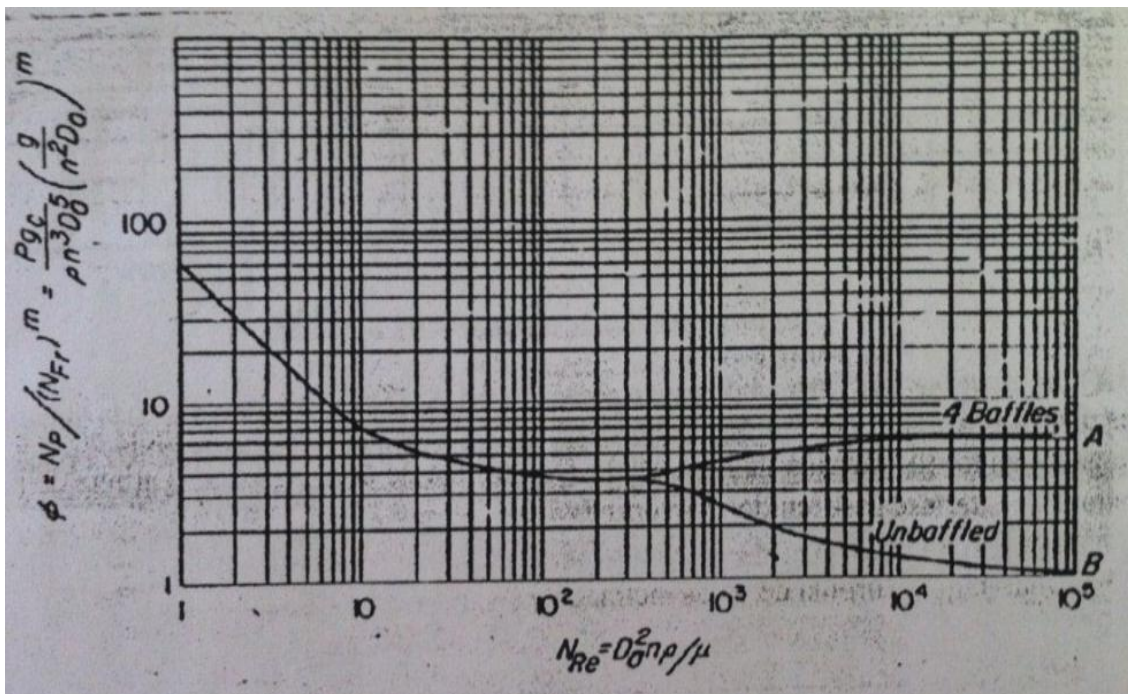
<b>Prueba</b>	<b>Froude (adimensional)</b>
11	0,67
12	9,95
13	1,94

Los dispersores utilizados en pinturas se van asemejar a una turbina de seis aspas, ya que no se dispone de literatura que describa el comportamiento de Reynolds con respecto al número de Potencia para estos agitadores en específico.

Se toma del libro Treybal, 1980 la Figura 5.2 como correlación de la función de Potencia contra el número de Reynolds para aplicar la ecuación 5.3, modelo utilizado.

Los tanques en uso no utilizan mamparas ya que lo que se desea es que se forme el vórtice. Por lo que se utiliza la línea B donde m se describe con la siguiente ecuación, y los valores son para  $a=1$  y  $b=40$ .

$$m = \frac{a - \log Re}{b} \quad (5.3)$$



**Figura 5.2** Correlación del número de potencia para turbina de 6 aspas.

(Treybal, 1980)

**Cuadro 5.10** Valor del Número de Potencia para la Categoría B

Prueba	$\phi = N_p/N_f^m$	m	$N_p$
1	1,02	-0,081 9	0,84
2	1,80	-0,062 7	1,74
3	1,50	-0,071 7	1,28
4	1,02	-0,064 4	1,61

**Cuadro 5.11** Valor de Número de Potencia para la Categoría D.

Prueba	$\phi = N_p/N_f^m$	m	$N_p$
5	1 ,10	-0,0815	0 ,92
6	1 ,60	-0,0656	1 ,45
7	1 ,55	-0,0680	1 ,35

**Cuadro 5.12** Valor de Número de Potencia para la Categoría I.

Prueba	$\phi = N_p/N_f^m$	m	$N_p$
8	1 ,55	-0,0685	1 ,33
9	1 ,40	-0,0748	1 ,25
10	1 ,65	-0,0675	1 ,50

**Cuadro 5.13** Valor Número de Potencia para Categoría L.

Prueba	$\phi = N_p/N_f^m$	m	$N_p$
11	1 ,6	-0,0695	1 ,65
12	1 ,2	-0,0828	0 ,99
13	1 ,1	-0,0799	1,04

## Propuesta del Procedimiento de Escalamiento

Con los datos anteriores se calcula el ámbito del Número de Potencia real en la planta Industrial para cada categoría de productos, por lo que se propone para desarrollos en pequeña escala (escala de laboratorio), es cumplir estos intervalos para optimizar los procesos de escalamiento con el fin de mejorar la similitud cinemática y dinámica de la producción a distintas escalas, tomando en cuenta el factor de escalamiento entre los tanques.

El número de Potencia es análogo a un factor de fricción o a un coeficiente de arrastre. Es proporcional a la razón de la fuerza de arrastre que actúa por unidad de área del impulsor y el esfuerzo de inercia. El esfuerzo de inercia, a su vez, está relacionado al flujo de cantidad de movimiento asociada con el movimiento del seno del fluido. Es por ello que utilizar un modelo basado en el número de potencia se adapta al sistema en estudio.

Al tener un modelo basado en el consumo de potencia de un impulsor específico se espera tener mejores resultados en la reproducibilidad de procesos a distintas escalas. Cabe recordar que el modelo es para turbina de seis aspas, en caso de realizar la fabricación en otro tipo de impulsor se debe realizar un nuevo estudio.

**Cuadro 5.14** Ámbito de número de potencia que describe las categorías en estudio en la producción de la Planta Industrial

<b>Categoría</b>	<b>Ámbito encontrado del Número de Potencia en Planta Industrial</b>
B	0,84 – 1,74
D	0,92 – 1,45
I	1,33 – 1,50
L	0,99 – 1,65



Ahora se pretende lograr una similitud geométrica con el tanque que dio medidas de velocidad periféricas de 18-25 m/s (velocidad óptima de dispersión) y utilizarlo en el estudio de escalamiento.

Se debe encontrar el factor de escalamiento (R) definido por la ecuación 1.8 y se requiere mantener la misma transferencia de masa del prototipo.

Se realiza un reacomodo matemático y se halla la siguiente relación entre los diámetros de los tanques, donde  $tP$  se refiere al tanque pequeño de Investigación y Desarrollo y  $tG$  al tanque de Producción Industrial.

$$R = \left( \frac{V_{tG}}{V_{tP}} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{\frac{\pi}{4} \cdot D_{tG}^3}{\frac{\pi}{4} \cdot D_{tP}^3} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{D_{tG}}{D_{tP}} \right)^{\frac{3}{3}} = \frac{D_{tG}}{D_{tP}} \quad (5.3)$$

$$R = \frac{D_{tG}}{D_{tP}} = \frac{32,25}{2,57} = 12,55$$

Para el diámetro del agitador de bajo volumen utilizamos el factor encontrado en la parte superior,

$$D_{aP} = \frac{D_{aG}}{R} = \frac{15,50}{12,57} = 1,24 \text{ cm} = 1,24\text{E} - 02 \text{ m}$$

Por el diseño estándar se conoce que se cumple la siguiente relación:

$$D_{tP} = H_{tP} = 2,57 \text{ cm} = 2,57\text{E} - 02 \text{ m}$$

Para conocer la altura del disco, se usa la siguiente relación,

$$W_{aP} = \frac{W_{aG}}{R} = \frac{0,45}{12,55} = 0,0359 \text{ cm} = 3,59\text{E} - 04 \text{ m}$$

Para conocer el ancho del disco, se usa la siguiente relación, por el tipo de dispersor usado en la dispersión de pigmentos este parámetro no se necesitara,

$$L_{aP} = \frac{L_{aG}}{R} = \frac{0,75}{12,55} = 0,060 \text{ cm} = 6,0E - 04 \text{ m}$$

Por último se debe encontrar la distancia del disco al fondo del tanque, se usa la siguiente relación,

$$E_{aP} = \frac{E_{aG}}{R} = \frac{10,75}{12,55} = 0,857 \text{ c} = 8,57E - 03 \text{ m}$$

Como se desea asegurar como mínimo una velocidad periférica de 18 m/s usando el tanque de alto volumen se calcula las revoluciones por minuto,

$$N = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot D_{aG}} = \frac{18 \cdot 60}{\pi \cdot 0,155} = 2219,03 \text{ rpm}$$

Ahora se debe hallar la velocidad necesaria para el tanque de bajo volumen con la siguiente relación,

$$N_{tP} = N_{tG} \cdot \left(\frac{1}{R}\right)^{\frac{2}{3}} = 2219,03 \cdot \left(\frac{1}{12,55}\right)^{\frac{2}{3}} = 410,927 \text{ rpm}$$

Se debe encontrar la potencia del motor del equipo a pequeña escala con la siguiente relación,

$$P_{tP} = V_{tP} \cdot \frac{P_{tG}}{V_{tG}} = 37,5 \cdot \frac{0,0625}{550} = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ Hp} = 3,18 \text{ W}$$

Se revisa los requerimientos nuevos del equipo para cumplir con lo calculado en la parte superior y obtener similitud geométrica entre los tanques.

Con respecto a la altura, empíricamente el personal trabaja el dispersor a una altura del fondo del tanque similar a la hallada, por lo que se ajustará la nueva medida para la fabricación de productos y el alto de las aspás coincida con el calculado.

Con respecto al equipo dispersor, los equipos actuales cuentan con una potencia del motor y velocidad mayor a la requerida según el factor de escalamiento, por lo que es mayor la cantidad

del movimiento presente en el seno del fluido que la recibida a nivel industrial. Se cotiza a un proveedor externo el precio del equipo requerido.

También revisando la ecuación 5.4, se puede deducir que la potencia del equipo (P) es directamente proporcional al número de potencia ( $N_p$ ), lo que lleva a interpretar que los valores de número de potencia de un producto desarrollado actualmente en pequeña escala no cumple los ámbitos para las categorías de familia B,D, I y L, mostrados en los cuadros 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13; es por ello que no se logra obtener una reproducibilidad del proceso en pequeño y el desarrollado en una escala mayor.

$$N_p = \frac{P}{\frac{N^3}{60} \cdot D_a^5 \cdot \rho} \quad (5.4)$$

Sobre la geometría del dispersor no se cuenta con el disco que cumpla la medida del diámetro dada por el escalamiento. Se propone adquirir un nuevo dispersor con el diámetro dado en el escalamiento, ya que él disponible es mucho mayor.

Se solicita la cotización para la construcción de un impulsor con las especificaciones que aparecen en el anexo 3.

Para dispersiones de dos fases, pueden ser significativos grupos adimensionales como Weber, la relación entre la fuerza de inercia y la de tensión superficial. Por supuesto, los números de Sherwood y Schmidt son importantes en la transferencia de masa. En el estudio se utilizaron suposiciones de investigaciones anteriores como que al igualar las velocidades periféricas entre dos tanques y usar el factor de proporcionalidad adecuado se asegura la misma transferencia de masa entre la mezcla.

Por la complejidad alta en la agitación de fluidos no newtonianos se continúan haciendo investigaciones para hallar un modelo adecuado para la fabricación de pinturas, por el gran aporte que dan los simuladores se recomienda utilizar estas herramientas para próximos estudios para así utilizar más parámetros.

## Costos del Proyecto

Se cotiza la construcción del impulsor con empresa externa (MBG), ver diseño y cotización en los anexos 4 y 5. La compra de un equipo de dispersión con los requerimientos de Potencia de motor y velocidad de giro más cercanas a las requeridas para el escalamiento se cotiza con una empresa internacional, Paul N. Gardner. (Paul N. Gardner Company).

En el Anexo 3 se encuentra la ficha técnica del equipo marca Dispermat CV, cotizado a Paul N. Gardner Company. El equipo tiene un costo de 12 517 USD, tomando como referencia el tipo de cambio del dólar del 3 de setiembre del 2015 del Banco Central de Costa Rica, se coloca su valor en el siguiente cuadro.

**Cuadro 5.15** Costos del proyecto por la compra de equipos a escala de laboratorio.

Equipo	Costo
Impulsor	¢54 000
Equipo Dispensor	¢6 783 000
Costo de Exportación e Impuestos del Equipo Dispensor (20%)	¢1 356 000
Total	¢8 193 000

Se comparte los datos con la dirección del Departamento de Investigación y Desarrollo para la valoración de la implementación del proyecto. El costo es elevado, pero la ventaja de asegurar la reproducibilidad de los procesos amerita implementarlo.

## **Capítulo 6 . Herramienta para el escalamiento de productos nuevos en la planta Industrial.**

La documentación tiene como finalidad definir el diseño y se encarga de que los componentes del diseño encajen, además de eliminar redundancias y errores en el diseño general, así como se ponen de manifiesto conflictos creados por falta de estándares, también es útil en comunicar ideas y planes a otros ingenieros que participan en el diseño, agencias regulativas, vendedores de equipo y contratistas.

El documento de escalamiento actual de productos que se maneja al respecto, plantea una retroalimentación inmediata de la reproducibilidad de las propiedades físicas y del proceso sobre las fórmulas correspondientes a desarrollos nuevos o reformulaciones por desempeño y costo.

Donde el procedimiento de trabajo se basa en:

- Proceso de envío de fórmulas nuevas y reformulaciones por el Laboratorio de I&D al departamento de manufactura.
- Proceso de revisión por parte los departamentos de Aseguramiento de Calidad de las fórmulas.
- Proceso de verificación de la reproducibilidad de propiedades físicas y procesos de manufactura en fórmulas nuevas por parte de los Departamentos de Aseguramiento de Calidad, para la estandarización respectiva por parte del Laboratorio de Investigación y Desarrollo.
- Proceso de verificación de ajustes mediante una herramienta estadística y estandarización de fórmulas.

Revisando las oportunidades de mejora para los Departamentos de Investigación & Desarrollo y Manufactura analizadas en el Capítulo 5 lo que se propone es mantener el procedimiento interno actual pero complementar éste con una plantilla para la recolección de datos y

condiciones necesarias para un escalamiento apropiado. Además la recolección de estos datos será de gran aporte para el Departamento de ingeniería de procesos sobre todo para las plantas de fabricación que no se encuentran en la misma sede que el Laboratorio Central.

A continuación se muestra la plantilla a recomendar para la empresa:

<b>INFORMACION DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS NUEVOS EN EL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO</b>		
Equipo en el que se realizó el producto:	*Potencia del equipo:	*Voltaje y Amperaje del equipo:
Agitador utilizado:	Revisión de la altura del disco al fondo del tanque:	Diámetro del Cowless:
Tiempo de proceso de dispersión:	Faja utilizada en el proceso de dispersión:	*RPM: Velocidad Periférica:
Tiempo de proceso de molienda:	Faja utilizada en el proceso de molienda:	*RPM: Velocidad Periférica:
Tiempo de proceso de dilución:	Faja utilizada en el proceso de dilución:	*RPM: Velocidad Periférica:
Tiempo de proceso de ajuste:	Faja utilizada en el proceso de ajuste:	*RPM: Velocidad Periférica:

**Figura 6.1** Propuesta de plantilla para los escalamientos por parte del departamento de Investigación y Desarrollo.

Observaciones en el proceso de Dispersión:	Observaciones en el proceso de Dilución:	Observaciones en el proceso de Ajuste:
Temperatura:	Temperatura:	Temperatura:
Verificación del proceso en un volumen mayor al realizado durante la optimización de la fórmula:		
Evaluación del desempeño del producto mediante pruebas de campo:		
Cambios de materia prima realizados durante la optimización de la fórmula:		
<i>Verificación de lotes en la planta:</i>		
Lote 1	Fecha:	Observaciones:
Lote 2	Fecha:	Observaciones:
Lote 3	Fecha:	Observaciones:
Cumplimiento de los parámetros de calidad:		
Observaciones o variaciones:		
Fecha:	Técnico de I+D:	Formulador:

**Continuación Figura 6.1** Propuesta de plantilla para los escalamientos por parte del departamento de Investigación y Desarrollo.

INFORMACION DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS NUEVOS EN EL DEPARTAMENTO DE MANUFACTURA		
Cuenta con supervisión de I+D:	Se envió la formula Máster:	Se envió la muestra líquida:
Equipo en el que se realizó el producto:	*Potencia del equipo:	*Voltaje y Amperaje del equipo:
Agitador utilizado:	Diámetro del Cowless:	Altura del disco al fondo del tanque:
Revisión de las materias primas y pesado de las mismas:		
Observación de algún cambio de materia prima:		
Revisión de la capacidad y limpieza del tanque:		
Tiempo de proceso de dispersión:	Flujo de ingreso de materias primas:	*RPM: Velocidad Periférica:
Tiempo de proceso de molienda:	Flujo de ingreso de materias primas:	*RPM: Velocidad Periférica:

**Figura 6.2** Propuesta de plantilla para los escalamientos por parte del departamento de manufactura.



Tiempo de proceso de dilución:	Flujo de ingreso de materias primas:	*RPM: Velocidad Periférica:
Tiempo de proceso de ajuste:	Flujo de ingreso de materias primas:	*RPM: Velocidad Periférica:
Observaciones en el proceso de Dispersión:  Temperatura:	Observaciones en el proceso de Dilución:  Temperatura:	Observaciones en el proceso de Ajuste:  Temperatura:
Cumplimiento de los parámetros de calidad:		
Observaciones o variaciones:		
Fecha:	Operario de Planta:	Técnico de I+D:

**Continuación Figura 6.2** Propuesta de plantilla para los escalamientos por parte del departamento de manufactura.

## Capítulo 7 . Conclusiones y Recomendaciones

1. Se concluye a partir de la potencia actual de los equipos y la potencia requerida según el estudio de escalamiento, que el fluido desarrollado en escala de laboratorio presenta mayor esfuerzo de inercia, éste se encuentra relacionado al flujo de cantidad de movimiento asociado con el movimiento del seno del fluido, es por ello que las partículas se absorben son rápidamente en el seno de la masa, caso que no sucede a gran escala.
2. Para escalar de alto a bajo volumen (escala de laboratorio) el factor de escalamiento calculado es de 12,55; por lo que las dimensiones codificadas del agitador a requerir son: diámetro 0, 012 4 m, altura del aspa 0, 000 36 m, ancho del aspa 0, 000 60 m, altura del disco al fondo del tanque 0,008 55 m. Y se requiere mantener 0,025 7 m de altura el agitador con respecto al fondo del tanque.
3. La velocidad requerida codificada en volumen bajo (escala de laboratorio) es de 410,93 rpm según el factor de escalamiento calculado para obtener similaridad cinemática y una velocidad periférica de 18 m/s.
4. La potencia del motor codificada requerida en bajo volumen (escala de laboratorio) es de 3,18 W según el factor de escalamiento para cumplir con el equipo de alto volumen.
5. El costo del proyecto es de ₡8 193 000 para adquirir un equipo dispersor y el agitador (escala de laboratorio), que cumpla con los valores de escalamiento, con el fin de mejorar la reproducibilidad de los procesos.
6. Se identificó como oportunidades de mejora por parte del laboratorio de Investigación y Desarrollo; conocer las variables mecánicas de los equipos, verificar siempre los tres primeros lotes de producción de un producto nuevo en la planta, reproducir las fórmulas a un volumen mayor del usado regularmente, realizar pruebas de desempeño por parte de I+D y mantener siempre por escrito un registro completo del proceso.
7. Se identificó como oportunidades de mejora por parte del departamento de Manufactura, la supervisión del personal de Investigación y Desarrollo en la fabricación de productos nuevos en la planta de Costa Rica y apoyo a las demás plantas, la revisión

de las condiciones del tanque, tener a disposición la formula y muestra líquida siempre antes de iniciar una fabricación de productos nuevos para su revisión y corroboración, instrumentos aptos para medir temperaturas, tiempos, flujos y velocidades, información completa de los tanques y dispersores.

8. Se recomienda la compra de un agitador que cumpla con todos los requerimientos encontrados en el procedimiento de escalamiento para obtener mejores resultados en la similaridad geométrica que se desea y del equipo con la potencia y velocidad requerida para obtener la similaridad cinemática y dinámica.
9. De momento se le recomienda al Departamento de Investigación y Desarrollo utilizar los equipos dispersores en la velocidad más baja como medida inmediata para mejorar la reproducibilidad de procesos.
10. Se recomienda al Departamento de Investigación y Desarrollo utilizar herramientas estadísticas que analicen efectos e interacciones de las variables como lo son los diseños de experimentos para realizar cambios.
11. Se recomienda comprobar la reproducibilidad de los procesos luego de la compra del equipo y manteniendo las condiciones encontradas en este estudio.
12. Se recomienda la implementación de la Herramienta Propuesta para la documentación de procesos de escalamiento, esto con el fin de conocer variables físicas, mecánicas y eléctricas en la fabricación de productos.
13. Se recomienda utilizar software o simuladores especializados en agitación de fluidos no newtonianos que permitan predecir con mayor exactitud el comportamiento en la fabricación de pinturas.

## Capítulo 8 Bibliografía

- Anaya, A., & Pedroza, H. (2008). Escalamiento, El arte de la Ingeniería Química: Plantas piloto. Tecnología, Ciencia, Educacion. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos., 31-39.
- Anaya-Durand, A., & Pedroza-Flores, H. (enero de 2008). Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Recuperado el 18 de enero de 2014, de <http://www.redalyc.org/pdf/482/48223105.pdf>
- Baley, A. (1983). Aceites y Grasas Industriales. Barcelona: Reverté S.A.
- Barnes, H. (1994). Rheology of emulsions. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 89-95.
- Bernabé, S. (2008). Tecnología de la pintura aplicada a la edificación. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Briceño, M., & Cobos, S. (2001). Escalamiento del proceso de mezclado de emulsiones O/W . Laboratorio Firp. Universidad de los Andes, 125-135.
- BYK. (2012). Recuperado el 04 de octubre de 2014, de [www.byk.com/es/instrumentos/propiedades-fisicas/dispersion/finura-de-molienda.html](http://www.byk.com/es/instrumentos/propiedades-fisicas/dispersion/finura-de-molienda.html)
- Calvo, J. (2009). Pinturas y Recubrimientos. Introducción a la Tecnología. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Edgeworth, R., & Wooldridge, M. (1957). Pilot Plants, Models, and Scale-up. Methods in Chemical Engineering. London: McGraw Hill.
- Enright, C. (Setiembre de 2011). ASTM International Standars Worldwide. Recuperado el 21 de setiembre de 2014, de [http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPSO11/enrightD01\\_sps11.html](http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPSO11/enrightD01_sps11.html)
- Flores, A. L. (2005). Ejemplo de un procedimiento del análisis reológico de una pintura con solvente mineral y resina alquídica. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Garriga, A. (Diciembre de 2002). Dipòsit Digital de la Universidad de Barcelona. Recuperado el 20 de octubre de 2014, de [http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/35412/4/03.AMG\\_INTRODUCCION.pdf](http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/35412/4/03.AMG_INTRODUCCION.pdf)

- Gavne, K. (2009). Unit Operations I: Fluid flow and mechanical operations. Mumbai: Nirali Prakashan.
- Giudice, C., & Pereyra, A. (2015). Facultad Regional La Plata. Recuperado el 16 de enero de 2015, de <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/formadoresdepelicula.pdf>
- Hockmeyer. (2012). Hockmeyer. Recuperado el 2014 de Octubre de 04, de <http://www.hockmeyer.com/es/productos/dispersores-y-agitadores/dispersores-detail.html>
- Inpralatina. (s.f.). Recuperado el 20 de diciembre de 2014, de <http://www.inpralatina.com/201009151975/articulos/pinturas-y-recubrimientos/mezcla-y-dispersion-procesos-complementarios.html>
- Kramper, B. (2002). Practicas normativas. En B. Kramper, Good Painting Practice Structure Steel Painting Manual Vol. 1. SSPC.
- Lambourne, R., & Strivens, T. (1999). Paint and Surface Coatings: theory and practice. Cambridge.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Mondragón, V. (2006). Molienda de pigmentos hasta tamaño de partícula submicron con medición de potencial Z. Puebla: Universidad de las Américas Puebla.
- Mott, R. (1996). Mecánica de Fluidos. México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Mundial, G. (2014). Fabrica de Pinturas. Colombia: Grupo Mundial.
- Nienow, A., Edwards, M., & Harnby, N. (1997). Mixing in the Process Industries. UK: Butterworth-Heinemann.
- Paul N. Gardner Company. (s.f.). Paul N. Gardner Company. Recuperado el 27 de Septiembre de 2015, de [https://www.gardco.com/pages/dispersion/mx/dispermat\\_dissolvers.cfm](https://www.gardco.com/pages/dispersion/mx/dispermat_dissolvers.cfm)
- Paul, E., Atiemo-Obeng, V., & Kresta, S. (2004). Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice. Canada: JOHN WILEY & SONS.
- Procesos, I. d. (2012). Pintuco Centroamerica. Recuperado el 13 de julio de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/68824377/Dispersion#scribd>

- Rojas, O., Briceño, M., & Avendaño, J. (2012). Laboratorio de Formulación, Interfases Reología y Procesos. FIRP. Recuperado el 02 de Marzo de 2014, de <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S521C.pdf>
- Sánchez, J., & Alcántara, A. (2007). Real Academia Nacional de Farmacia. Recuperado el 03 de Noviembre de 2014, de <http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/download/605/622>
- Sower Group. (2012). Recuperado el 2014 de octubre de 04, de <http://www.sowergroup.es/mills/industrial-basket-mills/580.html>
- Talbert, R. (2008). Paint Technology Handbook. Florida: CRC Press.
- Tatterson, G. (1991). Move Mixing Technology into the 21 st Century. Chemical Engineering Progress, 95.
- Temple, P. (1979). Paint flow and pigment dispersion. USA: Wiley-Interscience Publication.
- The human solution. (2003). The human solution. Recuperado el 24 de enero de 2016, de <http://www.thehumansolution.com/dt209x.html>
- Treybal, R. (1980). Operaciones de transferencia de masa. Mexico: McGraw-Hill.
- Vazquez, J. (Marzo de 2006). Facultad de Ciencias Económicas. Recuperado el 28 de Setiembre de 2014, de [http://www.jvazquezasociados.com.ar/files/Apunte\\_Calidad.doc](http://www.jvazquezasociados.com.ar/files/Apunte_Calidad.doc).
- Vortex. (2012). Vortex. Recuperado el 21 de Octubre de 2014, de <http://www.quiminet.com/articulos/haga-mas-eficiente-el-proceso-de-agitacion-y-dispersion-2666226.htm>.

## Capítulo 9 .Nomenclatura

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
D	Diámetro	m
E	Módulo de elasticidad, Parámetro estándar de la altura del agitador al fondo del tanque.	Pa, m
F	Fuerza	N
Fr	Numero de Froude	adimensional
H	Calor transferido	J /s
J	Parámetro estándar del ancho de las mamparas	m
L	Relación lineal de coordenadas en dos cuerpos, Parámetro estándar de ancho de la aspa del agitador	adimensional, m
LID	Laboratorio Investigación y Desarrollo	
N	Velocidad	rpm
P	Potencia	kW
R	Factor de Proporcionalidad	adimensional
Re	Numero de Reynolds	adimensional
T	Relación lineal de tiempo	Adimensional
V	Volumen	m <sup>3</sup> , gal
W	Parámetro estándar del alto de la aspa del agitador	m
X	Coordenada del eje x para el primer cuerpo	m
Y	Coordenada del eje y para el primer cuerpo	m
Z	Coordenada del eje z para el primer cuerpo	m
m	Exponencial	Adimensional
a	Constante según el agitador y uso de mamparas	Adimensional
b	Constante según el agitador y uso de mamparas	Adimensional

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
c	Calor por Conducción	J/s
h	Distancia entre los platos	m
r	Calor por Radiación	J/s
t	Tiempo	s
v	Velocidad, Calor por convección	m/s, J/s
$\Delta v$	Gradiente de velocidad	m/s
X	Coordenada del eje x para el segundo cuerpo	m
Y	Coordenada del eje y para el segundo cuerpo	m
$\Delta y$	Gradiente de distancia	m
Z	Coordenada del eje z para el segundo cuerpo	m
$\Pi$	Número matemático PI	adimensional
P	Densidad	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	Viscosidad Dinámica	Pa s
$\gamma$	Velocidad de Deformación	s <sup>-1</sup>
T	Tensión de corte	
<b>Subíndices</b>		
G	Tanque Grande	
P	Tanque Pequeño	
A	Agitador	
T	Tanque	
N	Factor del propósito de mezclado	
1	Prototipo	
2	Cuerpo a escalar	



## Capítulo 10 Apéndices

### Apéndice A. Datos Intermedios

**Cuadro A.1** Datos de Viscosidad y Densidades de las categorías de productos en estudio.

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad del Producto (KU)	Viscosidad del Producto (Poise)	Viscosidad del Producto (Pa)	Código del Producto
5 130	90-100	14,00	1,40	B
5 130	90-100	14,00	1,40	B
5 130	90-100	14,00	1,40	B
5 130	90-100	14,00	1,40	B
4 960	90-95	13,00	1,30	D
5 060	95-105	17,00	1,70	D
5 000	90-95	17,00	1,70	D
4 180	85-95	12,00	1,20	I
3 890	90-95	13,00	1,30	I
4 440	85-95	12,00	1,20	I
3 910	60-65	3,50	0,35	L
3 420	60-65	3,50	0,35	L
3 380	50-55	2,00	0,20	L

### Apéndice B. Muestra de cálculos

#### B.1 Cálculo de Velocidad Periférica

Para realizar el cálculo de la velocidad periférica se cuenta con la siguiente ecuación:

$$v = \frac{N * D_a * \pi}{60} \quad (B.1)$$

El valor correspondiente a la velocidad periférica se encuentra en la fila 2 y en la columna 2 del cuadro 5.1, el valor del diámetro codificado del disco se encuentra en la fila 19 columna 2 del cuadro 3.4. Sustituyendo los valores respectivos se obtiene el siguiente valor de velocidad periférica:

$$v = \frac{779 * 0.62 * \pi}{60} = 25,70 \text{ m/s}$$

Resultado se muestra en el Cuadro 5.2 fila 2 columna 2.

### B.2 Cálculo de número de Reynolds.

Para realizar el cálculo del número de Reynolds se cuenta con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\frac{N}{60} * D_a^2 * \rho}{\mu} \quad (B.2)$$

El valor correspondiente a la velocidad se encuentra en la fila 2 y en la columna 2 del cuadro 5.1, el valor del diámetro codificado del disco se encuentra en la fila 19 columna 2 del cuadro 3.4, el valor de la densidad se encuentra en el cuadro A.1 fila 2 columna 1 y por último el valor de la viscosidad se encuentra en el cuadro A.1 fila 2 columna 4. Sustituyendo los valores respectivos se obtiene el siguiente valor de número de Reynolds:

$$Re = \frac{\frac{779}{60} * 0.62^2 * 5130}{1,4} = 18\ 882,38$$

Resultado se muestra en el Cuadro 5.2 fila 2 columna 2.

### B.3 Cálculo de número de Froud ( $N_f$ )

Para realizar el cálculo del número de Froud se cuenta con la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{N^2}{9,81} * D_a \quad (B.3)$$

El valor correspondiente a la velocidad se encuentra en la fila 2 y en la columna 2 del cuadro 5.1, el valor del diámetro codificado del disco se encuentra en la fila 19 columna 2 del cuadro 3.4. Sustituyendo los valores respectivos se obtiene el siguiente valor de número de Froud:

$$Fr = \frac{\frac{779^2}{60} * 0,62}{9,81} = 10,83$$

Resultado se muestra en el Cuadro 5.6 fila 2 columna 2.

#### **B.4 Cálculo del parámetro $m$ para la correlación del número de potencia para turbina de 6 aspas.**

Para realizar el cálculo del parámetro  $m$  para la correlación del número de potencia para turbina de 6 aspas se cuenta con la siguiente ecuación:

$$m = \frac{a - \log Re}{b} \quad (B.4)$$

El valor correspondiente al número de Reynolds se muestra en el cuadro 5.2 fila 2 columna 2. El valor de  $a$  corresponde es uno y el valor de  $b$  corresponde a 40 para tanques sin mamparas. Sustituyendo los valores respectivos se obtiene el siguiente valor del parámetro  $m$ :

$$m = \frac{1 - \log 18\ 882.38}{40} = -0.0819$$

Resultado se muestra en el Cuadro 5.10 fila 2 columna 3.

#### **B.5 Cálculo del número de Potencia ( $N_p$ )**

Para realizar el cálculo del número de Potencia ( $N_p$ ) se cuenta con la siguiente ecuación:

$$N_p = \phi \cdot N_f^m \quad (B.5)$$

El valor de  $\phi$  se encuentran tabulados en el cuadro 5.10 fila 2 columna 2 obtenidos a partir de la Figura 58, el número de Froud se muestra en el cuadro 5.6 fila 2 columna 2, el parámetro  $m$  se

encuentran en el cuadro 5.10 fila 2 columna 3. Sustituyendo los valores respectivos se obtiene el siguiente valor del número de potencia:

$$N_p = 1,02 \cdot 10,83^{-0,0819} = 0,84$$

Resultado se muestra en el Cuadro 5.10 fila 2 columna 4.

## Capítulo 11 Anexos

**Anexo 1.** Cuestionario aplicado al personal del Laboratorio de Investigación y Desarrollo.

### **OPORTUNIDADES DE MEJORA EN EL PROCESO DE ESCALAMIENTO PARA DESARROLLO DE PRODUCTOS NUEVOS ARQUITECTONICOS APLICADO A LID**

Nombre

Cargo

¿Para el desarrollo de productos nuevos se requiere escalar en alto volumen?

Siempre

Depende del producto

Nunca

¿Para el desarrollo de productos nuevos se requiere escalar en bajo volumen?

Siempre

Depende del producto

Nunca

¿Se conocen las variables mecánicas (rpm y potencia) de los equipos donde se desarrolló el producto nuevo antes de ser llevado a planta?

Siempre

Depende del producto

Nunca

¿Al desarrollar la fórmula de un producto nuevo se verifican todas las propiedades que solicita ésta (secado, brillo, tinción, viscosidad, peso por galón...) tanto en su desarrollo en laboratorio como en planta?

Siempre

Solo algunas de ellas se verifican

Ninguna

¿El técnico de laboratorio reporta por escrito al formulador durante el desarrollo de productos las observaciones del comportamiento de las materias primas durante las distintas etapas, así como los datos de las variables a medir?

Todo se encuentra por escrito y refleja el comportamiento del producto

Se hace parcialmente observaciones por escrito así como verbales.

Se reporta de manera verbal el desempeño del producto.

¿Puede usted ubicar clara y fácilmente la información de cualquier desarrollo de un producto aunque haya pasado algún tiempo?

Siempre

En algunas ocasiones

Nunca

¿Cómo se realizan los cambios en la proporción de los ingredientes para encontrar la fórmula adecuada?

Por experiencia

Por medio de la estadística

Por intuición

¿Se intercambian información el técnico y el formulador para optimizar una fórmula?

Siempre

Depende del producto

Nunca

¿Se escala el desarrollo del laboratorio optimizado a un volumen mayor a ¼ de galón?

Siempre

En algunas ocasiones

Nunca

¿Se hace verificación o prueba de campo para desarrollo de productos nuevos antes de su escalamiento a volúmenes mayores?

Siempre

Depende del producto

Nunca

¿Se realiza verificación de propiedades de diseño en productos nuevos luego de varios lotes de producción en planta?

Siempre

En algunas ocasiones

Ninguna

**Anexo 2.** Cuestionario aplicado al personal de Calidad e Ingeniería de Procesos de la Planta de Producción.

**OPORTUNIDADES DE MEJORA EN EL PROCESO DE ESCALAMIENTO PARA DESARROLLO DE PRODUCTOS NUEVOS ARQUITECTONICOS APLICADO A CALIDAD-INGENIERIA DE PROCESOS.**

Nombre

Cargo

¿Se envía la formula Master y prueba líquida de los productos nuevos a desarrollar?

Siempre

Depende del producto

Nunca

¿Un encargado de LID supervisa los productos nuevos en la planta?

Siempre

Depende del producto

Nunca

¿Antes de fabricar un desarrollo de un producto nuevo, el supervisor verifica que el tanque se encuentre en las condiciones aptas para la producción?

Siempre

Depende del producto

Nunca



¿Los operarios cuentan con un dispositivo para ver el tiempo durante la fabricación de productos para respetar las instrucciones de proceso?

Si

Se hace por experiencia.

No

¿Los operarios cuentan con un dispositivo para ver la temperatura durante la fabricación de productos para respetar las instrucciones de proceso?

Si

Se hace por experiencia.

No

¿Los operarios cuentan con un dispositivo para verificar rpm o velocidad periférica durante la fabricación de productos para respetar las instrucciones de proceso?

Si

Se hace por experiencia.

No

¿Los operarios cuentan con un dispositivo para medir los flujos de adicción (agua, resina, intermedios, solvente...) durante la fabricación de productos para respetar las instrucciones de proceso?

Si

Se hace por experiencia.

No

¿Se conoce y se encuentran identificadas las especificaciones de los tanques de la planta?

- La información está completa
- Solo algunos tanques tienen la información
- No hay información de ellos

¿Cómo se realizan los cambios de materia prima en la fabricación de productos nuevos?

- Se encarga aseguramiento de la calidad
- Se encarga Investigación y Desarrollo
- Es trabajo mutuo entre el formulador e Ingeniería de Proceso

¿Los operarios conocen los cuidados a tener en cada tipo de materia prima antes de su fabricación?

- Se capacitan continuamente al personal.
- Aseguramiento de la calidad se encarga de dar las instrucciones apropiadas antes de fabricar
- El personal cuenta con la experiencia necesaria por lo que no se capacita.

¿Se requiere realizar cambios o adaptaciones a los equipos de la planta para desarrollar productos nuevos enviados por el LID?

- No, la planta cuenta con suficientes equipos para acoger los requerimientos en formulación sin realizar cambios.
- Sí, la planta mediante la movilidad de equipos se adapta a los requerimientos en formulación.
- En algunas ocasiones no se logra cumplir al 100% con los requerimientos en formulación pero se fabrica aun así variando el método propuesto por el LID.

**Anexo 3.** Ficha Técnica de Dispensador de escala de laboratorio.


# DISPERSION

## DISPERMAT CV & LC High Speed Dispensers DISPERMAT CV


**HIGH SPEED LABORATORY DISPENSERS**  
 The Dispermat® CV product line offers the most capability for your laboratory dispensing requirements. Mill base quantities from less than 1 pint up to 2.5 gallons (10 liters) can be dispersed. The CV models have a flexible design that can be converted by accessory options to perform media milling, dispersing under vacuum, or homogenization by a rotor-stator. The most current safety device features can be added to the CV models to maximize a safe operating environment.

The CV models have a compact design to save on bench space. The motor design provides a quiet, low maintenance operation. A temperature sensor with automatic shutdown prevents the motor from over-heating

- Precise constant speed control for repeatable results
- Counter weight stand for easy up/down movement of the motor
- Simple and quiet operation
- Optional mill base temperature measurement readout
- The Dispermat CV panel displays the important dispersion parameters for a consistent result.
- Display of speed, %Torque, Product temperature, Timer
- Adaptive turn sensitive speed control
- Timer function with display of pre-selected time or elapsed time
- Timer control to a second pre-programmed speed



Note: Container must be ordered separately

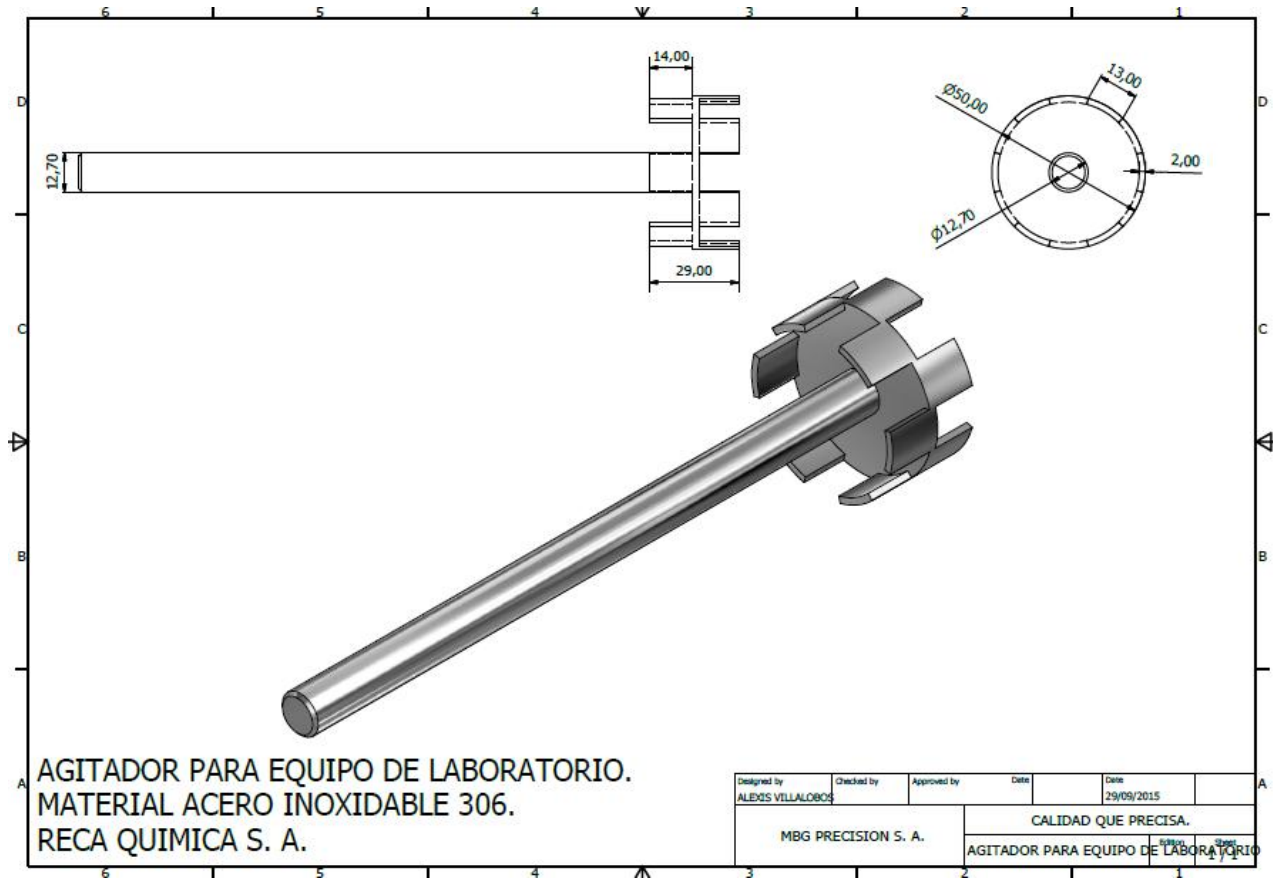


**Comes complete with:**

- Dispermat®
- Control box
- Operating Manual
- Impellers: 25, 30, 40, 50 mm (CV-4 will also include a 60 mm)

Cat. No.	Description	Motor Power	Speed rpm	Torque	Product Volume*	Clamping system	Weight	Stand Base	Price
MX-B1432	Dispermat CV3 Plus, 115V	1.0 hp (0.75 kW)	0 - 20,000	0.8 Nm	0.05 - 5.3 quarts (50 - 5,000 ml)	Safety Device	121 lbs (55 kg)	BK1	\$12,865.00
MX-B1433	Dispermat CV3 Plus, 115V	1.0 hp (0.75 kW)	0 - 20,000	0.8 Nm	0.05 - 5.3 quarts (50 - 5,000 ml)	Heavy Duty Clamps	110 lbs (50 kg)	BK1	11,072.00
MX-B1434	Dispermat CV3 Plus, 220V	1.0 hp (0.75 kW)	0 - 20,000	0.8 Nm	0.05 - 5.3 quarts (50 - 5,000 ml)	Safety Device	121 lbs (55 kg)	BK1	12,517.00
MX-B1456	Dispermat CV3 Plus, 220V	1.0 hp (0.75 kW)	0 - 20,000	0.8 Nm	0.05 - 5.3 quarts (50 - 5,000 ml)	Heavy Duty Clamps	110 lbs (50 kg)	BK1	10,782.00
MX-B1279	Dispermat	2.0 hp	0 - 20,000	1.6	0.05 - 10.6 quarts	Safety	176 lbs	BK2G	17,357.00

**Anexo 4.** Diagrama del Agitador a necesitar para la puesta en marcha del procedimiento del diseño de escalamiento.



Anexo 5. Cotización de la fabricación del agitador para el área de Investigación y Desarrollo.

Cotización #2612



Atención Patricia Alfaro

Solicitado Tec Jorge Acuña

Fecha: 30/09/2015

**Asunto:** Agitador para equipo de laboratorio.

**Características:**

Se fabrica agitador en lámina de acero inoxidable de 2mm de espesor x 80mm  $\phi$ .

Se fabrica eje en barra de acero AISI 304 de 1/2"  $\phi$  x 300mm de largo.

Se suelda hélice a eje con soldadura TIG en acero inoxidable.

Fabricación según planos adjuntos.

**Los planos son estrictamente propiedad de MBG Precisión.**

**Precio:**

Servicio por fabricación de agitador-----€54.100

**Forma de pago:** 30 días.

**Observaciones:** Esta oferta de servicios es válida por 15 días. En caso de ser aceptada por el cliente, obra en forma de contrato. El precio incluye I.V.

Tiempo de entrega: **El trabajo se entregara 1 día hábil después de recibida la orden de compra.**

**M.B.G. PRECISION**

**CALIDAD QUE PRECISA.**

Alexis Villalobos Vega